

Bachelorarbeit

Erstellung einer Ausaperungskarte für das Gebiet der Solifluktlöben am Munt Chavagl



Geographisches Institut der Universität Bern - Forschungsgruppe Paläo

Betreuender Professor
Prof. Dr. Heinz Veit

Betreuer der Arbeit
Dr. Armin Rist

Frühjahrssemester 2012

von
Claudia Gerber
Schmiedmatte 5
3665 Wattenwil
claudia.gerber@students.unibe.ch
04-110-771

Bern, 13.07.2012

Abstract

This Bachelor thesis's main achievement is the creation of a map which visualizes the 2011 spring season snowmelt in the area of the SE-slope of Munt Chavagl in the Swiss National Park. The aforesaid area holds very obvious lobes of solifluction which built object of research since 1954. In an actual project that concerns the explanation of the solifluction movement as a function of climatic and geophysical factors, one object of investigation is the coherence between the dynamic of the snowmelt and the downslope movement. The map shall therefore conduce to the analysis of the spatial and temporal snowmelt and the solifluction movement. Beside the map the thesis consists of a technical description of the creation as well as some regards which can be deduced for a similar project in future.

Zusammenfassung

Ziel dieser Bachelorarbeit ist die Erstellung einer Ausaperungskarte für das Gebiet am Südwest-Hang des Munt Chavagls im Schweizerischen Nationalpark (SNP). In diesem Gebiet treten deutlich ausgebildete Solifluktionsloben auf, die seit 1954 Gegenstand der Forschung sind. In einem aktuellen Projekt, welches zur Erklärung der Bewegungsrate dieser Solifluktionsloben in Abhängigkeit von klimatischen und geophysikalischen Einflussfaktoren dienen soll, wird unter anderem die Dynamik des Ausaperungsmusters und dessen Einfluss auf die Bewegungsrate untersucht. Die Ausaperungskarte wird somit zur Untersuchung des räumlichen Zusammenhangs zwischen dem jahreszeitlichen Rückzug der Schneebedeckung (Ausaperung) und der Bewegungsrate erstellt. Die Arbeit beinhaltet nebst der Ausaperungskarte selbst eine ausführliche methodische Beschreibung der Kartenerstellung sowie daraus abgeleitete Empfehlungen, die durch die Erstellung der vorliegenden Ausaperungskarte abgeleitet und bei ähnlichen Projekten künftig berücksichtigt werden können.

Danksagung

Gerne möchte ich mich bei Dr. A. Rist für seine kompetente und zuverlässige Betreuung dieser Arbeit bedanken. Sein Engagement und seine Unterstützung waren für mich sehr wertvoll. Ein besonderer Dank gilt ausserdem Dragan Vogel (Flotron) für das Entzerren der Bilder. Ausserdem möchte ich mich gerne bei Christian Schmid und Antonia Eisenhut vom Schweizerischen Nationalpark (SNP) für ihre tatkräftige Unterstützung bedanken. Ein besonderer Dank gilt auch Claudio Bozzini von der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) in Bellinzona, der mich persönlich in das von ihm entwickelte Programm GIS-Suite eingeführt hat. Schliesslich möchte ich mich bei Herrn Professor Veit bedanken, dessen aufrichtiges Interesse an meiner Arbeit mich stets motiviert hat. Ein ganz herzlicher Dank gilt schliesslich meinem Freund Moritz und meiner Familie, die mich durch mein Studium begleiten und mich mit Tat und Kraft unterstützen.

Vielen Dank für alles!

Inhaltsverzeichnis

Abstract	I
Zusammenfassung	II
Danksagung	III
Inhaltsverzeichnis	IV
Abbildungsverzeichnis	VI
Abkürzungsverzeichnis	VII
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Zielsetzung	1
1.3 Aufbau	1
1.4 Ausaperungskarte	2
1.5 Relevanz	2
2 Stand der Forschung	3
2.1 Forschungsbeiträge	3
2.2 Untersuchungen am Munt Chavagl	3
3 Theoretische Grundlagen	4
3.1 Solifluktion	4
3.2 Schneebedeckung	5
3.2.1 Einfluss der Schneebedeckung auf die Strahlungsbilanz	5
3.2.2 Einfluss der Schneebedeckung auf Bodenfrost und Wasserzufuhr	6
3.2.3 Einfluss der Schneebedeckung auf die Vegetation	7
4 Untersuchungsgebiet	8
5 Methodik zur Erstellung der Ausaperungskarte	9
5.1 Ausgangsdaten und Angaben zur Kamera	9
5.2 Kamerastandort	9
5.3 Bildselektion und Wahl der Intervallgrösse	9
5.4 Deckungsgleichheit der Bilder	11
5.5 Georeferenzierung	12
5.6 Orthorektifizierung	14
5.7 Unterscheidung zwischen Schnee und Aperflächen	15
5.8 Kartengestaltung	15

6	Erläuterungen zur Ausaperungskarte.....	18
7	Ausblick.....	20
	Literaturverzeichnis.....	22
	Internetquellen	24
	Selbständigkeitserklärung	25
	Anhang	26

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Hangabwärtsbewegung (Anderson und Anderson, 2010)	4
Abbildung 2: Karte Munt Chavagl (http://map.geo.admin.ch , 06.06.2012)	8
Abbildung 3: Foto vom 21.04.2011 (SNP, 2011)	9
Abbildung 4: Ausaperungskarte des Testgebiets Furggentälti (Mihajlovic, 1997)	10
Abbildung 5: Zwei Bilder werden deckungsgleich gemacht (GIMP 2).....	11
Abbildung 6: GIS-Suite (Foto).....	12
Abbildung 7: GIS-Suite (Kameraposition)	13
Abbildung 8: GIS-Suite (Kamera)	13
Abbildung 9: Entzerrtes Foto vom 21.06.2011 (Vogel, 2012).....	14
Abbildung 10: Graustufenbild (Vogel, 2012)	15
Abbildung 11: Ausaperungskarte 2011 (Gerber, 2012).....	17
Abbildung 12: Reliefkarte (Gerber, 2012)	18
Abbildung 13: Ausaperungszustand am Tag Nr. 126 (Gerber, 2012)	19

Abkürzungsverzeichnis

SW	Südwest
SNP	Schweizerischer Nationalpark
WSL	Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft
DTM	Digitales Terrainmodell
GIS	Geoinformationssystem

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Am Munt Chavagl im Schweizerischen Nationalpark treten deutlich ausgebildete Soliflukti-
onsloben auf, welche seit 1954 Gegenstand der Forschung sind und deren Bewegung seit
1975 jährlich erfasst wird. Im Rahmen eines Forschungsprojektes, in dem die Bewegungsra-
ten dieser Solifluktiionsloben in Abhängigkeit von klimatischen und geophysikalischen Ein-
flussfaktoren erklärt werden soll, wird unter anderem die Dynamik des Ausaperungsmusters
und dessen Einfluss auf die Bewegungsrate untersucht. Die Schneedecke beeinflusst das
thermische Regime des Untergrunds sowie die Wasserzufuhr und die Vegetationsbedeckung.
Diese Faktoren wiederum kontrollieren die Kriechbewegung der Erdströme. Um einen mögli-
chen räumlichen Zusammenhang von Ausaperung und Bewegungsrate festzustellen und zu
quantifizieren, soll für das Gebiet der Solifluktiionsloben am Munt Chavagl eine Ausape-
rungskarte erstellt werden.

1.2 Zielsetzung

Die Ziele der vorliegenden Arbeit sind:

- Die Erstellung einer Ausaperungskarte des Gebietes für das Jahr 2011
- Eine methodische Beschreibung der Kartenerstellung
- Die theoretische Aufarbeitung des Zusammenhangs zwischen der räumlich-zeitlichen
Dynamik der Schneedecke und der solifluidalen Bewegung

1.3 Aufbau

Nebst der Formulierung von Problemstellung und Zielsetzung enthält die Einleitung (Kapitel
1) Informationen zur Ausaperungskarte sowie Hinweise auf die Relevanz der Arbeit. Der Ein-
leitung folgt Kapitel 2, welches einerseits über verwandte Forschungsbeiträge informieren und
andererseits den Stand der bisherigen Erforschung der Solifluktiionsloben am Munt Chavagl
beschreiben soll. Anschliessend wird der theoretische Hintergrund zur Solifluktion und deren
Zusammenhang mit der Ausaperungsdynamik kurz vorgestellt (Kapitel 3). Diesem theoreti-
schen Teil folgen Angaben zum Untersuchungsgebiet (Kapitel 4) sowie eine methodische
Beschreibung der Kartenerstellung inkl. der Ausaperungskarte (Kapitel 5) und einigen Erläu-
terungen zur Karte (Kapitel 6). In einem abschliessenden Ausblick (Kapitel 7), wird aufge-
zeigt, welche Schwierigkeiten während der Kartenerstellung auftraten und welche Conse-
quenzen für ein ähnliches Projekt daraus abgeleitet werden können.

1.4 Ausaperungskarte

Eine Ausaperungskarte visualisiert die räumlich-zeitliche Dynamik der Schneeschmelze. Die Karte zeigt also, wie lang der Schnee während der Auftauperiode im Frühjahr an den verschiedenen Stellen liegen bleibt. Die unterschiedlichen Ausaperungszustände werden mittels eines geeigneten Farbverlaufs gekennzeichnet. So stellen etwa dunkle Bereiche auf der Karte Stellen im Gelände dar, wo der Schnee lange liegen blieb (etwa Schattenbereiche) und helle Stellen solche, wo der Schnee innerhalb kurzer Zeit geschmolzen ist (beispielsweise besonders sonnen- oder windexponierte Stellen). Durch die farbliche Abstufung sowie einer Legende mit den Tagesnummern, kann somit dargestellt werden, wie der Prozess der Ausaperung in einem bestimmten Jahr verlaufen ist. Um die Interpretation zu erleichtern wird die Karte ausserdem üblicherweise mit Höhenlinien und einem Koordinatensystem versehen. Die Erstellung solcher Karten ist im Bereich der Erforschung periglazialer Phänomene weit verbreitet. Ein anschauliches Beispiel dafür stellt die Ausaperungskarte von Kölbl (1984) für das Gurglertal (Ötztal/Tirol) dar.

1.5 Relevanz

Die Erstellung einer Ausaperungskarte für das Gebiet des Südwest-Hangs des Munt Chavagls hat die Dokumentation des Ausaperungsprozesses des Frühjahrs 2011 zum Ziel und dient der Erforschung der sich unter dem Schnee befindenden Solifluktionsloben. Da es sich für dieses Gebiet um die erste Ausaperungskarte handelt, die je erstellt wurde, dient die Arbeit ebenfalls dazu, zu überprüfen, inwiefern das Ausgangsmaterial (Fotoserie Frühjahr 2011) für eine Auswertung (Kartenerstellung) verwendbar ist, beziehungsweise wie die Qualität der Fotoserie verbessert und somit die Weiterverarbeitung optimiert werden kann.

2 Stand der Forschung

2.1 Forschungsbeiträge

Bezüglich des Einflusses der Schneedecke auf die Solifluktionsrate sind die Forschungsbeiträge von Egli und Jonas aus dem Jahr 2009 von zentraler Bedeutung. Sie betreffen die Dynamik der saisonalen Schneedeckenverteilung und -tiefe in den Schweizer Alpen. Für die vorliegende Arbeit sind insbesondere auch die Permafrostuntersuchungen von Krummenacher et al. (2008) auf der Gemmi relevant, weil im Rahmen dieser Untersuchungen mittels der Erforschung eines Blockgletschers eine Ausaperungskarte erzeugt wurde, welche bei der Kartenerstellung als Orientierungshilfe diente.

2.2 Untersuchungen am Munt Chavagl

Die Solifluktionsloben am Munt Chavagl wurden erstmals von Furrer et al. (1954) untersucht. Ihre Erscheinung wurde auf die Wirkung von Frostwechseln zurückgeführt. Diese Autoren befassten sich damals vorwiegend mit der Morphologie sowie der Stratigraphie der Erdströme. Gamper begann damit, die solifluidalen Bewegungen auf und in den Erdströmen zu untersuchen (Gamper, 1981). Zu diesem Zweck wurden die Bewegungen im Nationalpark mit Hilfe einer Anzahl Messpunkte und eines Tachymeters auf zwei Messfeldern jährlich vermessen (Zeitraum: 1975 bis 1979). Durch weitere Untersuchungen konnte er nachweisen, dass die Bewegungsraten am Munt Chavagl massgeblich durch die Vegetationsbedeckung und die Frosttiefe gesteuert werden (Gamper, 1983). Zur kontinuierlichen Messung von Luft-, Oberflächen und Bodentemperaturen sowie der Schneehöhe, der Windgeschwindigkeit und der Strahlung wurde 1995 am Munt Chavagl eine Klimastation installiert (Keller und Rist, 2011). Zur exakten Positionierung des Vermessungsinstrumentes wurden ausserdem Fixpunkte im Fels gesetzt und die Zahl der 40 Bewegungsmessmarken um weitere 60 ergänzt. Durch die jährliche Vermessung dieser räumlich verteilten Bewegungsmarken wird die Bewegungsrate der Erdströme bestimmt. Somit wird die Bewegungsrate der Erdströme am Munt Chavagl seit 1975 jährlich erfasst.

3 Theoretische Grundlagen

3.1 Solifluktion

In Keller und Rist (2011: 2) wird die Entstehung von Solifluktionsloben wie folgt erklärt:

„Die saisonalen Frostwechsel und die Wassersättigung über dem noch gefrorenen Untergrund führen zu plastischem Bodenkriechen hangabwärts, was als Solifluktion bezeichnet wird. Wenn Hindernisse wie grobe Blöcke oder erhöhte Oberflächenrauigkeiten im Hang diese Bewegung hemmen, wird das kriechende Substrat gestaucht und dahinter bilden sich langgestreckte, zungenförmige Loben, die Erdströme.“

Nach Veit (2002) ist die Solifluktion ein für die oberen alpinen und subnivalen Höhenstufen der Alpen besonders wichtiges periglaziales Phänomen (Periglazial: kaltklimatische Gebiete, die nicht vergletschert sind). Es handelt sich dabei um eine frostbedingte Substratverlagerung hangabwärts (Bodenkriechen), die zur Bildung von „lobenförmigen und girlandartigen Wülsten“ führt (Veit, 2002: 105). Der Prozess der Solifluktion ist für periglaziale Umgebungen charakteristisch, da die Böden in diesen Gebieten entweder temporär (Bodenfrost) oder permanent (Permafrostböden) gefroren und entsprechend stark von Gefrier- und Auftauprozessen geprägt sind. Bei der Solifluktion (auch Gelisolifluktion/Gelifluktion/Kongelifluktion genannt) kann zwischen zwei Formen unterschieden werden: dem Durchtränkungsfließen und dem Regelationsfließen (Abb. 2). Beim Durchtränkungsfließen findet die Bewegung bei Wassersättigung des Oberbodens statt, beim Regelationsfließen durch Frostwechsel und damit verbundener Volumenänderung des Bodens. Die Hangabwärtsbewegung ergibt sich in diesem Fall dadurch, dass sich das Lockermaterial beim Gefrieren ausdehnt und senkrecht zur Hangoberfläche anhebt, danach jedoch der Schwerkraft entsprechend vertikal zurück fällt (Veit, 2002).

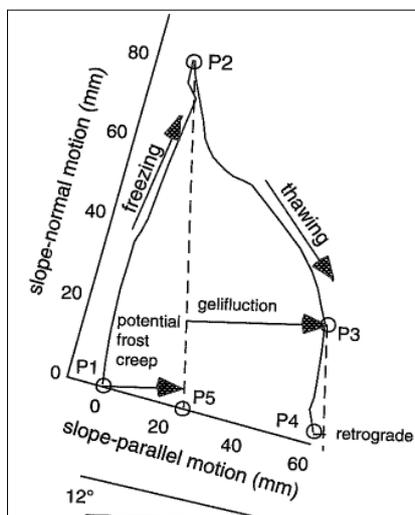


Abbildung 1: Hangabwärtsbewegung (Anderson und Anderson, 2010)

Wie es zu einem Durchtränkungsfließen kommt, beschreibt Veit (2002) exemplarisch am Beispiel der Solifluktion in den Hohen Tauern (Beispiel des Frühjahrs 1978): Seinen Beschreibungen nach setzte die Auftauperiode des Bodens im Frühjahr ein, als der Boden von der Oberfläche her aufzutauen begann. Nach etwa zwei Wochen kam das Auftauen des Bodens von unten dazu. Am längsten hielt sich der Bodenfrost unter den Bedingungen dieser

Untersuchungsfläche in einer Tiefe von ca. 40 cm, doch auch dort verschwand er wenige Tage später. Oberhalb der Tiefe, in welcher der Boden am längsten gefroren blieb, fand die maximale solifluidale Bewegung statt: Durch die Schneeschmelze im Frühsommer konnte das Schmelzwasser nur bis zur jeweils aktuellen Frostgrenze infiltrieren, da diese aufgrund der Eissättigung impermeabel war. Dieser Wasserstau führte zur Wassersättigung des Oberbodens, wodurch dieser seine bindige Konsistenz verlor und sich hangabwärts verlagerte. Das Durchtränkungsfließen ist für tiefgründige Bewegungen entscheidend. Diese sind meistens auch mit hohen Solifluktionsträgern gekoppelt. Der Prozess ist in den Alpen meistens auf wenige Tage bis Wochen während der Auftauperiode im Frühjahr beschränkt (Veit, 2002). Am Munt Chavagl setzt sich die Bewegung aus beiden Solifluktionstypen zusammen, der Regelation und der Gelifluktion (Gamper, 1981).

3.2 Schneebedeckung

Die Bewegungsraten von Solifluktionsträgern werden von verschiedenen geophysikalischen und -ökologischen Faktoren beeinflusst. Die wichtigsten sind das Klima (Strahlung, Lufttemperatur, Wind, Niederschlag, Schneehöhe, Schneedeckendauer und -terminierung), das Relief (Höhenlage, Exposition, Hangneigung), die Geomorphologie, das Ausgangsgestein, die Bodenart und der Bodentyp sowie die Vegetationsdecke (Deckungsgrad, Durchwurzelung, Artenzusammensetzung) (Veit, 2002 und French, 2007). Der für die vorliegende Arbeit relevante geophysikalische Faktor stellt die Schneebedeckung und deren Schmelze im Frühjahr dar.

3.2.1 Einfluss der Schneebedeckung auf die Strahlungsbilanz

Die Schneebedeckung bestimmt die Strahlungsbilanz und damit das thermische Regime des Untergrunds wesentlich, indem es einen grossen Teil der kurzwelligen Strahlung reflektiert und fast alle langwellige Strahlung absorbiert. Nebst anderen Faktoren wie Höhenlage und Bewölkungsgrad ist die Strahlungsbilanz abhängig von Bewuchs und Schneebedeckung. Schnee hat eine Albedo von mehr als 65%, während Gras lediglich eine von rund 20% aufweist. Entsprechend nimmt die mittlere Nettostrahlung mit der Höhe ab, da höher gelegene Gebiete tendenziell länger schneebedeckt sind (Veit 2002). Weiter sind das Relief sowie Expositionsunterschiede ausschlaggebend für die Strahlungsbilanz. Aufgrund des flachen Sonnenstands sind diese insbesondere im Winter ausgeprägt. Veit (2002: 42) beschreibt die Situation in den Alpen folgendermassen:

„Auf nordexponierten Hängen besteht dann der geringe Strahlungsgenuss teilweise fast ausschliesslich aus diffuser Strahlung, was unter anderem zu einer deutlich längeren Schneedeckendauer im Vergleich zu Südhängen führt.“

Weiter schreibt er:

„Die stärkste Erwärmung erfolgt entsprechend auf den südexponierten Hängen, vor allem auf den Südwest-Hängen.“

Diese Tatsache ist im Zusammenhang mit der vorliegenden Arbeit von besonderem Interesse, da sich die Solifluktionsloben am Munt Chavagl an einem Südwest-Hang befinden, weshalb davon ausgegangen werden kann, dass die zu dokumentierende Ausaperung (Frühjahr 2011) durch die starke Erwärmung aufgrund der Exposition vergleichsweise früh einsetzte.

3.2.2 Einfluss der Schneebedeckung auf Bodenfrost und Wasserzufuhr

Laut Jaesche et al. (2003) welche den Einfluss von Schneebedeckung und Bodenwasser in einem saisonalen Frostgebiet in den östlichen Alpen Österreichs (ca. 5 km vom Grossglockner entfernt) untersucht haben, hängt die solifuidale Bewegung von folgenden Faktoren ab:

- Frosttiefe (Tiefe bis zu der der Untergrund gefriert)
- Auftauzeit (Zeitspanne, die der Boden nach der Schneeschmelze braucht um aufzutauen. Stärkste Bewegung während dieser Zeit.)
- Intensität der Schneeschmelze
- Wasseräquivalent höher gelegener Schneeflecken (fördern die Solifluktion nach dem Auftauen durch Abfluss von Schmelzwasser.)

Als wichtigste Einflussfaktoren werden die Frosttiefe und die Menge des freigesetzten Schmelzwassers genannt. Auch Washburn, welcher die Bewegungsrate von Solifluktionsloben in Grönland und der kanadischen Arktis untersuchte, konnte nachweisen, dass die Bewegungsrate der Solifluktion während der Auftauperiode stark von der maximalen Tautiefe sowie der Länge der Auftauperiode abhängt (Anderson und Anderson, 2010). Diese beiden Grössen variieren nicht nur von Jahr zu Jahr sondern auch von Ort zu Ort innerhalb eines Untersuchungsgebiets. Washburns Experimente zeigten ausserdem auf, dass der Boden in der Mitte des Auftauprozesses den höchsten Wassergehalt aufweist (Anderson und Anderson, 2010).

In welcher Weise das freigesetzte Schmelzwasser die Solifluktionsbewegung beeinflusst beschreiben Jaesche et al. (2003: 408) wie folgt:

„Solifluction commenced during thaw settlement of the ground, and was intensified by daily fluctuations of snowmelt and lateral inflow of meltwater.“

Die solifluidale Bewegung setzte bei ihren Untersuchungen ein, sobald das beobachtete Gebiet ausgeapert war (Jaesche et al., 2003). Zum gleichen Ergebnis kamen Krummenacher et al. als sie den Zusammenhang zwischen der Ausaperungsdynamik und der solifluidalen Bewegung am Furggentäli am Gemmipass untersuchten (1998: 156):

“Das Bodenfließen erfolgt bereits in den ersten Tagen nach dem Ausapern und ist nach maximal 1-1,5 Monaten abgeschlossen.“

Ihre Ergebnisse ergaben ausserdem, dass das Bodenfließen in ihrem Untersuchungsgebiet durch die mittlere Wintertemperatur des Bodens und die damit verbundene Eindringtiefe des Bodenfrosts kontrolliert wird, was mit den Erkenntnissen von Jaesche et al. (2003) übereinstimmt. Die mittlere Temperatur des Bodens wurde dabei weniger durch den Zeitpunkt des Einschneiens als durch die Mächtigkeit der Schneedecke während der Wintermonate bestimmt. Auch Gampers (1983) Untersuchungen, bestätigen, dass geringe Schneehöhen zu grossen Frosteindringtiefen und damit zu hohen Bewegungsraten führen. Da Schnee sehr viel Luft beinhaltet weist er eine geringe thermische Leitfähigkeit auf, was ihn zu einem guten Isolator macht. Für das Furggentäli zeigte sich, dass kalte und trockene Winter die Solifluktionsbewegung verstärken (Krummenacher et al., 1998).

3.2.3 Einfluss der Schneebedeckung auf die Vegetation

Die Dauer der Schneebedeckung beeinflusst auch die Vegetationsbedeckung und diese durch ihre stabilisierende Wirkung wiederum die Bewegungsrate der Solifluktion. So tragen die im Frühjahr zeitig aperen Stellen dichtere Vegetation und weisen entsprechend geringere Bewegungsbeträge auf (Veit, 2002). Aus diesem Grund können gerade schneefreie Grate und Rücken trotz tiefen Bodenfrosts keine oder nur geringe solifluidale Bewegungen aufweisen. (Veit, 2002). Auch Gamper (1983) nennt nebst der Frosttiefe die Vegetationsbedeckung als entscheidenden Einflussfaktor für die Bewegungsrate. Seinen Untersuchungen konnte er ausserdem entnehmen, dass Winter mit wenig Schnee und tiefen Temperaturen tendenziell im Sommer lange und viel Gelifluktion zur Folge haben. Die Kälte wirkt sich einerseits vermindern auf die Vegetation aus, sodass diese eher gering ausfällt, und bringt andererseits eine hohe Frosttiefe mit sich (Gamper, 1983).

4 Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet befindet sich am Südwest-Hang des Munt Chavagls (2542m) im Schweizerischen Nationalpark im Engadin (Kanton GR; Abb. 1; rotes Kreuz = Gipfel Munt Chavagl). Der Bereich in dem die Erdströme vorkommen erstreckt sich von 2200 m ü. M. bis 2800 m ü. M (Gamper, 1981).

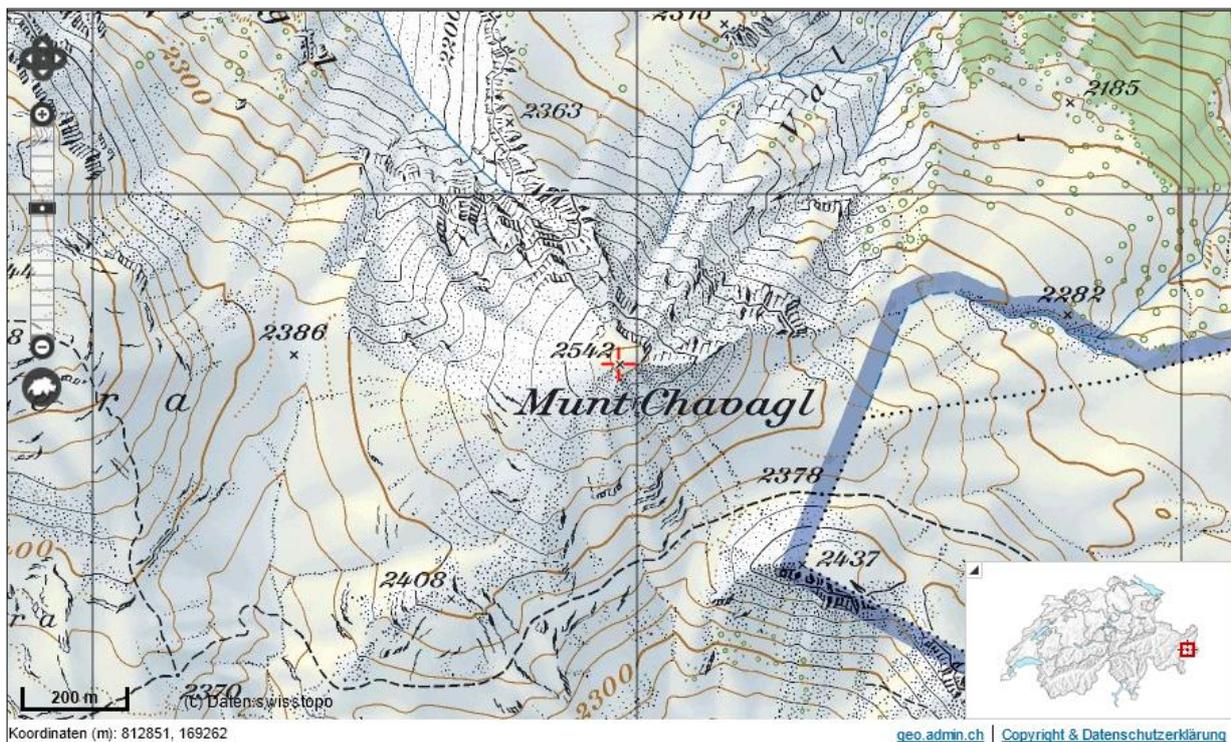


Abbildung 2: Karte Munt Chavagl (<http://map.geo.admin.ch>, 06.06.2012)

Der geologische Untergrund des Untersuchungsgebiets setzt sich aus biogenen Sedimentgesteinen und Evaporiten zusammen und die Gipfelregion besteht aus Dolomit (Bundesamt für Landestopographie, 2012).

5 Methodik zur Erstellung der Ausaperungskarte

5.1 Ausgangsdaten und Angaben zur Kamera

In diesem Kapitel wird die Kartenerstellung der Ausaperung im Jahr 2011 dokumentiert. Die Ausgangsdaten für die Ausaperungskarte bestehen aus einer Fotoserie vom 12.04.2011-21.06.2011, einem Orthofoto, sowie einem digitalen Höhenmodell (DTM) des Gebiets. Die Fotos wurden täglich jeweils morgens zwischen 06.30 und 07.30 aufgenommen mit einer fix installierten automatischen und wetterfesten Kamera (Gardenwatchcam, Marke Brinno; Brennweite = 5.01 mm; Kamerasensor: CMOS; Auflösung = 1.3 Mega Pixel; Pixelgröße = 2.8 μm).

5.2 Kamerastandort

Die UTM - Koordinaten des Kamerastandortes waren $X = 813639.98$; $Y = 169284.21$; die Aufnahmehöhe (Z) war 2412.491 m ü. M. Da es sich beim Untersuchungsgebiet um einen Südwest-Hang handelt, war die Kamera gegen Nordosten ausgerichtet. Ein Beispiel einer solchen Schrägbildaufnahme ist in Abb. 3 zusehen.

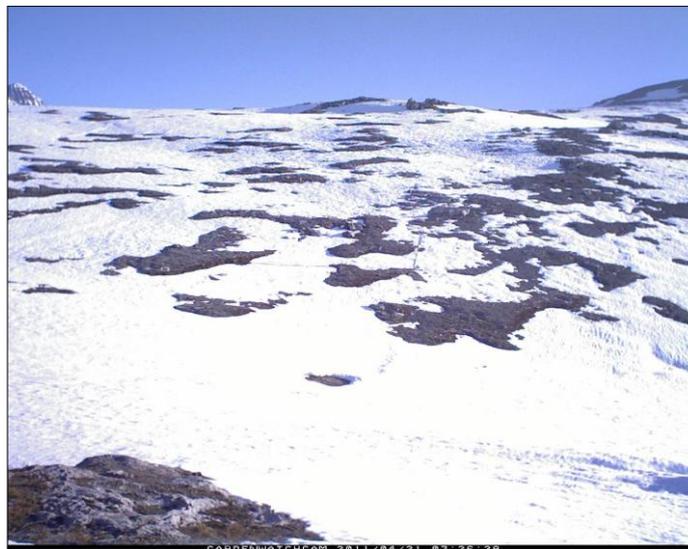


Abbildung 3: Foto vom 21.04.2011 (SNP, 2011)

5.3 Bildselektion und Wahl der Intervallgröße

Vor der Verarbeitung des Bildmaterials, müssen unbrauchbare Bilder (Nebel) aussortiert und eine sinnvolle Selektion der Bilder getroffen werden: Falls es während des Ausaperungsprozesses zu Neuschneefall gekommen war, wurden diese Bilder soweit aussortiert, bis wieder

das Ausmass der bis dahin maximalen Ausaperung erreicht war. Für eine aussagekräftige Ausaperungskarte sind die Zeitintervalle zwischen den Ausaperungszuständen ausschlaggebend. Als Orientierung dient dabei die Ausaperungskarte von Vogel (1997, damals Mihajlovic; Abb. 4), die im Zusammenhang mit der Erforschung des Blockgletschers im Gebiet Furggentäli erstellt wurde.

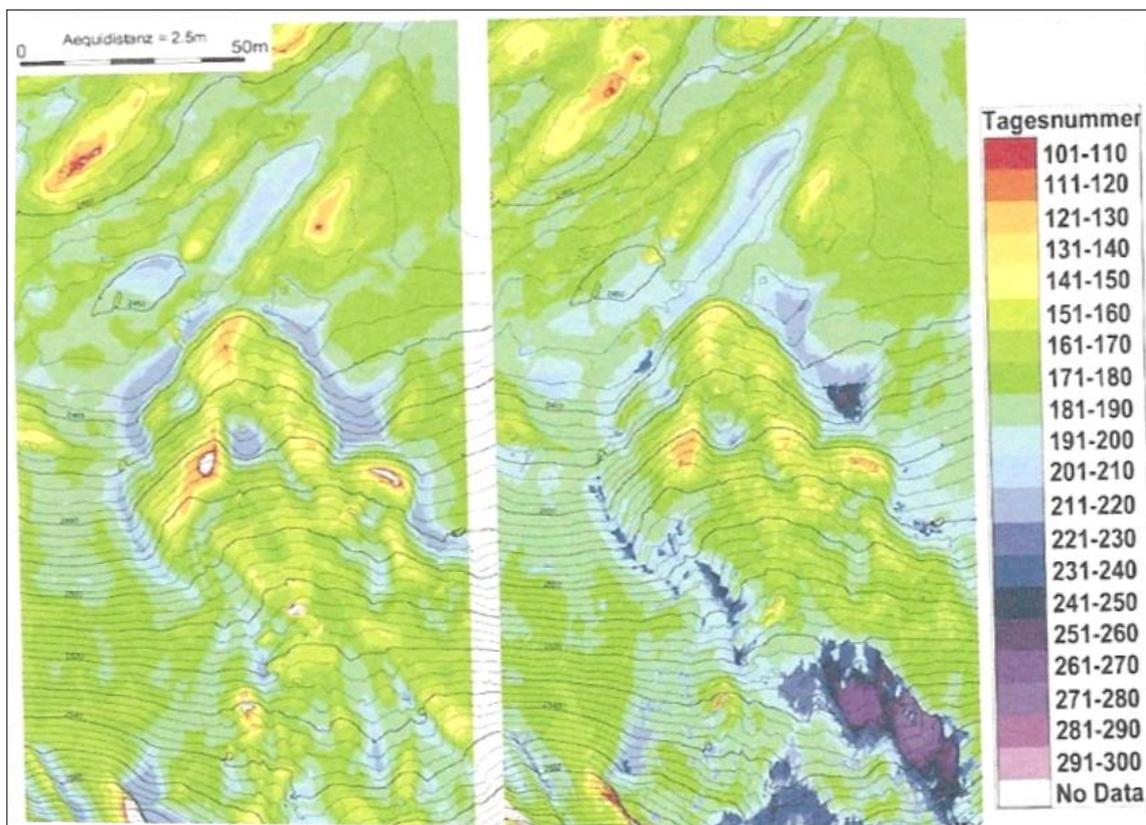


Abbildung 4: Ausaperungskarte des Testgebiets Furggentäli (Mihajlovic, 1997)

Bei dieser Karte betragen die Intervalle 10 Tage. Da es sich beim Ausaperungsprozess um 200 Tage handelt, ergeben sich somit 20 Intervalle (abgesehen vom No-Data-Bereich). Beim Untersuchungsgebiet der vorliegenden Arbeit verlief der Ausaperungsprozess innerhalb von 49 Tagen (12.04.11 - 30.05.11). Dieser kürzeren Ausaperungszeit wurde durch etwas kleinere Intervalle von 6 Tagen (bis auf 3 Ausnahmen, siehe unten) Rechnung getragen. Die Intervallgrenze entspricht jeweils der maximalen Ausaperung, wobei berücksichtigt werden muss, dass dieser Zustand jeweils die Situation am Morgen (Aufnahmezeitpunkt) darstellt. Zu diesen Intervallen kommt jeweils ein festes unbekanntes Intervall hinzu, nämlich die Differenz zwischen der vollständigen Schneebedeckung, deren Datum leider nicht bekannt ist, und dem 12. April 2011 als das erste Foto der gesamten Serie aufgenommen wurde. Es ergeben sich somit insgesamt 9 Intervalle, die bis auf drei Ausnahmen gleich gross sind. Diese Ausnahmen

sind die Intervalle vom 12.05.2011 - 20.05.2011 (8 Tage), vom 20.05.2011 - 24.05.2011 (4 Tage) sowie dasjenige zwischen der letzten totalen Schneebedeckung (Zeitpunkt unbekannt) und dem Zeitpunkt des ersten Fotos (12. April 2011). Diese Unregelmässigkeit liess sich leider nicht vermeiden, da vom 18.05.2011 kein verwendbares Foto existiert (zu viel Nebel).

5.4 Deckungsgleichheit der Bilder

Da die Kamera durch Wind und Frost leicht bewegt wurde, variiert der fotografierte Ausschnitt leicht, weshalb die Bilder in einem ersten Schritt deckungsgleich gemacht werden mussten. Dies wurde mittels GIMP 2, einem kostenlosen Bildbearbeitungsprogramm, vorgenommen, wobei jeweils zwei Bilder als Ebenen übereinander gelegt und das obere der beiden transparent gemacht wurde. Durch Drehen und Schieben wurden auf diese Weise sämtliche Bilder dem Bild vom 21.06.2011 (völlig ausgeapert und gute Qualität) angepasst und anschliessend zugeschnitten, so dass letztlich jedes Bild exakt den gleichen Ausschnitt aufwies (Abb. 5).

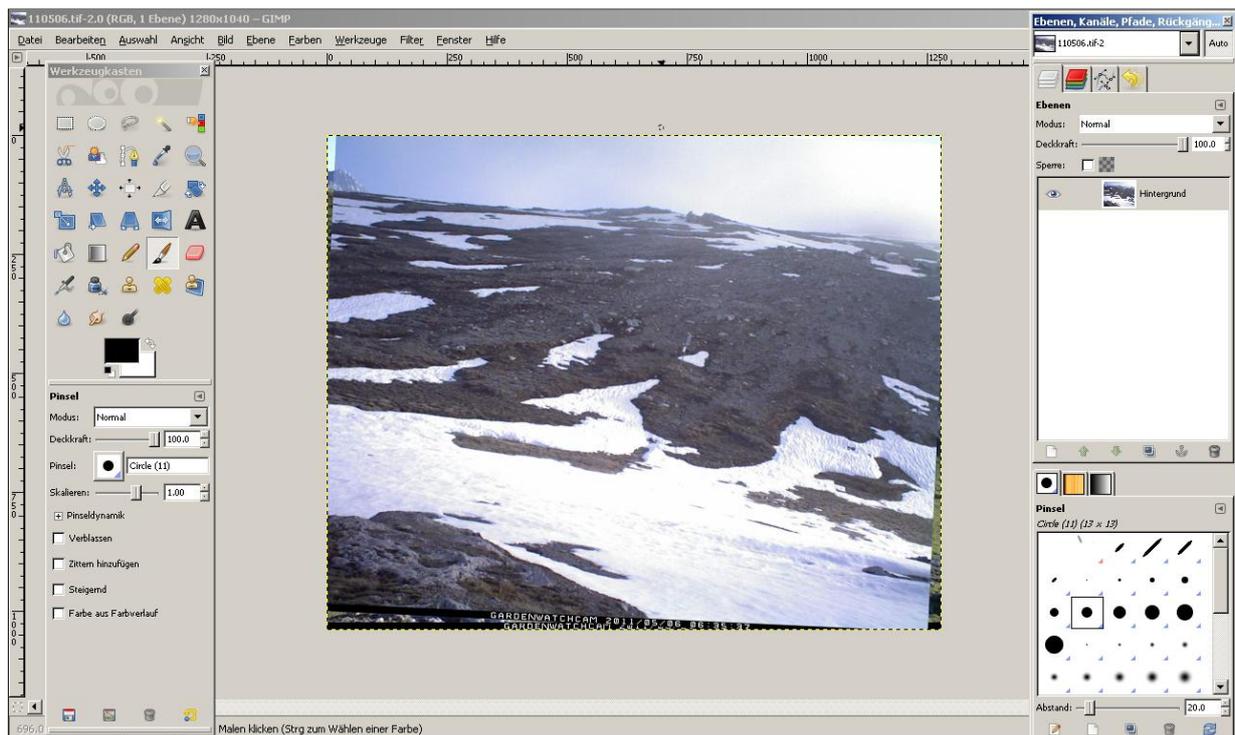


Abbildung 5: Zwei Bilder werden deckungsgleich gemacht (GIMP 2)

5.5 Georeferenzierung

In einem weiteren Schritt müssen die Fotos georeferenziert werden. Das heisst, dass die Pixelkoordinaten mit Schweizerischen Landeskoordinaten versehen werden. Da die Bilder nun deckungsgleich sind, reicht es eines der Bilder (in dem Fall dasjenige vom 21.06.2011) zu georeferenzieren. Hierfür wurde das Programm GIS-Suite verwendet, ein Georeferenzierungsprogramm für Schrägbildaufnahmen, entwickelt von Claudio Bozzini, WSL Bellinzona. Das Vorgehen ist folgendermassen: Zuerst wird unter ‚Photo‘ eine Schrägbildaufnahme (hier das Foto vom 21.06.2011) geladen sowie das Bildzentrum (center) und der Kamerastandort (origin) definiert (Abb. 6). Danach wird unter ‚Maps/dems‘ eine Orthofoto und ein DTM des Gebiets geladen (beide Dateien in TIFF-Format). Dabei sollte beachtet werden, dass die beiden Dateien das gleiche Koordinatensystem (CH1903 LV) aufweisen. Falls dies nicht der Fall sein sollte, können diese mit Hilfe von ArcMap (Bestandteil von ArcGIS ESRI) umgerechnet und somit einander angepasst werden.

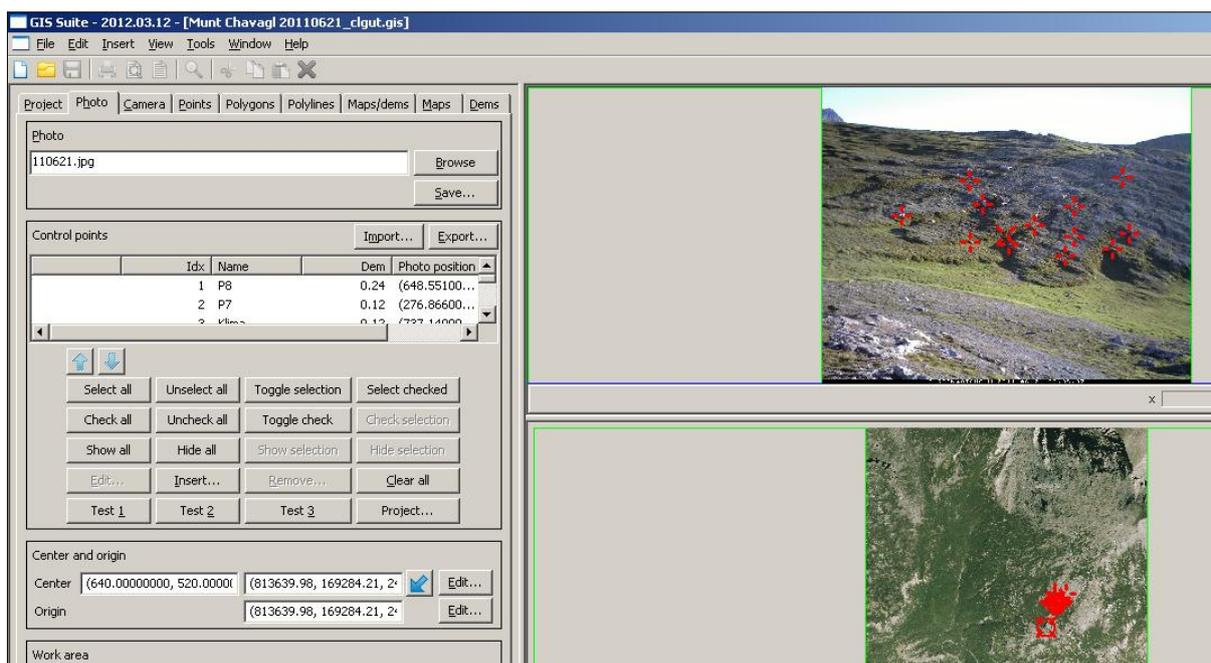


Abbildung 6: GIS-Suite (Foto)

Als nächstes muss die Kamera (in GIS-Suite Camera) kalibriert werden. Dazu werden eine Anzahl Passpunkte benötigt. Es werden also auf der Photographie und dem Orthofoto identische Punkte gesucht und markiert. Diese sind zu Beginn nur annähernd genau und werden daher ständig überprüft und angepasst: ungenaue Punkte (solche mit einer hohen Abwei-

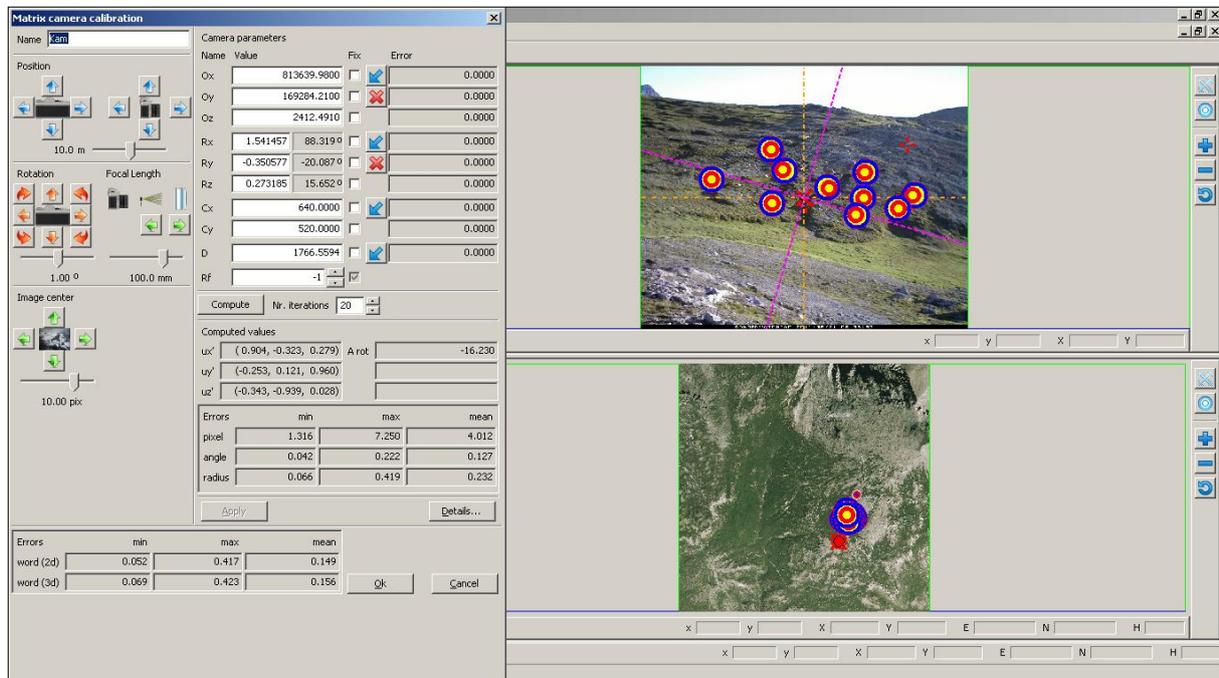


Abbildung 8: GIS-Suite (Kamera)

chung) werden gelöscht und neu gesetzt. Wenn genügend Passpunkte gesetzt sind (etwa 6 Passpunkte), kann die Kamera kalibriert werden (edit). Mit den blauen Pfeilen auf der rechten Seite können bereits definierte Daten übernommen werden, so etwa der Kamerastandort (Ox, Oy, Oz) und das Bildzentrum (Cx, Cy) (Abb. 7).

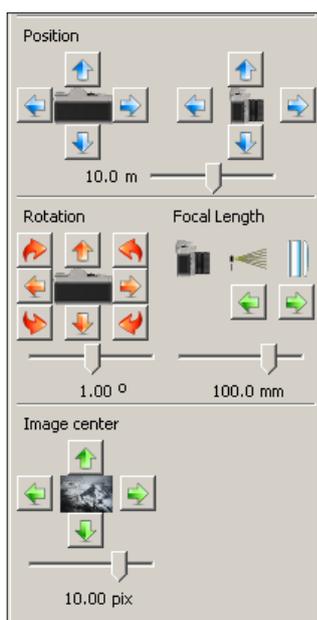


Abbildung 7: GIS-Suite (Kameraposition)

Die drei Drehwinkel der Kamera (Rx, Ry, Rz) werden mit Hilfe der Passpunkte berechnet. Rf ist die Kameraausrichtung, die um 180° gedreht werden und die Werte 1 (vom Hang weg) oder -1 (Richtung Hang) annehmen kann. Die Kamerakalibrierung geschieht mittels der Funktion ‚Compute‘. Die roten Punkte markieren die gesetzten Passpunkte und die blauen Kreise zeigen an, wo sich diese aufgrund der aktuellen Kameraeinstellungen befinden sollten. Dadurch können Rückschlüsse auf die Kameraposition gezogen werden, die mittels der Funktionen auf der linken Bildseite (Abb. 7 und 8) angepasst und verbessert werden kann.

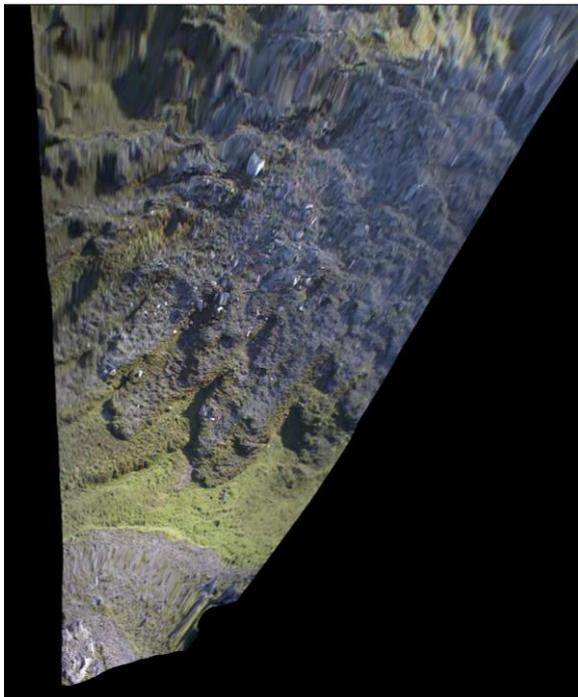
Die Position der Kamera kann auf beide Seiten, sowie rauf und runter verschoben werden (Position), die Kameraausrichtung kann ro-

tiert (Rotation), die Brennweite verkleinert oder vergrößert und das Bildzentrum verschoben werden (Image centre). Beim Ändern dieser Einstellungen können die Einheiten (m, °, mm, pix) verändert werden (Regulierungsleisten in Abb. 7 und Abb. 8). Durch diese manuellen Korrekturen verändert sich die Position der roten Punkte (mit gelbem Zentrum) und der blauen Kreise (mit gelbem Zentrum). Ziel ist es dabei, diese so zu positionieren, dass sie jeweils übereinander liegen (Farbabfolge von aussen nach innen: blau, rot, gelb) (Abb. 7).

Wenn dies erreicht ist, ist die Kamera optimal kalibriert. Im vorliegenden Fall konnte eine Abweichung (Errors 3D) von ca. 15 cm erreicht werden. Schliesslich können die Passpunkte, welche nun Pixel- und Landeskoordinaten aufweisen, als Textdokument aus GIS-Suite exportiert werden. Sie dienen später der Entzerrung der Bilder.

5.6 Orthorektifizierung

Nachdem die Bilder nun georeferenziert sind, müssen sie als nächstes orthorektifiziert werden. Dies bedeutet, dass geländebezogene geometrische Verzerrungen, die durch die Schrägbildaufnahme entstanden sind, aus den Fotos entfernt werden müssen. Dies geschah in diesem Fall bei der Firma Flotron in Gümligen durch Herrn Vogel auf Basis der gesetzten Passpunkte und des Lidar-DTM mit Hilfe der Software PCI-Geomatica.



Das orthorektifizierte Foto ist nun eine sogenannte Orthofoto mit einer Auflösung von 0.1 m. Die absolute Lagegenauigkeit entspricht im Bildzentrum ca. 1 m und ausserhalb des Bildzentrums wegen der schleifenden Schnitte 10 m und mehr (Vogel 2012, Mailkorrespondenz). Die Ungenauigkeit an den Rändern ist für die im zentralen Bereich befindlichen Solifluktuationsloben jedoch nicht relevant. Abb. 9 zeigt das Beispiel eines auf diese Weise entzerrten orthorektifizierten Bildes.

Abbildung 9: Entzerrtes Foto vom 21.06.2011 (Vogel, 2012)

5.7 Unterscheidung zwischen Schnee und Aperflächen

Nach der Entzerrung muss auf jedem Bild zwischen Schnee- und Aperflächen unterschieden werden (was in diesem Fall ebenfalls durch Herrn Vogel vorgenommen wurde). Die Flächen werden entsprechend kodiert. Das heisst, dass Bitmaps erzeugt (1 Bit pro Pixel) und jedes Pixel mit der Information ‚ja‘ (Schnee) oder ‚nein‘ (nicht Schnee), bzw. ‚no data‘ (Bereiche ausserhalb des Bildes) versehen werden. Aufgrund von Schattenwurf, Beleuchtung und Farbigkeit, wurde dies nicht wie vorgesehen mit PCI-Geomatica (unüberwachte Klassifikation) vorgenommen, sondern mit Hilfe des Tools ‚magic wand‘ in der Software Photoshop. Dabei

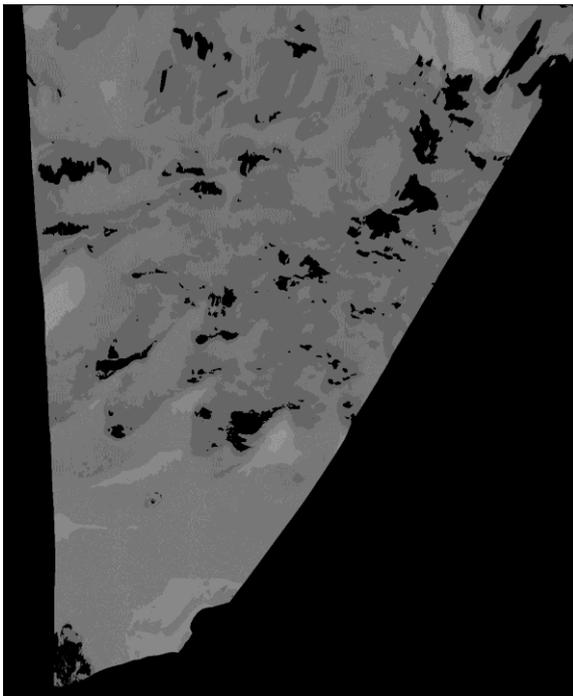


Abbildung 10: Graustufenbild (Vogel, 2012)

gilt es zu beachten, dass es seitens des Programms zu Fehlinterpretationen kommen kann. So wurden etwa helle Steine als Schnee kodiert, was anschliessend manuelle behoben werden musste. Anschliessend werden die Bilder gestapelt und mit der Tagesnummer kodiert. Es wird ein Graustufenbild erzeugt (Abb. 10), so dass den verschiedenen Grauwerten je der letzte Ausaperungszustand innerhalb eines Zeitintervalls entspricht. Bevor die Karte weiter verarbeitet wird, sollte nochmals kontrolliert werden, dass sämtliche verwendete Daten das gleiche Koordinatensystem aufweisen (CH1903 LV).

5.8 Kartengestaltung

Nun werden zuerst die Grauwerte neu eingefärbt (ArcMap/Spatial Analyst Tools/Reclass). In diesem Fall wurde ein Farbverlauf von Hell- (früh aper) bis Dunkelblau (lange schneebedeckt) gewählt, um das raum-zeitliche Ausaperungsmuster intuitiv erfassen zu können.

Nun muss die Karte noch zugeschnitten werden, wofür zuerst in ArcGIS eine ‚clip mask‘ zu erstellen, bzw. die Form des Ausschnitts zu definieren ist. Dazu wird entlang des Bereichs, der ausgeschnitten werden soll, mit Hilfe des Drawing-Tools ein Polygon gezeichnet. Danach muss dieses Polygon in ein Feature umgewandelt werden (Draw Toolbar/Drawing/convert graphics to features). Das dadurch entstandene Feature kann anschliessend beim Ausschneiden (Spatial Analyst/Extraction/Extract by Mask) als ‚clip mask‘ verwendet werden. Damit

man sich das Gelände besser vorstellen kann, wird die Karte mit Höhenkurven versehen und mit einem Hillshade (Schummerung) hinterlegt. Beides wird aus dem DTM abgeleitet. Die Höhenlinien werden mit Hilfe des Tools ‚contour‘ (3D Analyst Tools/Raster Surface/contours) erstellt, wobei die Äquidistanz der Höhenlinien frei gewählt werden kann, in diesem Fall 2m und 10m. Um ausserhalb des Bildes einen Eindruck der relativen räumlichen Höhenunterschiede zu erhalten, wird ein Hillshade erzeugt (Spatial Analyst/Surface/hillshade) und hinterlegt. Schliesslich wird die Karte noch mit einem Koordinatengitter versehen (Layer/Properties/Grid). Nun wird die eigentliche Karte erstellt. Dazu wird vom Data View in den Layout View gewechselt. Es werden ein geeigneter Ausschnitt und eine geeignete Auflösung gewählt und die Karte wird mit einer Legende sowie sämtlichen nötigen Informationen (vgl. Kartenbeschreibung) versehen. Das Endprodukt ist in Abb. 11 dargestellt.

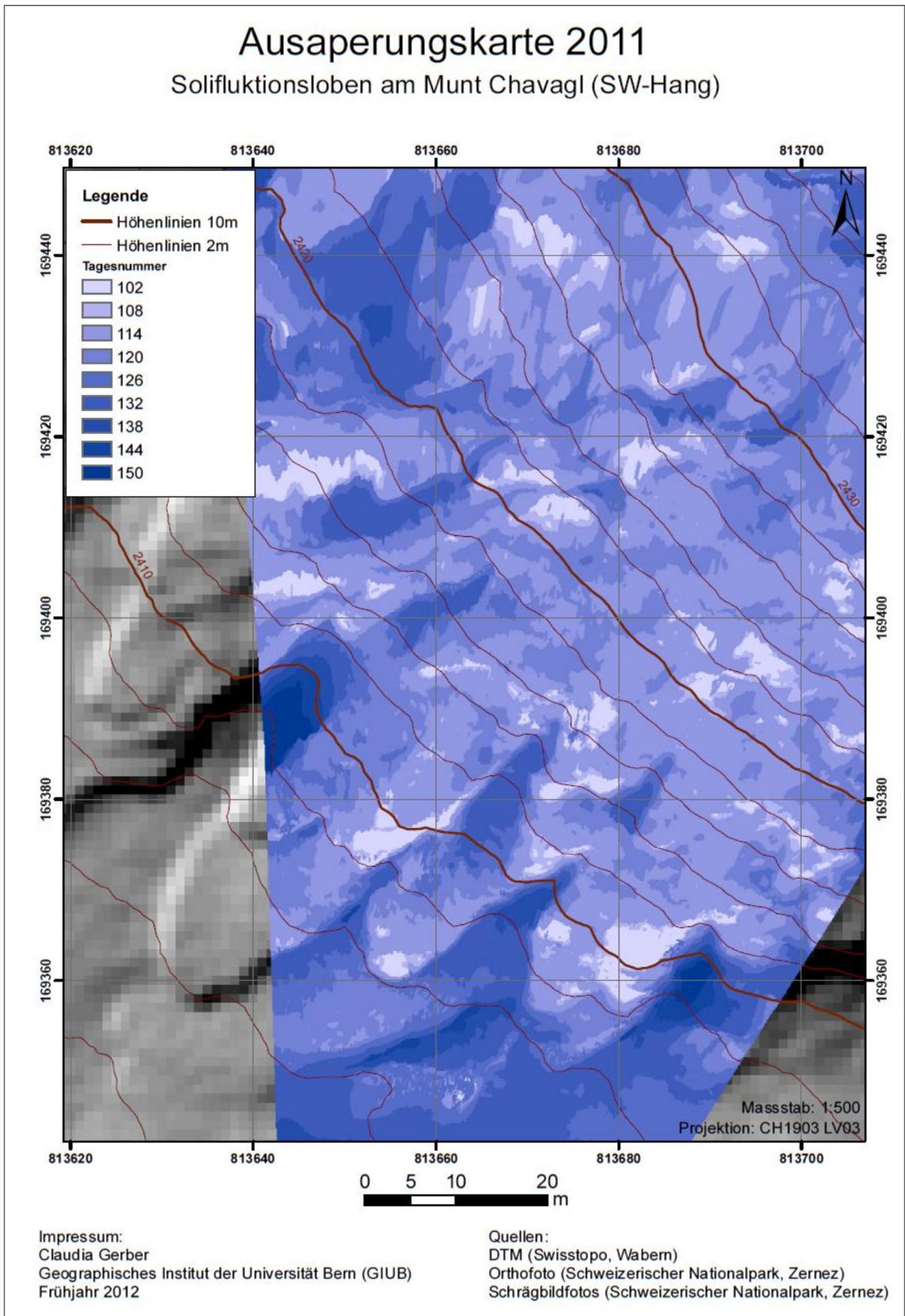


Abbildung 11: Ausaperungskarte 2011 (Gerber, 2012)

6 Erläuterungen zur Ausaperungskarte

Die Karte zeigt den Ausaperungsprozess des Frühjahrs 2011 über den Solifluktionsloben am Südwesthang des Munt Chavagls. Die Karte besteht aus verschiedenen Ausaperungszuständen in einer Auflösung von jeweils 6 Tagen (nebst den im methodischen Teil bereits erwähnten 3 Ausnahmen). Ausserhalb des Datenbereichs (fotografierte und verarbeitete Fläche, durch Entzerrung verzogen) besteht die Karte aus einem Hillshade welches eine Vorstellung vom Gelände vermitteln soll. Die Legende enthält die Angaben zu den Höhenlinien sowie die Tagesnummern, welche besagen an welchem Tag des Jahres (Tagesnummer) die Ausaperung bis maximal wo fortgeschritten ist. Der Übergang zum nächst dunkleren Bereich ist demnach als maximale Ausaperung der letzten Tage vor der entsprechenden Tagesnummer zu verstehen. Der Zeitpunkt dieses Ausaperungszustandes ist jeweils am Morgen des genannten Tages, weshalb zu bedenken ist, dass die Ausaperung während dem Tagesverlauf weiter fortschreiten kann. Weiter beinhaltet die Karte 2 m und 10 m Höhenlinien, welche Rückschlüsse auf die Steilheit des Hanges zulassen. Die Karte ist ausserdem mit einem Koordinatensystem

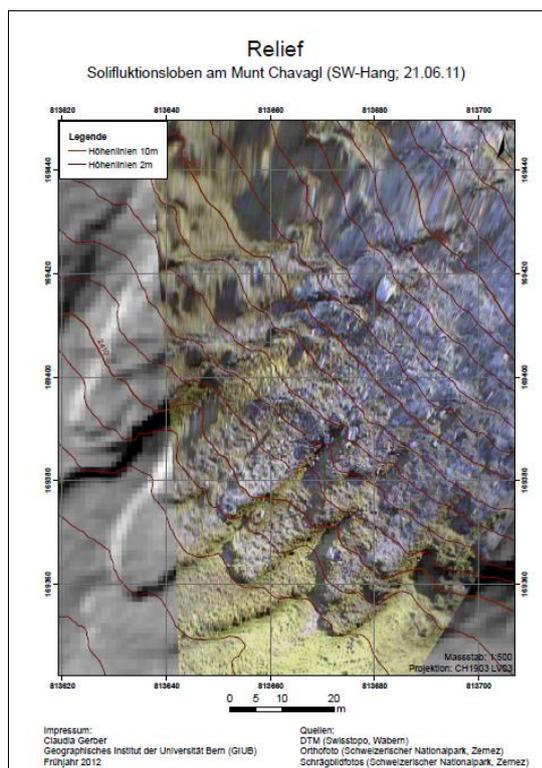


Abbildung 12: Reliefkarte (Gerber, 2012)

(CH1903 LV03) versehen, welches zur Orientierung und Einordnung des Geländes dienen soll. Die Karte weist einen Massstab von 1:500 auf und enthält eine Massstabsleiste von 20 m, welche bei der Abschätzung von Distanzen und Grössenverhältnisse dienlich sein soll.

Als Ergänzung zur Ausaperungskarte wurden ausserdem zwei weitere Karten erstellt. Bei der einen handelt es sich um eine Fotografie des Reliefs in aperm Zustand (entzerrte Foto vom 21.06.11), welche mit einem Hillshade hinterlegt und zu 30% transparent gemacht wurde (Abb. 12). Diese Reliefkarte hebt die Solifluktionsloben deutlich hervor und ermöglicht somit die Interpretation der Ausaperungskarte.

Die andere Karte (Abb. 13) stellt die Ausaperung am Tag Nr. 126 des Jahres 2011 dar (ebenfalls mit einem Hillshade hinterlegt und zu 30% transparent gemacht), was in etwa der Halbzeit der Ausaperung entspricht und ebenfalls der Interpretation der Ausaperungskarte dienlich sein soll. Die Ausaperungskarte sowie die beiden Darstellungen sind im Anhang in Originalgrösse zu finden (Anhang).

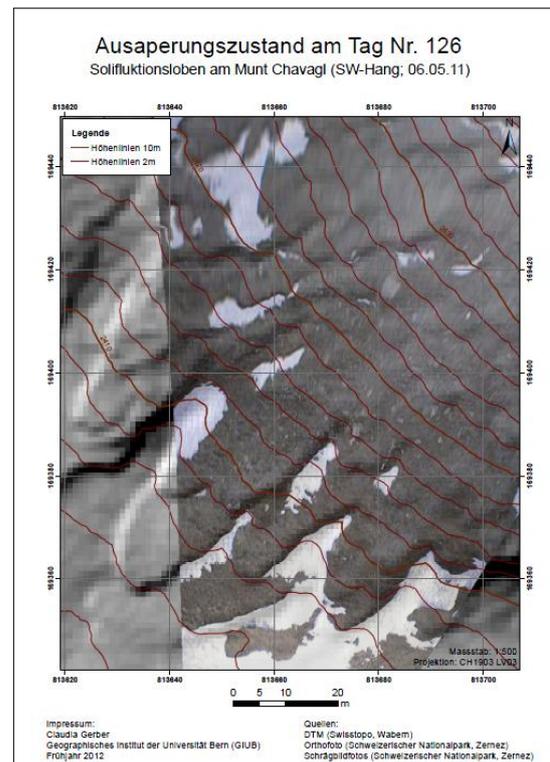


Abbildung 13: Ausaperungszustand am Tag Nr. 126 (Gerber, 2012)

7 Ausblick

Während der Kartenerstellung ist aufgefallen, dass einige Randbedingungen des Projekts noch optimiert werden könnten. So sollten etwa Schatteneffekte besser berücksichtigt werden, da diese zu erheblichem Mehraufwand führen bei der Unterscheidung zwischen Schnee und Aperfleichen. Dazu sollte der Aufnahmezeitpunkt nochmals überdacht und gleichzeitig der Sonnenstand berücksichtigt werden. Desweiteren sollte die Kamera so montiert werden, dass Abweichungen durch Wind- und Frost möglichst ausgeschlossen werden können. Dadurch, dass die Bilder erst manuell mit Hilfe von GIMP deckungsgleich gemacht werden müssen, können Fehler (Abweichungen) entstehen, da die Deckungsgleichheit nur annähernd genau wird. Ausserdem überstrahlt die Kamera bei mehr oder weniger direktem Sonnenlicht ziemlich stark. Auch dies sollte beim Montieren der Kamera bedacht werden. So sollte diese im Schatten aufgestellt, oder mit einer Sonnenschutzvorrichtung versehen werden (Rieke-Zapp, 2012: Mailkorrespondenz). Für ein weiteres Projekt zur Erstellung einer Ausaperungskarte aus einer Fotoserie, sollten ausserdem unbedingt Passpunkte im Gelände markiert und mit dem Tachymeter eingemessen werden. Dadurch würde die ganze Arbeit mit GIS-Suite wegfallen und die Bilder könnten direkt entzerrt werden.

Weitere Schwierigkeiten tauchten bei der Entzerrung der Bilder auf. So schreibt Vogel in einer Mailkorrespondenz:

„Ein Grundproblem ist, dass die Kamera grösstenteils den Hang hinauf an den Berg schaut. Das ist für die typische Orthofoto-Software, welche von oben auf die Landschaft guckt, nicht zuträglich. Ein Teil des Bildes liegt damit im "Negativquadranten" der von zwei unserer Softwares schlichtweg ignoriert wird“ (Vogel, 2012).

Vogel empfiehlt daher, die Kamera abwärts auf die Szenerie auszurichten. Weiter schreibt er:

„Das nächste Problem ist, dass in den oberen und seitlichen Bildbereichen extrem schleifende Schnitte entstehen, wo das Bild in einem sehr flachen Winkel auf das Gelände projiziert wird. Da wird die Lagegenauigkeit dann sehr rasch sehr schlecht, trotz der Passpunkte. Beim verwendeten Lidar-DTM besteht zudem eine erhebliche Höhenunsicherheit, welche sich bei dem flachen Projektionswinkel im oberen und seitlichen Bereich direkt in eine grössere Lageunsicherheit übersetzt“ (Vogel, 2012).

Erfreulicherweise konnte jedoch trotz all dieser Herausforderungen eine Karte erstellt werden, welche eine Interpretation zulässt und somit die Erforschung der Solifluktionsbeträge am

Munt Chavagl unterstützt. In Folge sind einige Hinweise darauf zu finden, wie sich eine solche Interpretation gestaltet:

Die Ausaperungsmuster auf der Karte werden verglichen und mit dem Gelände in Zusammenhang gebracht. Dabei sollen Luv-, Lee-, Düseneffekte, Exposition, Gefälle, Schattenwirkung, etc. berücksichtigt werden. Die Karte soll zudem mit den Bewegungsraten der Soliflukationsloben sowie mit den Informationen der Klimastation am Munt Chavagl verglichen werden. Da eine solche Interpretation der Karte den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde, wird in der vorliegenden Arbeit darauf verzichtet.

Literaturverzeichnis

Anderson, R.S und Anderson S.P (2010): Geomorphology. The Mechanics and Chemistry of Landscapes. Cambridge, Cambridge University Press.

French, H.M. (2007): The Periglacial Environment. West Sussex, Wiley.

Gamper, M.W. (1976): Bewegungs- und Temperaturmessungen am Munt Buffalora. Diplomarbeit, Geographisches Institut der Universität Zürich.

Gamper, M.W. (1981): Heutige Solifluktionsbeträge von Erdströmen und klimamorphologische Interpretation fossiler Böden. Ergebnisse der wissenschaftlichen Untersuchungen im Schweizerischen Nationalpark, v. 15, S. 355 - 443.

Gamper, M.W. (1983): Controls and rates of movement of solifluction lobes in the eastern Swiss Alps. Proceedings of the 4th International Conference on Permafrost, Fairbanks, Alaska, 1983. National Academy of Science, Washington DC, S. 328 - 333.

Jaesche et al. (2003): Snow Cover and Soil Moisture Controls on Solifluction in an Area of Seasonal Frost, Eastern Alps. Permafrost and Periglacial Processes 14, S. 399 - 410.

Keller, M. (1987): Ausaperungskartierung mit Landsat-MMS Daten zur Erfassung ökologischer Einflussgrößen im Gebirge. Inaugural-Dissertation. Zürich 1987, Zentralstelle der Studentenschaft.

Keller, F. und Rist, A. (2011): "Und sie bewegt sich doch!" - die Erde am Munt Chavagl. Cratschla 2/11, S. 2 - 3.

Kölbel, H. (1984): Die Schnee-Ausaperung im Gurgler Tal (Ötztal/Tirol). Ihre Erfassung, Darstellung und ökologische Aussage. Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Fakultät für Geowissenschaften der Ludwig-Maximilians-Universität München, 1982. In: Salzburger Geographische Arbeiten, Bd. 12. Salzburg, Selbstverlag des Fachbereichs Geographie und Geologie der Universität Salzburg.

Krummenacher et al. (1998): Periglaziale Prozesse und Formen im Furggentälti, Gemmipass. Davos, Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung.

Krummenacher et al. (2008): 20 Jahre Furggentälti. Permafrost Untersuchungen auf der Gemmi. Bern, Geographica Bernensia.

Veit, H. (2002): Die Alpen. Geoökologie und Landschaftsentwicklung. Stuttgart, Verlag Eugen Ulmer.

Vuille, M. (1996): Zur raumzeitlichen Dynamik von Schneefall und Ausaperung im Bereich des südlichen Altiplano, Südamerika. Bern, Geographica Bernensia.

Internetquellen

Bundesamt für Landestopographie (2012): <http://map.geo.admin.ch> [Stand: 06.06.2012]

Suchbegriff: Munt Chavagl – Zernez

→ Umwelt, Biologie und Geologie

→ Geologie

→ Entstehung der Gesteine, Lithologie-Hauptgruppen

Selbständigkeitserklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen benutzt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäss aus Quellen entnommen wurden, habe ich als solche gekennzeichnet. Ich erkläre ausserdem, dass ich weder die ganze Arbeit noch Teile davon ohne Absprache mit der Betreuerin/dem Betreuer in einer anderen Lehrveranstaltung in mündlicher oder schriftlicher Form zur Erlangung eines Leistungsnachweises eingereicht habe. Mir ist bekannt, dass ich andernfalls ein Plagiat beziehungsweise einen Betrug begangen habe und dies mit der Note 1 bestraft wird. Ich weiss, dass zusätzlich weitere Sanktionen gemäss den „Richtlinien der Universitätsleitung betreffend das Vorgehen bei Plagiaten“ vom 28. August 2007 und gemäss Artikel 36 Absatz 1 Buchstabe o des Gesetzes vom 5. September 1996 über die Universität ergriffen werden können. Dazu gehört im Falle von BA-Arbeiten insbesondere der Entzug des aufgrund dieser Arbeiten verliehenen Titels.

Bern, 13.07.2012



Claudia Gerber

Anhang