

# Das Engadin

Landschaft, Geomorphologie, Hydrologie und Tourismus



1 Lej da Segl

2 Lej da Silvaplana

3 Sils/Segl i.E.

4 Isola

5 Gravalvas

6 Furtshellas

7 Piz Albana

8 St. Moritz/S. Murezzan

9 Silvaplana

## Inhalte des Grossthemas «Engadin»

### Oberengadin

Celerina - Samedan, Flaz - Umleitung  
Oberengadiner Seenlandschaft mit St. Moritz  
Permafrost und Lawinenschutz in Pontresina  
Geologie - Morphologie - Glaziologie

### Unterengadin

*Die Aufweitung des En zwischen Madulain und Zuoz*  
*Das Unterengadin von Zernez bis Scuol (Guarda)*  
*Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler von nationaler Bedeutung (BLN)*  
*Zernez - Ofenpass / Nationalpark - Val Mustair*

### Steckbrief

Die Oberengadiner Seenlandschaft gehört zum Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler von nationaler Bedeutung (BLN) mit der Objekt Nummer 1908. Das BLN macht mit seinen 162 Objekten 19% der Schweizer Landesfläche aus. Das Ziel des BLN ist der Schutz und die Pflege der landschaftlichen Vielfalt und Eigenart.

Die Fläche des BLN 1908 (Oberengadin) beträgt rund 38'000 ha. Die Einzigartigkeit basiert auf geologisch-glazialmorphologischen Formen (penninisch-ostalpine Deckenformationen, ausgeprägte Glaziallandschaften, Blockgletscher), auf Besonderheiten der Vegetation (Arven- und Lärchenwälder, Gebirgstundra, nordische Moore, Alpenflora), Berglandwirtschaft mit Alpbetrieben, Sommer- und Wintertourismus (Wandergebiet, Skiarenen).

Schwerpunkte im Thema «Engadin» sind die Gletscherwelt des Morteratsch, die Flussumleitung des Flaz, sowie die Flussrenaturierungen im unteren Inn, die geomorphologische Ausprägung des Tals durch Rückwärtserosion der Mera, die Permafrostsituation im Raum Pontresina, die Bergwelt der Berninagruppe, sowie die geologischen Besonderheiten des Unterengadiner Fensters mit seinen Thermalquellen.

# Permafrost und Lawinenschutz in Pontresina



# Permafrost und Lawinenschutz in Pontresina

## Schutzwall Schafberg (Munt da la bes-cha)

(Die folgenden Ausführungen sind den Unterlagen zu einer Pressekonferenz «Permafrost- und Lawinenproblematik» vom 6. September 2001 entnommen)

Gegen mögliche Folgen der Klimaveränderung mit auftauenden Permafrostböden, vermehrt auftretenden Starkniederschlägen, Murgängen und dergleichen wurden in Pontresina schon früh Massnahmen getroffen mit Aufforstungen, Lawinen- und Rufenverbauungen.

### Historisches

Vor 1860 bestand Pontresina aus den alten lawinen- und rufensicheren Dorfteilen Laret, San Spiert und Carlihof / Giarsun. In der folgenden Hotelbauperiode bis ca. 1900 wurden



Trockensteinmauer im bewaldeten Hang  
Foto: HP. Jud, 2010

die dazwischen liegenden, lawinengefährdeten Zonen überbaut. 1882 entstanden darauf die ersten Rufen- und Lawinenverbauungen am Schafberg in Form von Trockensteinmauern. Weitere Projekte folgten seit 1892 im Val Giandains, am Unteren Schafberg, Clüxer Tobel und Languardhang. Heute existieren entlang des SW-Hanges des Gebirgszuges Munt da la Bes-cha - las Sours - Piz Clüx (mit einer Breitenausdehnung von ca. 1,5 km) in einer

Höhe von 2'200 - 2'980 m ü.M. 624 Verbauungen mit einer Gesamtlänge von über 16'000 Laufmetern.

### Geologie und Permafrost

Der Schafberg (Munt da la Bês-cha) weist stark zerklüftete kristalline Orthogneise und Paraschiefer der ostalpinen Languarddecke auf. Die Böden bestehen meist aus eingewachsenen Geröllhalden und Hangmoränen. Oberhalb des Val Giandains westlich des Piz Muragl liegt das Permafrostgebiet mit auffälligen Kriechstrukturen, sogenannte Blockgletscher. Das kristalline Gestein, drei Geröllhalden, Hangmoränen und Permafrostkörper sind verantwortlich für die Schuttproduktion, welche für die Lawinenverbauungen und die Rufenaktivität eine wichtige Rolle spielt. Eine noch unverbaute Erosionsrinne im Nord-Westen des Kares (Val Giandains) hat ihren Ursprung unter der Stirnpartie eines kleinen, offensichtlich wenig aktiven Blockgletschers. Dieser liefert Schutt in die Rinne, die als potentielle Murganganrisszone erkennbar ist. Die Lawinenverbauungen befinden sich ausserhalb des Permafrostgebietes.

### Aufforstungen

Der Munt da la Bês-cha beherbergte viele Jahrhunderte über 1'000 Bergamasker Schafe. Dies führte zu einer starken Verminderung der Waldung. Deswegen wird seit 1890 der Schafberger Wald immer wieder aufgeforstet. Heute besteht der Wald aus Lärchen, Arven und Wachholder - Bärentrauben - Gesellschaften. Oberhalb der Waldgrenze von 2'200 und 2'300 M. ü. M. liegen alte Schafweiden und Schutthalden. Kuppen und Rücken werden von einer Alpenazalee - Flechten - Gesellschaft, Tobel und Runsen von Alpenrosen besiedelt. In den Aufforstungsflächen des Schafberges verursacht das Steinwild der Albris - Kolonie

jedes Jahr beträchtliche Verbiss-, Fege- und besonders Trittschäden. Einzäunung von Flächen, Einfang und Abschuss des Wildes vermindern die Schäden.

Aufforstung und Verbauungsarbeiten wurden seit 1892 immer parallel zum Lawinenverbau durchgeführt. Zwischen 1953 bis 1988 wurden 3'730'000 Stück Pflanzen neu gesetzt, davon 60% Arven, 30% Lärchen und 10% Bergföhren. Zwischen 1985 und 1993 stand dafür ein Budget von rund 385'000 Franken zur Verfügung (Bott 1994).

Lawinenverbauung und Murgangschutz  
im Val Giandains  
Foto: HP. Jud, 2010



## Forschungsprojekte und Gutachten im Val Giandains

In Pontresina wurde über Jahrzehnte hinweg das Gebiet Schafberg - Val Giandains untersucht. Im Februar 1988 erstellte die VAW (Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie) der ETH Zürich die erste Permafrostkartierung, die vor allem zeigte, dass der Lawinenverbauperimeter sich im heiklen Bereich von eisreichem, kriechendem Permafrost befindet. Im Februar 1989 wurde das Ergänzungsprojekt "Permafrost" von der VAW, Abteilung Glaziologie, in Angriff genommen. Es sollten die natürlichen Rahmenbedingungen untersucht und bautechnische Probleme gelöst werden. 1995 präsentierte das Kreisforstamt des Kantons Graubünden die Risikoanalyse Schafberg, in der die Gefahrenarten Murgang, Lawinen und Steinschlag analysiert wurden.

Im Rahmen der Gefahrenfrüherkennung am Schafberg sowie zum langfristigen

Studium von alpinem Permafrost wurden von der VAW photogrammetrische Beobachtungen und geophysikalische Untersuchungen durchgeführt. Daten von 1971 bis 1991 wurden ausgewertet. Zudem befinden sich zwei der wenigen, langfristig gemessenen Bohrlöcher im alpinen Permafrost am Schafberg. Hierzu wurden Resultate im Schlussbericht Nationales Forschungsprogramm Nr. 31 "Klimaänderung und Naturkatastrophen" unter dem Titel "Eis-schwund und Naturkatastrophen im Hochgebirge" publiziert. Darin wird auch ein Schutzkonzept für die Murgang- und Lawinengefahr am Schafberg/Pontresina näher diskutiert. Es entstanden drei Varianten eines Schutzkonzeptes.

### **Variante 1**

Die Variante 1 hätte einen konventionellen Lawinenverbau im Anrissgebiet mit kleinem Murgangschutz im Auslaufgebiet vorgesehen. Zur Kontrolle der grossräumigen Permafrostbedingungen müssen die Bohrlochmessungen aufrecht erhalten werden. Das flächenhafte geometrische Verhalten der Permafrostoberfläche soll durch Fortsetzung der Spezialbefliegungen beobachtet und photogrammetrisch analysiert werden (photogrammetrisches Beobachtungskonzept.) Die Gebrauchstauglichkeit allfälliger Werke ist jährlich zu kontrollieren, was eine visuelle Beobachtung der Foundationen und eine genaue, z.B. geodätische Erfassung allfälliger Fundamentverschiebungen beinhalten müsste. Als mögliche Massnahmen zur Murgangverhinderung in der Runse kommen eine Verstärkung des Rückhaltes am Hangfuss oder - wohl weniger realistisch - der Versuch einer Wasserfassung oberhalb der Kante (Baggerschlitz) mit Ableitung des gefassten Wassers in Frage. Hanginstabilitäten oder ein grösseres Murgangereignis können bei einem Starkniederschlag aber nicht ausge-

geschlossen werden. Schutz vor Murgängen aus dem Südhang oberhalb des Blockgletschers ist eventuell durch Mauern möglich (vergl. Variante 2). Für kleinere Murgangereignisse ist der Bau eines Murgangrechens im Auslaufgebiet zu erwägen, womit einem allfälligen Murschub Wasser entnommen werden soll. Als mögliches Ablagerungsgebiet kommt der Waldteil oberhalb des Dorfes in Frage.

### **Variante 2 (realisiert)**

Im Auslaufgebiet ist ein Damm oder eine Dammkombination zu erstellen. Der Bachdurchfluss muss mit einer verstreuten Dammbresche oder einem Durchlass mit einem Rost gewährleistet sein. Allenfalls ist die Möglichkeit einer versetzten Dammanordnung mit freiem Wasserdurchfluss zu prüfen. Die Lawinengefahr ist weitgehend unter Kontrolle, falls unmittelbar nach einem Lawinenniedergang der Schnee hinter den Dämmen weggeräumt wird. Murgangablagerungen wären ebenfalls auszubaggern. Im beschriebenen Murganganrissgebiet ist der Zustand der Mauern zu überprüfen. Eventuell ist der Bau von zusätzlichen Mauern im bisher noch unverbauten Schuttkegel (Südhang Las Sours) oberhalb des Blockgletschers vorzunehmen, um der Ausbildung eines Murschubes, der die obere Kante der Runse erreichen könnte, entgegenzuwirken. Der Zustand der Mauern in der Runse (Hangfuss) ist zu überprüfen, evtl. sind Verstärkungen nötig. Der Vorteil dieser Variante ist, dass die Permafrostbedingungen im Anrissgebiet nicht weiter beeinflusst werden.

### **Variante 3**

Als letzte Variante wurde der Versuch in Erwägung gezogen, mit den gegebenen Naturgefahren zu leben. Bei extremen Witterungsbedingungen wären von der Gemeinde aus Evakuierungen anzuordnen. Die existierenden Evakuierungspläne wären zu überprüfen. Die Erhaltung und Überwachung der im Anrissgebiet bestehenden Trockensteinmauern müsste gewährleistet sein.



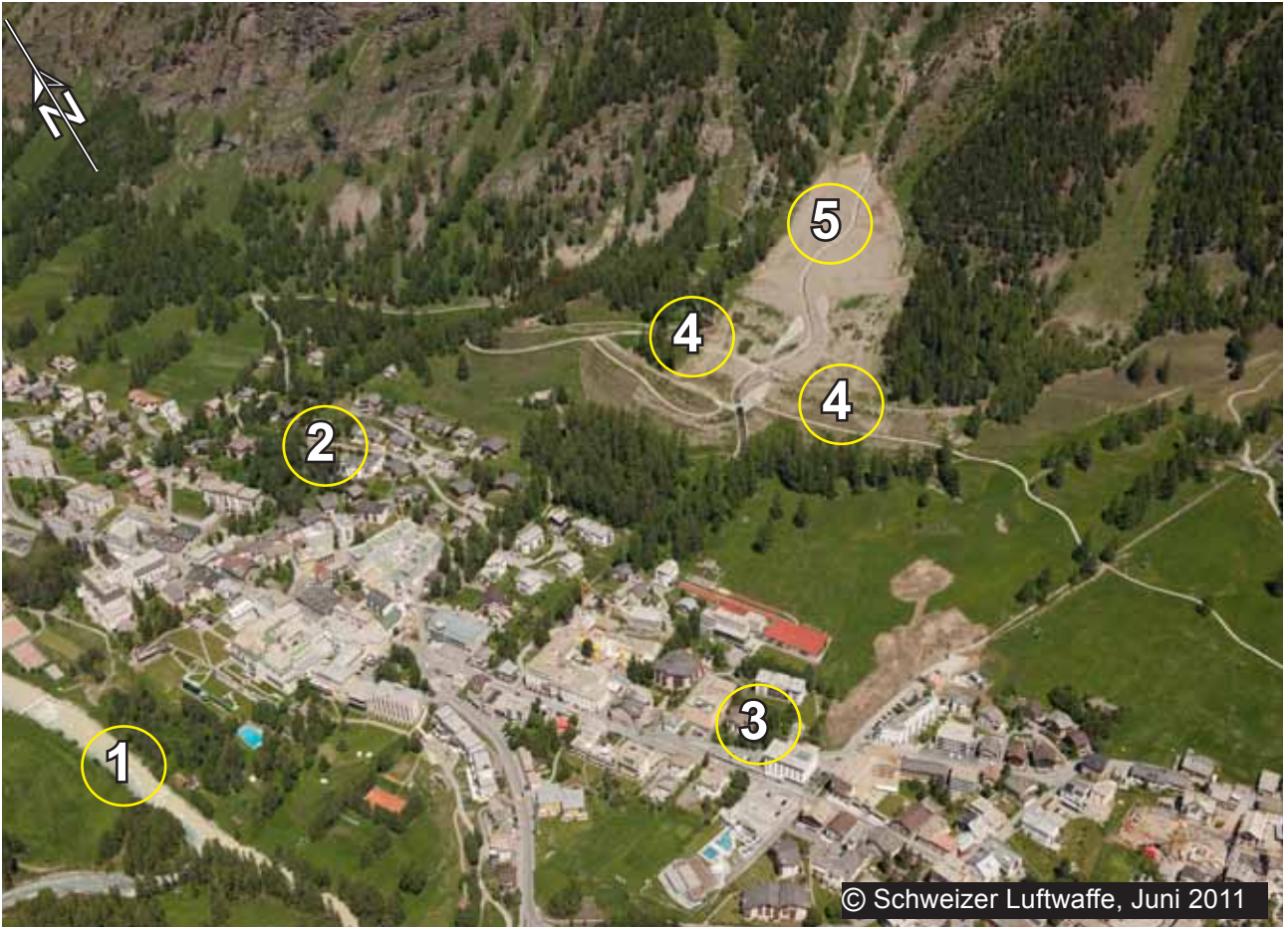
Auffangdämme mit Blick  
gegen Pontresina  
Bild: HP. Jud, 2010

## **Projekt Auffangdamm Val Giandains**

Aus dem obigen Variantenstudium wurde die Variante 2 verwirklicht. Mit Auffangdämmen oberhalb der Ortschaft Pontresina sollen einerseits die Lawinenniedergänge und andererseits die Murgänge aufgefangen werden. Die Dämme wurden gemäss Empfehlungen der Lawinen- und Murgangexperten so dimensioniert, dass diese 240'000 m<sup>3</sup> Schnee aus Lawinen auffangen können. Die prognostizierten maximalen 100'000 m<sup>3</sup> Rufenmaterial können von einem derartigen Bauwerk ebenfalls aufgenommen werden. Bei Projektbeginn standen zwei Dammvarianten zur Diskussion: Variante A bestand aus einem einzigen durchgehenden Damm mit einer bis auf die Sohle reichenden Bresche als Bachdurchgang. Im März 1997 fiel der Entschied zu Gunsten der Variante B mit zwei gegeneinander versetzten Dämmen. Ausschlaggebend war neben der Wirtschaftlichkeit vor allem die bedeutend bessere Einpassung der versetzten Dämme in die Umgebung.

Die zwei versetzten Dämme von je 230 m Länge, welche bergseits eine Höhe von 13.5 m aufweisen, konnten mit dem am Baustandort vorhandenen Material erstellt werden. Die ma-

## Der Schutzwall hinter Pontresina



1 Flaz

2 Pontresina-Laret

3 Potresina-Bellavista

4 Schutzwälle

5 Erosionsrinne



ximale Breite beträgt 67 m. Die Dämme sind an bestehende Geländekanten angepasst und die talseitigen terrassierten Böschungen renaturiert. Der Abtrag des Dammschüttmaterials erfolgte bergseits der Dämme und zwar so, dass einerseits die Lawinen hinter die Dämme geleitet werden und andererseits ein Becken mit genügend Auffangkapazität entsteht.



Blick in das Auffangbecken hinein  
Bild: HP. Jud, 2010

Um Grosslawinen mit den 13.5 m hohen Dämmen auch sicher auffangen zu können, sind Zusatzmassnahmen notwendig, welche die Lawinengeschwindigkeit vor den Dämmen reduzieren. Die Evaluation verschiedener Varianten führte nach eingehender Diskussion zur Planung zweier ebenfalls versetzter Vordämme im Auffangbecken mit einer bergseitigen Höhe von 8.15 m. Die Hauptdämme beanspruchen eine Fläche von 2.1 ha. Von der Erstellung des Auffangbeckens inkl. der Vordämme werden ca. 4.2 ha tangiert. Rodungen von 2.1 ha Altholz und 1.0 ha aufkommendem Jungwald im Lawinenzug sind notwendig. Die Gesamtfläche des Bauwerkes beträgt 6.3 ha. Davon sind ca. 3.3 ha unbestockter Lawinenzug, bzw. Fels. Für die sofortige Leerung des Auffangbeckens nach einem allfälligen Murgang ist eine Zufahrts-

strasse für Baumaschinen und Lastwagen notwendig. Die neue Strasse dient in der Bauphase auch für das Zuführen eines Teils der Steine für die bergseitige Befestigung der Dämme und des Baumaterials für die Dammbalkensperre zwischen den zwei Dämmen. Nach Abschluss der Bauarbeiten wurde eine durchgehende attraktive Wanderwegverbindung von Sta. Maria - Crast'ota - Las Blais erstellt.

Dank intensiver Projektierungsarbeit ist es gelungen, das grosse Bauwerk so in die Umgebung einzupassen, dass es sich nach Ausheilung der Baueingriffe doch harmonisch und verhältnismässig sanft in die Landschaft einfügt, zumal talseitig im Waldbereich praktisch über die ganze Länge ein Waldstreifen als Sichtschutz bestehen bleibt. Das neue Bauwerk vermag landschaftsökologisch den Vergleich mit den von weit her sichtbaren bestehenden Lawinenverbauungen längstens bestehen.

Die für die Erstellung dieses Werkes samt Zufahrtsstrasse und Renaturierung anfallenden Gesamtkosten wurden vom planenden Ingenieurbüro inkl. Reserven und unter Beizug einer örtlichen Bauunternehmung auf 7.5 Mio. Franken veranschlagt. Diese Summe entspricht einem Viertel der Aufwendungen, die für einen gegen die drohende Murganggefahr wenig hilfreichen, konventionellen Vollverbau der Anrissgebiete der Val Giandains gegen Lawinen hätten aufgewendet werden müssen.

Aufnahme der Hinweistafel an den Auffangdämmen  
Foto: HP. Jud, 2010

Dimensionen		
Hauptdämme	Nord	Süd
Längen	205 m	230 m
wirksame Höhen, bergseitig (vertikal)	12 m	12 m
Basisbreiten (horizontal)	70 m	70 m
Vordämme		
Längen	85 m	95 m
wirksame Höhen (vertikal)	7 m	8 m
Basisbreiten (horizontal)	55 m	50 m
□ Neigungen:		
Dämme: bergseitig 45 ° / talseitig	33 °	
Auffangbecken (durchschnittlich)	19 °	
□ Kubaturen:		
Dammschüttungen	250'000 m <sup>3</sup>	
Blockverbau, Dämme (bergseitig)	15'500 m <sup>3</sup>	
□ Dammbalkenverschluss:		
Beton 960 m <sup>3</sup> / Stahlbau+Bewehrung	130 to	
□ Bachgerinne:		
Verlegung „Chanel da Giandains“	400 m	
□ Zufahrten und Wege:		
Strassen	1'180 m	Wegen 1'260 m
Auffangvolumen		
Schnee aus Lawinen	240'000 m <sup>3</sup>	
Murgang (prognostiziertes Maximum)	100'000 m <sup>3</sup>	
Flächenbedarf		
Hauptdämme	2.2 ha	
Vordämme	0.7 ha	
Auffangbecken / Fallböden	3.5 ha	
□ Rodungen:		
Altholz (720 Bäume)	2.2 ha	
Jungwald	1.0 ha	
□ Aufforstungen / Begrünungen:		
Bepflanzungen total	3'500 St	
davon: 1'100 Lärchen, 200 Arven, je 500 Vogelbeeren und Weiden, 200 Birken sowie noch 1'000 Diverse		
Humusierung, Ansaat	0.9 ha	



## Forschungsprojekte und Gutachten im Val Giandains

### Ankerversuche des SLF 1987/88

1978 wurde die Arbeit im Val Giandains, die 1892 unter dem Namen "106 Giandains" projektiert wurde, wieder aufgenommen. In vier Etappen sollten durch den Einbau von leichten Stahlwerken mit Sprengankerfunktionen Lawinen- und Rufenverbauungen realisiert werden. Doch bereits nach der ersten Etappe mussten die Arbeiten aus bautechnischen Gründen eingestellt werden. Im Herbst 1987 ergaben Ankerversuche des Eidgenössischen Institutes für Schnee- und Lawinenforschung SLF, dass eine Runse im Verbaungsgebiet Giandains mit den bestehenden Werktypen mit gebohrten Ankern nicht verbaubar ist. Was-

serführende, schmierige und sehr kalte Schichten behinderten das Bohren in 2.5 m Tiefe. Da sich diese Bohrlöcher jeweils wieder rasch verschlossen, konnten in diesem Gebiet keine Probeanker versetzt werden.

## **Permafrostkartierung der VAW/ETH Zürich**

Der zugehörige Kurzbericht (VAW 1988) beschreibt die vermutlichen Bewegungsrichtungen des Permafrostkriechens und die daraus resultierende extreme Labilität des Lockerschuttes an der Blockgletscherstirn des Blockgletschers "Ursina".

Die wesentlichen Schlüsse aus der Permafrostkartierung sind:

- Der Verbauperimeter befindet sich teilweise im heiklen Bereich von eisreichem, kriechendem Permafrost.
- Eischarakteristik und Mächtigkeit des Permafrostes sind nicht bekannt.
- Interaktion zwischen Schnee und Permafrost sind nicht erforscht.
- Bis heute sind keine Lawinenschutzmethoden für Permafrostgebiete entwickelt worden.
- Die Bauarbeiten müssen mindestens vorübergehend eingestellt werden.
- Ein neues der Lawinen- und Murgangefahr Rechnung tragendes Schutzkonzept für das Val Giandains muss entwickelt werden.

## **Forschungsprojekt Permafrost 1989-1992**

Im Februar 1989 wurde das sogenannte Ergänzungsprojekt "Permafrost" von der Versuchsanstalt für Wasserbau VAW, Abteilung Glaziologie, in Zusammenarbeit mit dem Eidgenössischen Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF gestartet. Aus der oben beschriebenen Situation wurden drei Schwerpunkte gebildet, um die natürlichen Rahmenbedingungen kennenzulernen und die bautechnischen Probleme zu lösen:

- Refraktionseismische und geoelektrische Untersuchungen sollen die lokalen Kenntnisse über die Verbreitung und die Charakteristik des Permafrostes verbessern. Mit Sondierbohrungen können dann die glaziologisch-geotechnischen Eigenschaften definiert und beobachtet werden.
- Die Wechselwirkung zwischen Permafrost - Schnee - Lawinen und Lawinenverbauungen sollen untersucht werden. Dabei sind vor allem die Aspekte Wärmefluss, Schneemetamorphose, Auswirkungen von Lawinenschutzmassnahmen auf den Permafrost und die Schneedeckenverteilung zu beachten.
- In der Bauingenieur-Studie soll aus den definierten natürlichen Randbedingungen ein geeignetes Konzept für den allgemeinen Lawinenverbau im Permafrost sowie speziell für das Val Giandains erarbeitet werden.

Der 1. Schwerpunkt wurde im März 1991 durch die VAW bearbeitet. Dabei wurden mit geophysikalischen Sondierungen im Gebiet Giandains der oberflächennahe Wärmefluss, der elektrische Widerstand, die Ausbreitungsgeschwindigkeit seismischer Wellen und die Streuungseffekte elektromagnetischer Wellen erfasst. Dank dieser Methoden konnten folgende Schlüsse gezogen werden:

- Im Blockschutt oberhalb rund 2'700 m ü.M. ist durchwegs Permafrost vorhanden, ungefroren sind nur die strahlungsexponierten Steilhänge unterhalb "Las Sours".
- Die Mächtigkeit der gefrorenen Schuttmassen liegt im Dekameterbereich; zumindest im obersten Bereich der Seilbahn reicht der Permafrost bis in den Felsuntergrund.
- Der gefrorene Schutt dürfte eisgesättigt bis leicht -übersättigt sein, für die grossräumige Existenz von extremer Eisübersättigung, massivem Untergrundeis oder verschütteten Gletscher- und Lawinenresten fehlen jegliche Hinweise.
- In der nördlichen Runse - wo die aus fundationstechnischen Gründen zurückgestellten Verbauungsprojekte geplant sind - wie auch in den vegetationsbedeckten Steilhängen sind unter einer aufgetauten Schicht von 5 - 15 m Mächtigkeit wahrscheinlich tiefliegende Permafrostreste vorhanden.
- Die Permafrostreste in der nördlichen Runse dürften aus den kälteren Jahrhunderten

der "Kleinen Eiszeit" (ca. 1'600 bis 1'850 n. Chr.) stammen und inaktiv, mit den heutigen klimatischen Bedingungen also nicht mehr im Gleichgewicht sein.

- Der inaktive, tiefliegende Permafrost in der allenfalls zu verbauenden nördlichen Runse (Val Giandains) dürfte zur Zeit langsam abschmelzen; mit diesem Prozess geht eine sukzessive Veränderung der Stabilität und der Erosionsanfälligkeit des Steilhanges einher.

Im Oktober 1991 wurden durch die VAW mit zwei Zertrümmerungsbohrungen die geophysikalischen Oberflächensondierungen vom Vorjahr am Schafberg ergänzt und die Analyse der lokalen Permafrostverhältnisse vervollständigt. Intensive Bohrlochsondierungen und langfristige Bohrlochmessungen liefern die Grundlage für folgende Schlüsse:

- Der Permafrost ist an den beiden Bohrstellen 40, resp. 70 m mächtig und reicht bei mittleren Oberflächentemperaturen von  $-0.7$  und  $-1.7^{\circ}\text{C}$  jeweils bis in den 30 bzw. 16 m tief liegenden Felsuntergrund.
- Die gefrorenen Lockersedimente sind eisgesättigt bis eisübersättigt und damit praktisch wasserdicht; stellenweise sind Eisgehalte bis rund 80 Vol% festzustellen (= Bestätigung der geophysikalischen Untersuchungen VAW 1991).
- Die eisreichen Lockergesteine kriechen mit Geschwindigkeiten von einigen Zentimetern pro Jahr annähernd oberflächenparallel in die Steilhänge der Lawinengebäudezone.
- Etwa  $100\text{ m}^3$  gefrorener Schutt fließen jährlich in die Runse des Val Giandains hinein und verändern dadurch langsam aber stetig die Geometrie der übersteilen Hangpartie; im Mittel stürzen jährlich ein paar grosse Blöcke von der Runsenoberkante ab.
- Zurzeit wird im nahen Permafrost - Bohrloch Murte/Corvatsch ein ausgesprochen rascher Temperaturanstieg beobachtet; falls dieser Trend auch für Pontresina - Schafberg gilt und weiter andauert, könnten im Bereich der Runsenoberkante massive Schmelz- und Setzungsprozesse beginnen.
- Derartige Veränderungen dürften zumindest für historische Zeit neu sein und die Stabilitätsbedingungen im Hinblick auf Murganganrisse in der Runse des Val Giandains wesentlich beeinflussen; sie können anhand der installierten Bohrlöcher (Temperatur, Kriechen, Setzungen) verfolgt werden. Eine Studie der Abteilung Flussbau der VAW (1990) schätzt das maximale Erosionspotential für einen allfälligen Murgang aus dieser Zone auf rund  $100'000\text{ m}^3$ .

## **Beurteilung der Murgangproblematik im Val Giandains**

Eine Risikoanalyse gründet auf der Abschätzung und Berechnung des Gefahren- und Schadenpotentials, um mögliche Schutzmassnahmen ableiten zu können. Dabei werden die Gefahrenarten Murgang, Lawinen und Steinschlag analysiert. Auf der Grundlage der bereits erwähnten Studien führte das Institut für Tourismus und Landschaft an der Academia Engiadina, Samedan, im Jahre 1994 eine Beurteilung der durch Murgänge aus dem Val Giandains und Val Clüx gefährdeten Dorfteile Pontresinas durch. Resultat ist eine Gefahrenkarte für verschiedene Murgangereignisse.

## **Oberflächenbewegung Schafberg 1971-1991**

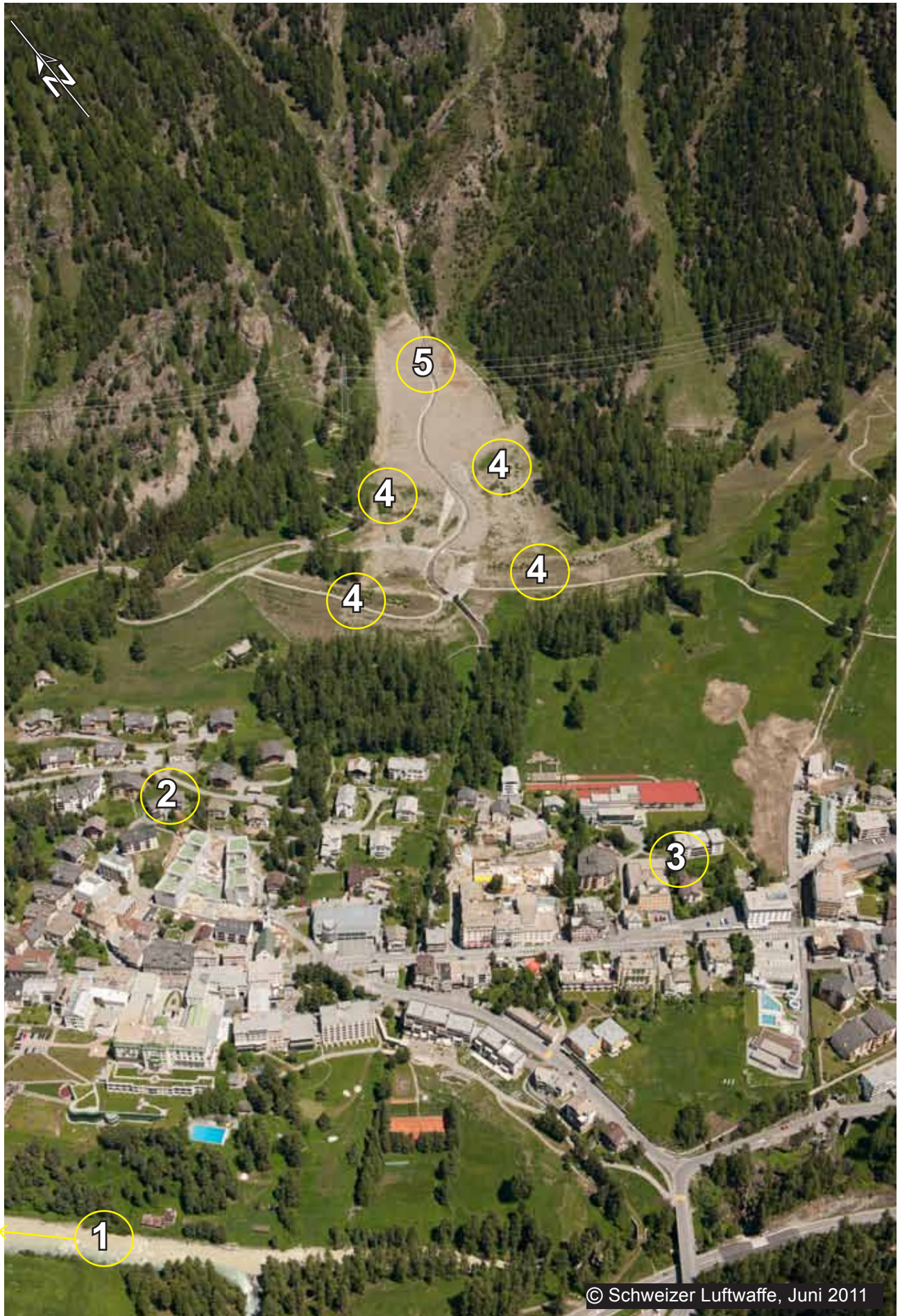
Die Oberflächenbewegung am Schafberg wurde über den Vergleich von zwei Nachführungsflügen aus den Jahren 1971 und 1991 bestimmt. An allen Messpunkten der Höhendifferenzen wurden Verschiebungen gemessen und graphisch dargestellt.

Das kontinuierliche Bewegungsfeld lässt in Übereinstimmung mit früher durchgeführten geophysikalischen Sondierungen auf zumindest teilweise zusammenhängende Eisvorkommen im Untergrund schliessen. Die obere Kriechform bewegt sich mit Oberflächengeschwindigkeiten von ca.  $10\text{ cm/Jahr}$ . Die Interpolation von Fliesslinien lässt ein Alter der Permafrostoberfläche von teilweise mehreren tausend Jahren vermuten.

## **Bohrlochtemperaturen**

In beiden Bohrlochern am Pontresina-Schafberg wurden regelmässig die Temperaturen gemessen. Die mittlere Oberflächentemperatur liegt zwischen  $-1.4^{\circ}\text{C}$  und  $-0.7^{\circ}\text{C}$ . Im 65 m

## Pontresina und der Schutzwall gegen Murgänge



1 Flaz      2 Pontresina-Laret      3 Potresina-Bellavista      4 Schutzwälle      5 Erosionsrinne

tiefen Bohrloch ist gemäss den Temperaturdaten die sommerliche Auftauschicht etwa 4 m mächtig. Die Gesamtmächtigkeit des Permafrostes dürfte an dieser Bohrstelle ungefähr 70 m betragen.

## Schutzkonzept und Umsetzung

Die Analyse der Permafrostvorkommen, ihrer Kriechbewegung, der Murgangproblematik, der Wechselwirkungen von Lawinenverbau und Permafrost sowie der örtlichen Fundationsverhältnisse zeigen, dass ein integrierter Murgang-/Lawinenschutz anzustreben ist. Die Murgangrunse ist im Prinzip mit der heute üblichen Technik verbaubar. Die Untersuchungen deuten darauf hin, dass im Anrissgebiet durch Kriechbewegungen des gefrorenen Untergrundes wenig Probleme zu erwarten sind. Bei der Wahl der Fundationen ist den oberflächennahen Erosionserscheinungen Rechnung zu tragen (eventuell Zusatzanker).

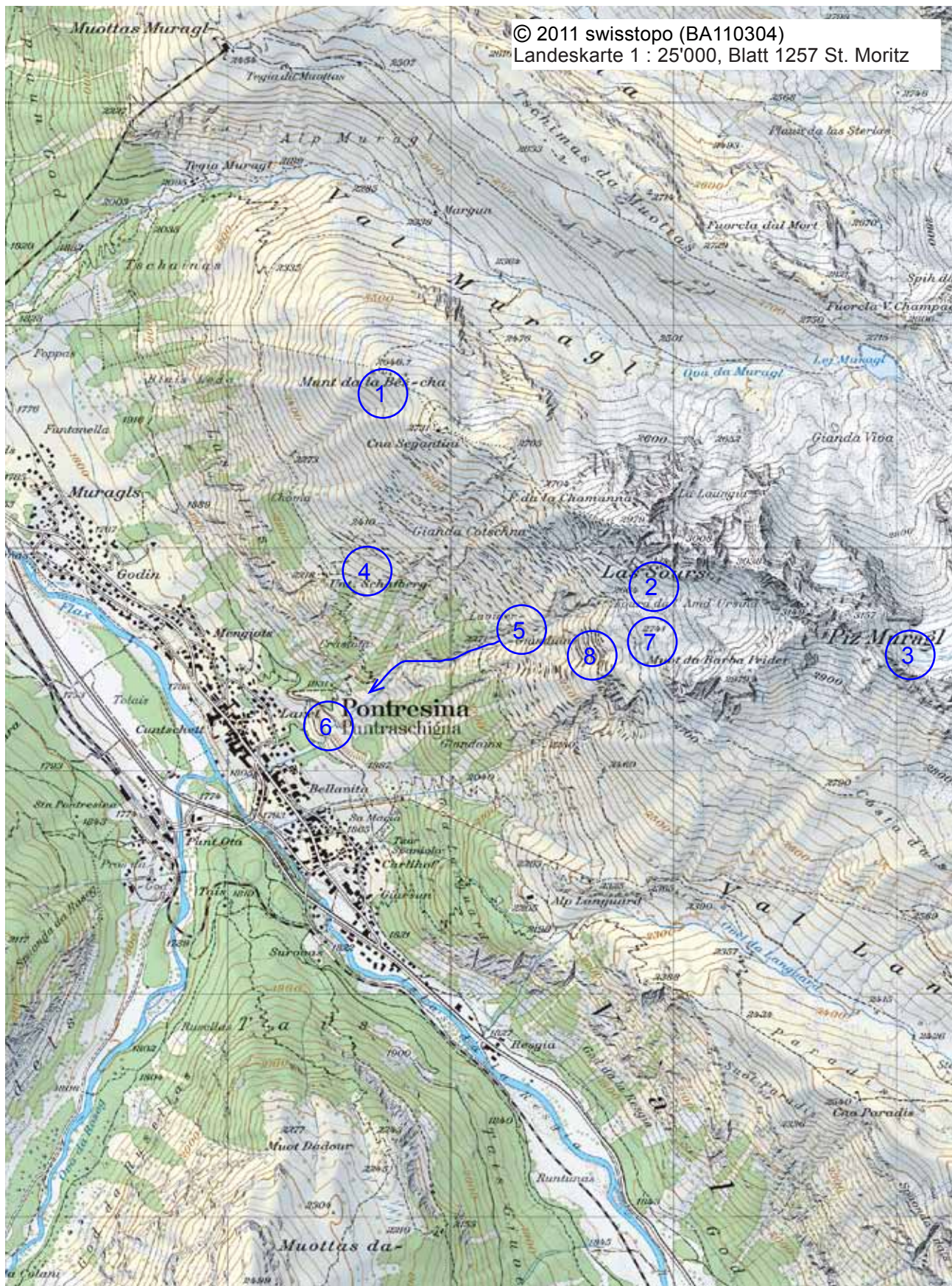
Beim Material in der steilen Runse (Neigung im Bereich des Grenzreibungswinkels des Materials) handelt es sich vorwiegend um eine inhomogene, nicht-plastische, schlecht sortierte Schuttmasse mit einem sehr kleinen Ton- und geringen Siltgehalt. Feinanteile wurden stellenweise durch das über dem Permafrostspiegel oberflächennah abfliessende Schmelz- und Niederschlagswasser ausgespült. In der inhomogenen, locker gelagerten Schutthalde muss mit einer sehr unterschiedlichen Wasserdurchlässigkeit gerechnet werden. Als Wasserstauer können feinkörnigere Schichten, Permafrostreste und im unteren Teil anstehender Fels auftreten. Permafrost ist ab einer Tiefe von ca. 8 m anzunehmen, wobei lokale Eisschuttkörper oder Permafrostreste ab ca. 3 m Tiefe vorkommen können. Neben einer Wasserfassung sind im unteren Bereich der Runse zwei weitere Stellen mit Wasseraustritten zu beobachten. Beim Material an der oberen Kante handelt es sich um groben Blockschutt, bei dem das Feinmaterial ausgewaschen wurde. Daher ist hier eine sehr hohe Wasserdurchlässigkeit zu erwarten. Der Permafrostspiegel wurde bei abgebrochenen Fundationsversuchen auf ca. 2'730 m ü.M. in einer Tiefe von ca. 2.5 m erreicht.

Für eine Murgangauslösung müssen Starkniederschläge oder langandauernde Niederschlagsperioden auftreten. Generell sind in der tiefgründigen, inhomogenen Runse eher grössere Murgänge zu erwarten, die jedoch extremste Niederschlagssituationen voraussetzen. Solche Situationen dürften im Oberengadin sehr selten sein und sind allenfalls in Verbindung mit der Schneeschmelze möglich.

## Literatur

- Bott, G. (1994): Beilage zur Exkursion der Universität Hannover vom Samstag, 23. Juli 1994 "Schafberg" Pontresina. Kreisforstamt 28, 7524 Zuoz, 8 S.
- BUWAL, WSL & SLF (1990): Richtlinien über den Lawinenverbau im Anbruchgebiet. Eidg. Forstdirektion, Vertrieb EDMZ Bern.
- Frehner, M. (1985): Verbauungs- und Aufforstungsprojekt Schafberg. Diplomarbeit an der Abteilung Forstwirtschaft, ETH Zürich, 135 S.
- Haeberli, W., Kääh, A., Hoelzle, M., Bösch, H., Funk, M., Vonder Mühl, D., Keller, F. (1999): Eisschwund und Naturkatastrophen im Hochgebirge. Schlussbericht Nationales Forschungsprogramm "Klimaänderungen und Naturkatastrophen" NFP 31. v/d/f Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, S. 159 - 171.
- ILU alpin (1994): Risikoanalyse Pontresina; Bericht über die durch Murgänge aus dem Val Clüx und Val Giandains gefährdeten Zonen von Pontresina. Im Auftrag des Kreisforstamtes 28, 7524 Zuoz, 16 S.
- Keller, F. (1993): Inventarisierung von Lawinenverbauungen (Zusammenfassung). Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich, 1 S.
- Keller, F. (1994): Interaktionen zwischen Schnee und Permafrost; Eine Grundlagenstudie im Oberengadin. Mitteilung 127 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich, 145 S.
- Keller, F., Hsg. (1998): Glaziologische Karte Julier-Bernina (Oberengadin), 1 :60'000, Synthesekarte aus dem NFP31 mit Erläuterungstext, v/d/f Hochschulverlag ETH-Zürich, ISBN 3-7281-2345-5
- SLF (1984/85): Schnee und Lawinen in den Schweizer Alpen Winter 1984/85. Winterbericht des Eidg. Institutes für Schnee- und Lawinenforschung Weissfluhjoch-Davis. Nr. 49/1986, 172 S.
- SLF (1992): Stellungnahme zum Lawinenverbauungsprojekt Clüxtobel, Pontresina. Weissfluhjoch, 8.10.1992. Technische Beratung Nr. 114, 12 S.
- Stoffel, L. (1995): Bautechnische Grundlagen für das Erstellen von Lawinenverbauungen im alpinen Permafrost. Mitteilungen des Eidgenössischen Institutes für Schnee und Lawinenforschung Davos 52. In Haeberli, W., Kääh, A., Hoelzle, M., Bösch, H., Funk, M., Vonder Mühl, D., Keller, F. (1999): Eisschwund und Naturkatastrophen im Hochgebirge. Schlussbericht Nationales Forschungsprogramm "Klimaänderungen und Naturkatastrophen" NFP 31. v/d/f Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, S. 159 - 171.
- Stucki, T. (1995, unveröff.): Permafrosttemperaturen im Oberengadin. Diplomarbeit an der VAW/ETHZ. In Haeberli, W., Kääh, A., Hoelzle, M., Bösch, H., Funk, M., Vonder Mühl

## Schutzwall Schafberg



1 Munt da la Bês-cha

2 Las Sours

3 Piz Muragl

4 Unterer Schafberg

5 Val Giandains

6 Schutzwall Schafberg

7 Permafrostgebiet

8 Lawinverbauungen