



“Die Möglichkeiten  
haben keine Grenzen”



## Validierung von satellitengestützten und terrestrischen Monitoringsystemen für die Messung von Bodenverformungen

**Deliverable  
D.3.01**

**Liste des aktuellen Wissensstandes  
zu vorhandenen Massenbewegungen**

**Datum: 09.2012**

Das Projekt SloMove wird vom Programm Interreg IV (FESR) kofinanziert  
Europäische territoriale Kooperation Italien-Schweiz 2007-2013

[www.SloMove.eu](http://www.SloMove.eu)



## Danksagung

Dank der Unterstützung von folgenden Körperschaften wurde die Ausführung des Projektes erst ermöglicht:

- Kofinanzierung durch das Interreg-Programm IV europäische territoriale Kooperation Italien – Schweiz 2007 – 2013, Convezion ID 27384220;
- Kofinanzierung durch die Autonome Provinz Bozen;
- Kofinanzierung durch die Europäische Akademie Bozen EURAC
- Kofinanzierung durch das WSL -Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF

### Kontakte:

#### **Lead Partner (Management)**

Amt für Geologie und Baustoffprüfung, Autonome Provinz Bozen, Südtirol

Eggentalerstrasse 48

I-39053 Kardaun (BZ)

#### **Verantwortliche**

Claudia Strada

Tel +39 0471 361564

Fax +39 0471 361512

E-Mail: [claudia.strada@provinz.bz.it](mailto:claudia.strada@provinz.bz.it)

#### **Wissenschaftliche Koordination**

Institut für Angewandte Fernerkundung Europäische Akademie Bozen EURAC

Drususallee 1

I-39100 Bozen (BZ)

#### **Verantwortlicher**

Christian Iasio

Tel +39 0471 055387

Fax +39 0471 055389

E-Mail: [christian.iasio@eurac.edu](mailto:christian.iasio@eurac.edu)

Die Daten und die Informationen, welche in diesem Dokument wiedergegeben werden, zeigen Ideen und Erfahrungen der Autoren. Die Verwaltungsbehörden und Partnerinstitutionen des Projektes sind für die Nutzung der hier wiedergegebenen Informationen nicht Verantwortlich.

## **Das Projekt SloMove**

Die Entstehung des Projektes SloMove beruht auf das Anliegen das heutig technisch zur Verfügung stehende Monitoringpotential für die Messung von Bodenverformungen zu verbinden. Weiters soll es für die Raumreglementierung und -planung eingesetzt werden. Dieses Bedürfnis ist vor allem im grenzüberschreitenden Hochgebirge gefragt, diese Teilen die Sicherung von wichtigen strategischen Verbindungsinfrastrukturen.

### **Allgemeine Ziele**

- Abschätzung von Nutzen und Grenzen von satellitengestützter Radarinterferometrie für das Monitoring von Bodenverformungen im Hochgebirge;
- Optimierung der Monitoringprozeduren indem die durch terrestrischen Methoden erhaltenen Daten zur Validierung der Daten aus satellitengestützter Radarinterferometrie genutzt werden;
- Festigung des Grundwissens der Techniker über die Standardanwendung von SAR- und Geländedaten für das Monitoring von Hangbewegungen.

### **Spezielle Ziele**

- Ausbildung des Personals durch gezielte Fortbildung in die einzelnen Ausarbeitungstechniken von Radardaten und der Implementierung von integrierten Monitoringsystemen, satellitengestützt wie auch terrestrisch;
- Test des integrierten Monitorings auf gut bekannten Untersuchungsgebieten;
- Erstellung eines Protokolls über die Anwendung der Monitoringmethoden (Planung und Prävention). Es sollten die limitierenden Faktoren und Erfordernisse aufgelistet werden, welche in den verschiedenen untersuchten Territorien, vor allem im alpinen Raum auftreten;
- Produktion und Verbreitung der Monitoringmethoden und der Prozeduren für die Anpassung der Verwaltungsverfahren zum Risikomanagement. Dies soll durch das erstellen von Leitfäden und Handbücher für die Techniker der öffentlichen Verwaltung und technischen Büros erfolgen. Dabei soll ein effizienter Informationsfluss garantiert werden zwischen Monitoring- und Planungsphase.

### **Methoden**

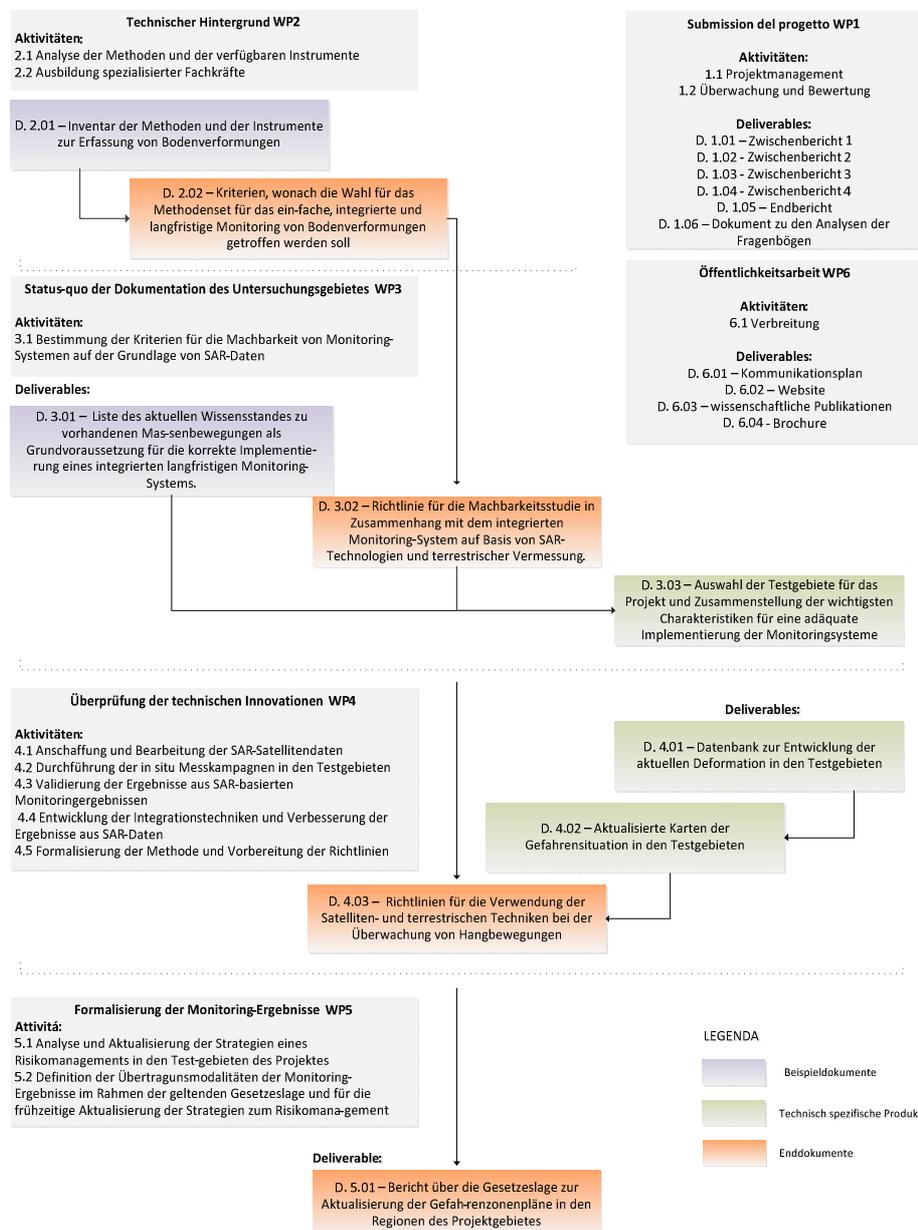
- satellitengestützte SAR Multi-Interferometrie;
- Terrestrial Laser Scanner;
- Differenzieller GPS;
- Auswertung der Daten zwischen Technikern und Administratoren

## Dokumentation

Das Projekt besteht aus vier technisch operativen Arbeitspaketen und zwei weiteren Paketen, welche sich um Management und Öffentlichkeitsarbeit kümmern.

Der Fortschritt dieser Aktivitäten wird in vier Zwischenberichten und einem Endbericht wiedergegeben.

Die Produkte aus Forschung, Entwicklung und methodologischer Innovation werden in folgender Weise wiedergegeben: vier Dokumenten bzw. Leitlinien zur generellen Veranschaulichung, zwei Beispieldokumente mit Datenbanken und aktuellen Kartenmaterial des Testgebietes. Die Verbindung zwischen den einzelnen Dokumenten wird im Diagramm dargelegt:



## Partner & Autoren

### Italien

#### Lead Partner

Amt für Geologie und Baustoffprüfung  
Autonome Provinz Bozen

Volkmar Mair  
Claudia Strada  
David Mosna

#### Partner 1

Institut für Angewandte Fernerkundung  
Europäische Akademie Bozen EURAC

Christian Iasio  
Giulia Chinellato

### Schweiz

#### Partner 3

WSL -Institut für Schnee- und Lawinenforschung  
SLF

Marcia Phillips  
Robert Kenner

#### Partner 4

Abenis A.G. Ingenieure und Planer

Andreas Zischg

## Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	8
2. Charakteristiken der zur Auswahl stehenden Gebiete.....	8
3. Testgebiet 1: Steinschlagspitze .....	12
3.1. Geographische Lage .....	12
3.2. Zugänglichkeit.....	12
3.3. Geologische Übersicht.....	13
3.4. Geo - morphologischer Aufbau .....	15
3.4.1. Blockgletscher .....	18
3.4.2. Rutschung.....	19
3.5. Meteorologische Aspekte .....	21
3.6. SAR-spezifische Details.....	21
4. Testgebiet 2: Blockgletscher „Foura da l' amd Ursina“ .....	22
4.1. Geographische Lage .....	22
4.2. Zugänglichkeit.....	22
4.3. Geologische Übersicht.....	23
4.4. Geo-morphologischer Aufbau .....	23
4.5. Meterologische Aspekte.....	25
4.6. SAR-spezifische Details.....	25
4.7. Wissenschaftliche Arbeit im Testgebiet .....	25
Literaturverzeichnis.....	28

# 1. Einleitung

Für die Auswahl eines geeigneten Testgebietes für ein integriertes langfristiges Monitoring-System mit satellitengestützten und terrestrischen Methoden ist es nötig fundierte Vorkenntnisse über die Zone zu besitzen. Es sollte versucht werden alle Faktoren zu identifizieren, welche potentielle Auswirkungen auf die Konfiguration des Monitoring-Systems oder auf die Anwendbarkeit der gewählten Methoden haben könnten. Ziel ist es dabei, limitierende umweltspezifische Faktoren und Grenzen der technologischen Machbarkeit aufzuzeigen. Aufgrund der gesammelten Informationen bezüglich der Testgebiet Gruppen für die Wahl des italienischen Testgebietes für das Projekt SloMove, wurden alle Faktoren identifiziert, welche das Monitoringsystem und die Anwendbarkeit der gewählten Methode beeinflussen könnten (D.2.02).

Das Ziel des folgenden Dokumentes ist es die wichtigsten Informationen darzulegen, stammend vom aktuellen Wissensstand über die Massenbewegung. So werden die im Dokument D.2.02 beschriebenen Einschätzungen angewandt, des Weiteren wird dies zur korrekten Planung des Monitoringsystems genutzt.

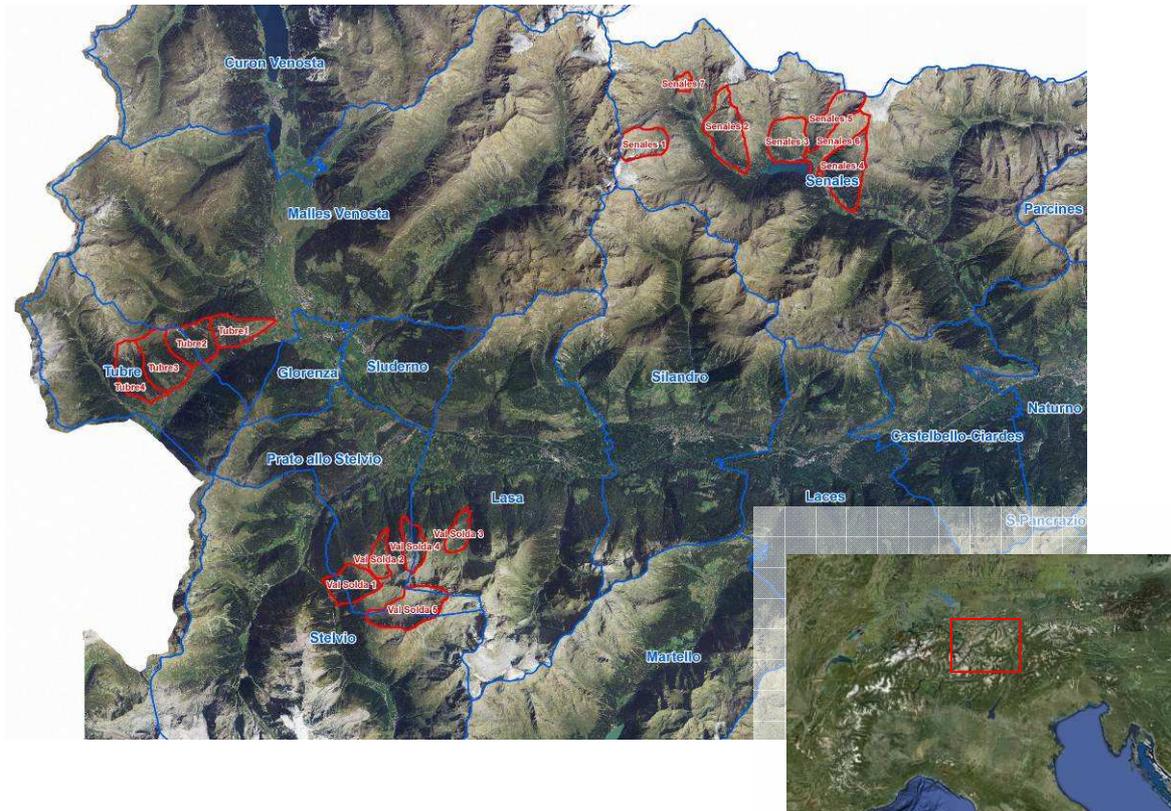
Im ersten Teil des Dokumentes werden die bestehenden Informationen über die für die Selektion infrage stehenden Testgebiete wiedergegeben. In der Tabelle 3.01.1 werden diese zusammengefasst. Darauf folgen die Beschreibungen des Italienischen Testgebietes (nach dem beschriebenen Vorgang selektiert) und des Schweizer Testgebietes.

## 2. Charakteristiken der zur Auswahl stehenden Gebiete

Die zur Auswahl stehenden Gebiete, welche in den folgenden Absätzen beschrieben werden, wurden zu Beginn nach folgenden Kriterien ausgewählt: aktive geologische Prozesse und Relevanz des Gebietes für die Landschaftsplanung in Südtirol. Alle Gebiete sind von weiträumigen Bodenverformungen betroffen. Die dominierenden Phänomene sind die gravitativen Hanginstabilitäten (DGPV) und Permafrosterscheinungen vor allem Blockgletscher. In beiden Fällen handelt es sich um jährlich geringe Bewegungsraten, welchen aber Phänomene mit höherer Intensität auslösen können wie Stürze und Murgänge. Diese Phänomene, welche von langsamen Bodenverformungen ausgehen, können sehr hohe Intensitäten hervorrufen, was für Gebieten mit relevanten urbanistischen Elementen ein hohes Risiko hervorruft.

Die vorgeschlagenen Testgebiete waren schon vor diesem Projekt bekannt, da sie schon z.T. kartiert und Ziel früherer Studien von Seiten des Amtes für Geologie und Baustoffprüfung (Autonome Provinz Bozen)

waren: das Hauptziel war also die Auswahl eines Gebietes mit schon bekannten und bereits aktiven Problematiken. Die Gebiete mussten gleichzeitig Eigenschaften vorweisen, damit darauf ein Monitoringprojekt ausgearbeitet werden kann.



Die 16 Gebiete, welche zur Auswahl standen, befinden sich in 3 verschiedenen hochalpinen Tälern Südtirols: Münstertal, Schnalstal und Suldental.

### Münstertal

Der orographisch rechte Hang des Münstertales, zwischen Taufers und Mals (Vinschgau), wird von gravitativen Deformationen charakterisiert, vor allem der östliche Endbereich des Tales. Zuzüglich zur Hangdeformation treten auch Sturzereignisse und Murgänge auf, welche die Straßen SS 41 und SP 104 sowie die Ortschaft Laatsch gefährden. Die häufigen Augenscheine von Seiten des Amtes für Geologie in dieser Zone beweisen, dass hier eine hohe Instabilität des Hanges vorherrscht. Sicherungsmaßnahmen gegen Felssturzereignisse wurden projektiert und darauf folgend realisiert.

Der Hang weist einen dichten Waldbewuchs auf. Gegen Osten hin wird der Wald lichter, dort ist die Neigung des Hanges höher und Phänomene wie Felssturz und oberflächliche Rutschungen sind häufiger.

## **Suldental**

Die 5 möglichen Testgebiete, welche im Suldental in Frage kommen, werden von fast nur Blockgletschern geprägt. Einzige Ausnahme ist die gravitative Hangbewegung bergseitig des Dorfes Prad am Stilfserjoch.

Aufgrund der Lage des Südtiroler Gebietes nehmen die Blockgletscher immer mehr an Bedeutung an: ihre Verteilung im Landesgebiet und die neuen raumplanerischen Anforderungen erwecken immer größeres Interesse an diese Naturphänomene. Dem Blockgletschern kann man sekundäre Phänomene mit sehr hoher Intensität assoziieren (z.B. Murgänge). Die Erforschung der primären Phänomene würde eine bessere Modellierung der sekundären Phänomene erlauben, so dass die Qualität der Vorhersage- und Präventionsaktivitäten erhöht wird.

Die mittlere Höhe über dem Meeresspiegel der Testgebiete liegt auf 2.800 m NN; die Ausrichtung der Hänge und der Wald bewuchs ist je nach Testgebiet unterschiedlich. Die Zugänglichkeit ist aufgrund des fehlenden Straßennetzes für Kraftfahrzeuge schwierig.

## **Das Schnalstal**

Das Schnalstal zeigt weit verbreitete und großflächige Hanginstabilitäten mit sekundären Phänomenen wie Steinschlag und Murgänge. Diese oft vorkommenden Massenbewegungen können auf die speziellen geologischen und strukturellen Verhältnisse im Tal zurückgeführt werden. Aufgrund der durchschnittlichen Höhe des Gebirges in dieser Zone, ist sehr oft mit aktiven Permafrosterscheinungen zu rechnen. Diese Phänomene können sehr oft in Zusammenhang mit destruktiven Ereignissen, wie Steinschlag und Murgänge, gebracht werden. Die sechs ausgesuchten Zonen werden also von verschiedenen sehr aktiven Naturphänomenen charakterisiert. Die touristischen Ortschaften Vernagt und Kurzras, die LS 3, die einzige Zufahrtsstraße ins Tal und der Stausee von Vernagt wurden als potentiell gefährdete urbanistische Zonen ausgemacht.

In der Zone kommen sehr oft Steinschlag- und Murschuttereignisse vor, welche sehr häufig die einzige Zufahrtsstraße (LS 3) betreffen. Die Zone ist also schon für Probleme mit Hanginstabilität bekannt. Die in der Zone vorkommenden Blockgletscher und verschiedene Permafrostphänomene wurden schon im Zuge mehrerer europäischer Projekte behandelt. Bei der Identifikation von möglichen Testgebieten wurden Territoriumsteilstücke (Tal und Hang) analysiert, welche von gut sichtbaren natürlichen Prozessen betroffen sind.

In der Tabelle 3.01.1 werden die als wichtig angesehenen Eigenschaften zur Beschreibung der als in Frage kommenden Testgebiete zusammengefasst. Diese Liste wird von den bereits vorhandenen Daten und Informationen beeinflusst. Die Tabelle zeigt morphologische Parameter, welche aus den Analysen mittels digitalem Geländemodell (DGM der Autonomen Provinz Bozen) stammen; weiters beinhaltet sie nützliche Informationen, die aus den Archiven des Amtes für Geologie und Baustoffprüfung der Autonomen Provinz Bozen stammen. Diese Informationen werden folgendermaßen aufgeteilt:

**Generelle Eigenschaften:** Informationen bezüglich Hangneigung und Ausrichtung, Höhenlage, Waldbedeckung, physikalische und klimatische Parameter (Temperatur, Tage mit Schneebedeckung, Regentage)

**Vorhandene Daten:** existierende Basiskarten und Technische Karten, Daten von vorangegangenen Messungen und Informationen aus Datenbanken (Massenbewegungen und Schutzbauten), welche von der Autonomen Provinz Bozen genutzt werden. Darüber hinaus werden Hinweise zur Typologie des Phänomens bzw. Phänomene im Testgebiet gegeben.

Site/Features	General feature												Pre-existing data						
	Aspect range	Aspect mode	Average aspect mode	Slope range	Slope mode	Altitude	Average altitude	Average temperature (a)*	Rain (days/y) (a)*	Snow covered (days/y)(a)*	Area m <sup>2</sup>	Wood cover (%)	Base data	Geological-geomorphological base map (100.000-50.000)	Geological-geomorphological detailed map	Type of phenomenon	other informations (thesis, publications, documents)	other surface measurements available/ velocities	
Senales 1	300-140	40-60	50	10-60	30-40	2400-3400	2900,00	5,3	92,5	210	2.565.835	6,2	dtm 2,5*2,5, CTP, Ortophoto	Passo Resia 100.000	Silandro 10.000 Piccinini	-	Permanet / Permaqua project; SAR data from Safer Project	Borholes/GPS measurement / ice sample;	30-40 cm/year
Senales 2	160-300	240-260	250	10-60	30-40	1800-3200	2500,00	5,3	92,5	210	4.471.901	34,0	dtm 2,5*2,5, CTP, Ortophoto	Passo Resia 100.000	Silandro 10.000 Piccinini	piiff 10600000 - Rockfall 2000. Geology: Gneiss-Schist. Triggering cause: intensive rainfall.	-	-	SAR data from Safer Project
Senales 3	80-260	160-180 (100-120)	170	10-60	30-40	1600-2800	2200,00	5,3	92,5	150	3.133.044	25,0	dtm 2,5*2,5, CTP, Ortophoto	Passo Resia 100.000	Silandro 10.000 Piccinini	piiff 17580000 - Rockfall 2004. Geology: Micaschist. Triggering cause: fast and intensive precipitation.	-	-	SAR data from Safer Project
Senales 4	160-320	220-240	230	10-60	30-40	1500-3000	3000,00	5,3	92,5	210	4.563.296	50,1	dtm 2,5*2,5, CTP, Ortophoto	Passo Resia 100.000	Silandro 10.000 Piccinini	piiff 101501 - Complex phenomenon. Geology: detritus. Triggering cause: short and intensive precipitation. Rockfall in 2001 (20 m <sup>2</sup> ); in 2004 protection systems installation; in 2008 fall of 200 m <sup>2</sup> of rock. piiff 6710300 - Debris flow	Area subject to snow avalanche	-	SAR data from Safer Project
Senales 5	140-320	240-260	250	10-60	30-40	2000-3500	2900,00	5,3	92,5	210	3.140.823	6,1	dtm 2,5*2,5, CTP, Ortophoto	Passo Resia 100.000	Silandro 10.000 Piccinini	-	-	-	SAR data from Safer Project
Senales 6	120-280	200-220	210	10-60	30-40	1600-3300	2450,00	5,3	92,5	180	2.856.496	6,0	dtm 2,5*2,5, CTP, Ortophoto	Passo Resia 100.000	Silandro 10.000 Piccinini	piiff 10580100 / 10580200 - Rockfall 2000 e 2003. Geology: Gneiss-Schist. Triggering cause: intensive and extended rainfall.	-	-	SAR data from Safer Project
Senales 7	40-180	90-180	135	10-70	20-40	2300-2800	2550,00	5,3	92,6	180	433.033	0,0	dtm 2,5*2,5, CTP, Ortophoto	Passo Resia 100.000	Silandro 10.000 Piccinini	-	-	-	SAR data from Safer Project
Solda 1	180-340	240-260	250	10-50	30-40	1500-2800	2150,00	2,97	87	150	2.933.559	62,0	dtm 2,5*2,5, CTP, Ortophoto	Bormio-Rabbi 50.000	Passo Stelvio 10.000 (Lombardia)	piiff 6180000 - Debris flow. Triggering cause: intensive and extended rainfall. Piiff 6170000 - Area subject to rockfall.	-	-	SAR data from Safer Project
Solda 2	20-100	40-60	50	10-50	30-40	1700-2600	2150,00	2,97	87	150	1.409.445	20,9	dtm 2,5*2,5, CTP, Ortophoto	Bormio-Rabbi 50.000	Passo Stelvio 10.000 (Lombardia)	-	-	-	SAR data from Safer Project
Solda 3	20-140	60-80	70	20-60	40-50	1400-2300	1850,00	2,97	87	150	1.446.550	61,9	dtm 2,5*2,5, CTP, Ortophoto	Bormio-Rabbi 50.000	Passo Stelvio 10.000 (Lombardia)	piiff 6070100 - Debris flow. Triggering cause: intensive and extended. Geology: detritus, glacial deposit, metamorphic rocks.	-	-	SAR data from Safer Project
Solda 4	260-80	300-320 (40-60)	310	0-50	30-40	1400-2400	1900,00	2,97	87	150	1.894.019	35,9	dtm 2,5*2,5, CTP, Ortophoto	Bormio-Rabbi 50.000	Passo Stelvio 10.000 (Lombardia)	-	-	-	SAR data from Safer Project
Solda 5	0-360	300-340	320	0-80	40-50	2200-3200	2700,00	2,97	87	210	4.366.720	0,8	dtm 2,5*2,5, CTP, Ortophoto	Bormio-Rabbi 50.000	Passo Stelvio 10.000 (Lombardia)	piiff 6160000 - Rock glacier.	-	-	SAR data from Safer Project
Tubre 1	20-200	160-180	170	0-60	30-40	900-2000	2900,00	4,1	87	210	2.749.129	67,2	dtm 2,5*2,5, CTP, Ortophoto	Resia, Cevedale, Bormio 100.000	Future map: Dr. Corrado Morelli (end 2012)	piiff 63801-63802-63803 Rockfall.	-	-	SAR data from Safer Project
Tubre 2	60-220	140-160	150	10-60	30-40	1100-2400	1750,00	4,1	87	150	3.517.642	87,6	dtm 2,5*2,5, CTP, Ortophoto	Resia, Cevedale, Bormio 100.000	Future map: Dr. Corrado Morelli (end 2012)	piiff 4250000 - Rotational and translational landslide.	-	-	SAR data from Safer Project
Tubre 3	60-220	160-180	170	0-50	30-40	1200-2500	1850,00	4,1	87	150	4.038.725	60,2	dtm 2,5*2,5, CTP, Ortophoto	Resia, Cevedale, Bormio 100.000	Future map: Dr. Corrado Morelli (end 2012)	piiff 13030000 - Rotational and translational landslide. piiff 11300000 - Area subject to superficial landslides. Piiff 13060000 - Rotational and translational landslide.	-	-	SAR data from Safer Project
Tubre 4	40-240	140-160	150	0-50	30-40	1200-2500	1850,00	4,1	87	150	3.322.113	70,0	dtm 2,5*2,5, CTP, Ortophoto	Resia, Cevedale, Bormio 100.000	Future map: Dr. Corrado Morelli (end 2012)	piiff 8780000 - Complex phenomenon	-	-	SAR data from Safer Project

Tabelle 3.01.01

Wie in der Einleitung angemerkt, wurde das Testgebiet mit dem Code Schnals 7 ausgesucht, welches als Steinschlagspitze benannt wurde. Das Auswahlverfahren wird im Deliverable D.3.03 beschrieben.

## 3. Testgebiet 1: Steinschlagspitze

### 3.1. Geographische Lage

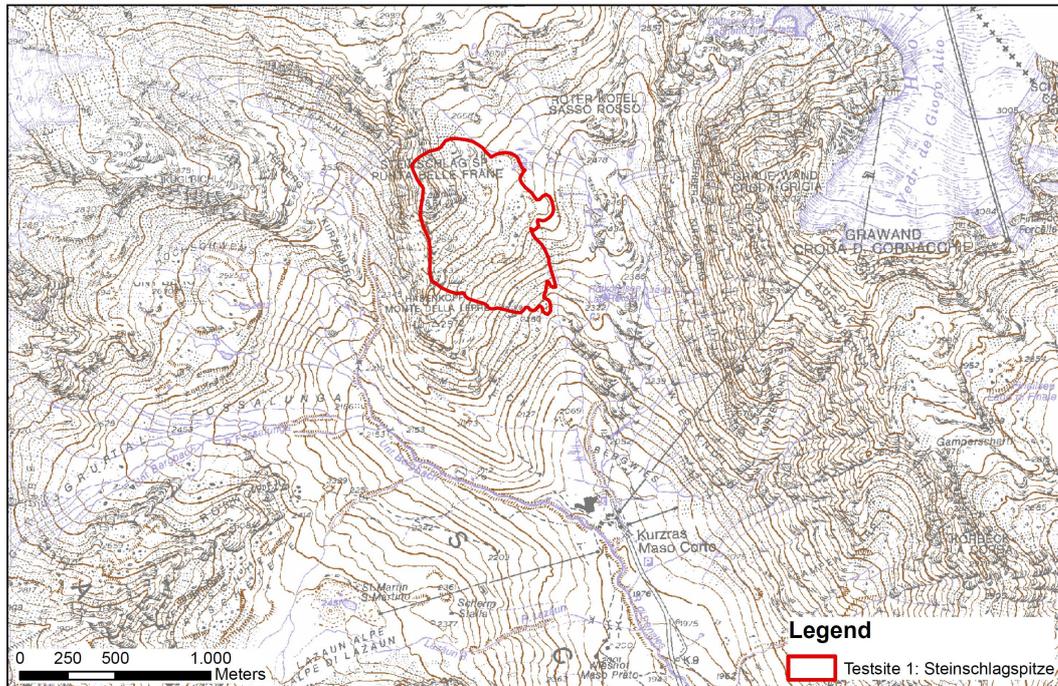


Abbildung 1: Geografische Karte (Tabacco© 1:25.000)

Das italienische Testgebiet liegt im nordwestlich gelegenen Schnalstal der Provinz Bozen, im kleinen „Skiörtchen“ Kurzras in der Fraktion Unser Frau der Gemeinde Schnals. Das ca. 45 ha große Testgebiet weist einen Höhenunterschied von 500 m (ca. 2300 – 2800 m NN) auf. Wichtige Anhaltspunkte zur Grenzziehung sind die für das Testgebiet namensgebende Steinschlagspitze (2861 m NN) und deren Grat im westlichen Teil der Untersuchungsfläche, die südliche Abgrenzung bildet der Hasenkopf (2572 m NN), die östliche Grenze bildet der morphologische Taleinschnitt des Schnalser Baches (ein Ursprungsarm davon).

### 3.2. Zugänglichkeit

Der nördliche Bereich des Gebietes kann über eine gut präparierte Forsttrasse erreicht werden, welche jedoch sehr steil ist und also nur von geländetauglichen Autos befahren werden kann. Besitzer der Forststraße ist die Schnalser Gletscherbahnen AG diesem Unternehmen unterliegt auch die Vergabe der Fahrgenehmigungen. Im Testgebiet selbst ist man jedoch auf seinen eigenen Beinen angewiesen, da das sehr oft steile und von Blockmaterial (Blöcke großen Ausmaßes) und Hangschutt aufgebaute Gelände

keine alternativen Fortbewegungsmittel zulässt. Für weitere Details zur Morphologie verweisen wir auf das entsprechende Kapitel.

### 3.3. Geologische Übersicht

Der Ötztal-Stubai-Komplex bildet die geologisch-tektonische Einheit worin das Testgebiet zu finden ist. Diese Kristallineinheit der Ötztaler und Stubai Alpen kann man als größte Massenerhebung der Ostalpen bezeichnen. Lithologisch besteht das ÖSK vorwiegend aus metamorphen sandigen bis tonigen Sedimenten, welche zu Paragneise, Glimmerschiefer und Quarzite umgewandelt wurden. Lokal treten auch saure bis intermediäre Orthogneise auf sowie Amphibolite, Eklogite und unterschiedlich mächtige Marmorzüge. Tektonisch wird der südliche Teil vom nördlichen abgegrenzt. Der nördliche Teil weist vorwiegend E-W streichende flache Faltenachsen auf, hingegen dominieren im Süden steilstehende Achse, welche km-dimensionen erreichen. Man spricht hier von der sogenannten „Schlingentektonik“. Das ÖSK machte im Wesentlichen zwei Gefügeprägungen durch (dies wird jedoch noch heute kontrovers gedeutet), die variszische Metamorphose (ca. 360 Mio. Jahren und die alpidische Metamorphose (ca. 100 Mio. Jahre) (MAIR & STINGL, 2005).

Im Detail kann das Testgebiet grundsätzlich in zwei lithologischen Einheiten gegliedert werden: Paragneise und Glimmerschiefer. Der Paragneis weist meist folgende Mineralparagenese auf: Feldspat, Biotit, Staurolith und Kyanith, seltener wird der Paragneis von Perlgneis-Streifen (kleine Feldspat-Augen im Paragneis, zonentypische Struktur) durchzogen. Die Mazzia-Serie worin vorwiegend der Glimmerschiefer mit den Mineralen Granat und Staurolith vorkommt, kann auch von biotitreichen Paragneisen, Gneis mit Feldspat und Biotit und Quarzite vertreten werden.

Überlagert wird das Festgestein von quartären Sedimenten des Weissbrunnalm-Subsynthems (Garda-Synthem), dazu gehören alle Ablagerungen glazialen Ursprungs wie diese die den Blockgletscher bilden. Diese Sedimente sind auf die letzte Vorstoßphasen der Gletscher zurückzuführen. Den Rest der Ablagerungen wie z.B. Rutschungen, Hangschutt- und Murschutt- Ablagerungen usw. werden zum Alpinen postglazial Synthem gerechnet. Dieses Synthem umfasst sämtliche Ablagerungen nach der Hauptvergletscherung (LGM) und der späteren Rückzugsphasen gegen Ende des Oberpleistozäns (AA. VV. 2007, Blatt Meran; PICCIN, CARG Blatt Schlanders, unveröffentlichte Daten).

Das Ausgangsmaterial für den Blockgletscher und der Rutschung im Süden des Gebietes bildet das Felssturzmaterial, welches von der Steinschlagspitze aus gravitativ abstürzt. Wie der Name des Gebietes schon verrät (Steinschlagspitze) sind Felsstürze hier sehr häufig.

Folgend wird eine geologische Karte der Zone abgebildet und es werden zwei illustrierende Querprofile dazu dargestellt:

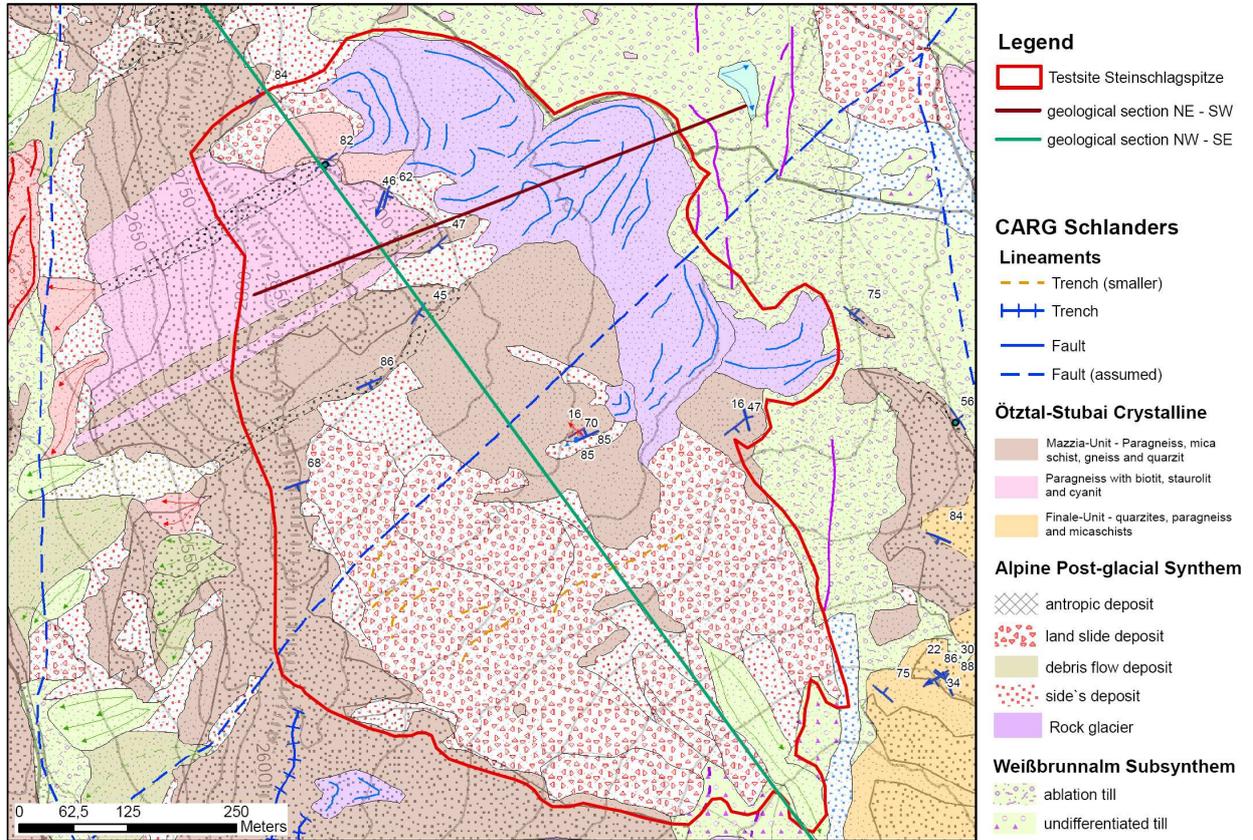
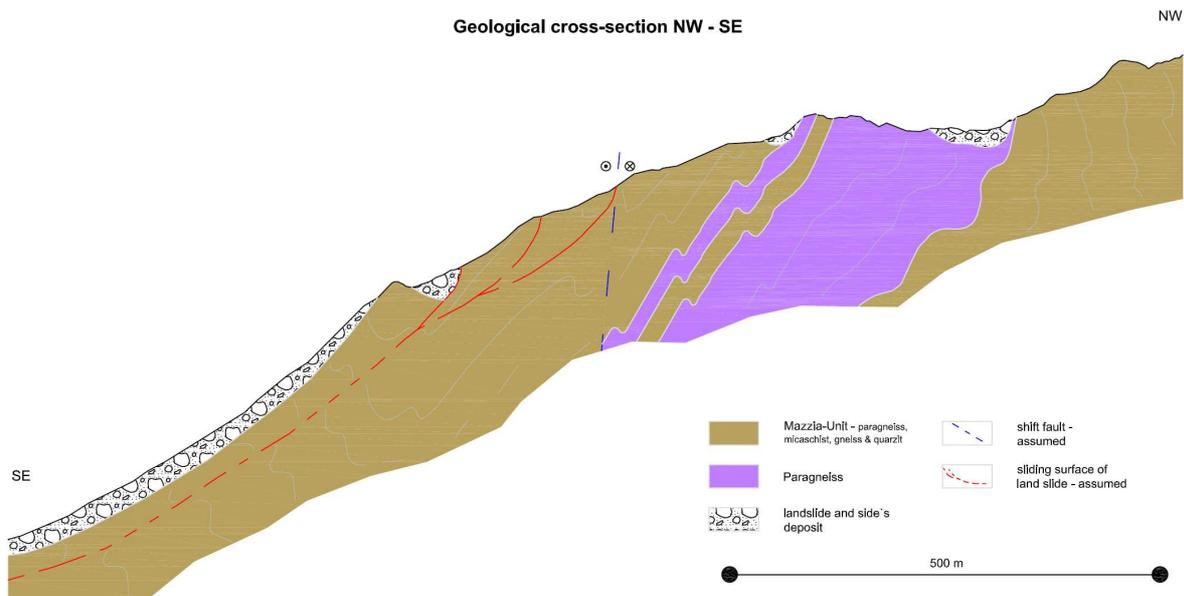
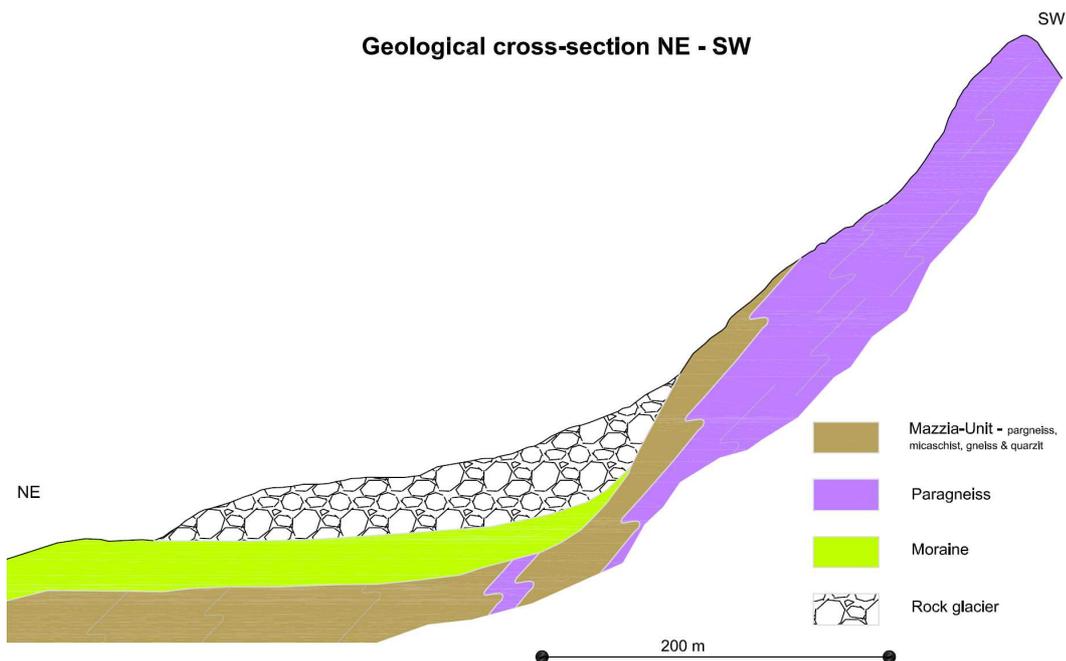


Abbildung 2: Detailausschnitt aus der geologischen Karte von Italien (Projekt CARG, Blatt 012 Schlanders, Unveröffentlicht Daten von dott. Gianluca Piccin)





*Abbildung 3 & 4: Geologische Querprofile durch die Projektzone*

### 3.4. Geo - morphologischer Aufbau

Das hochalpine Gelände (2300 – 2800 m NN) wurde durch das Zusammenspielen von tektonischer Aktivität, quartären Vergletscherungsphasen und verschiedensten erosiven Naturereignissen geformt und geschliffen. Man kann im Testgebiet grundsätzlich drei Zonen unterscheiden: den Blockgletscher im nordosten, das Nährgebiet (Festgestein der Steinschlagspitze) welches sich im Westen des Gebiets von Süd nach Nord durchzieht und die Rutschung im Südosten.

Die Morphologie des Blockgletschers ist von großen Paragneiss und Glimmerschiefer-Blöcken charakterisiert. Die Blöcke erreichen Größen von bis zu 10 m<sup>3</sup>, sie stammen von darüber aufgeschlossenem Festgestein der Steinschlagspitze (Nährgebiet). Heute zeigt der aktive Blockgletscher durchschnittliche Hangneigungen von 10 – 20°. Nur die Blockgletscherstirn zeigt größere Hangneigungen, die die 45° oft überschreiten (typisches morphologisches Merkmal eines aktiven Blockgletschers). Das Nährgebiet fällt mit durchschnittlich 40 – 70° ein. Betrachtet man nun den Bereich im SE, so kann man einen deutlichen Neigungsunterschied zum Blockgletscher erkennen. In diesem Bereich stellt man eine durchschnittliche Hangneigung von 30 – 50° fest. Auch das Material der Rutschung weicht von jenem des Blockgletschers ab, hier ist neben großen Blöcken auch viel feineres Material vorhanden.

### Slope

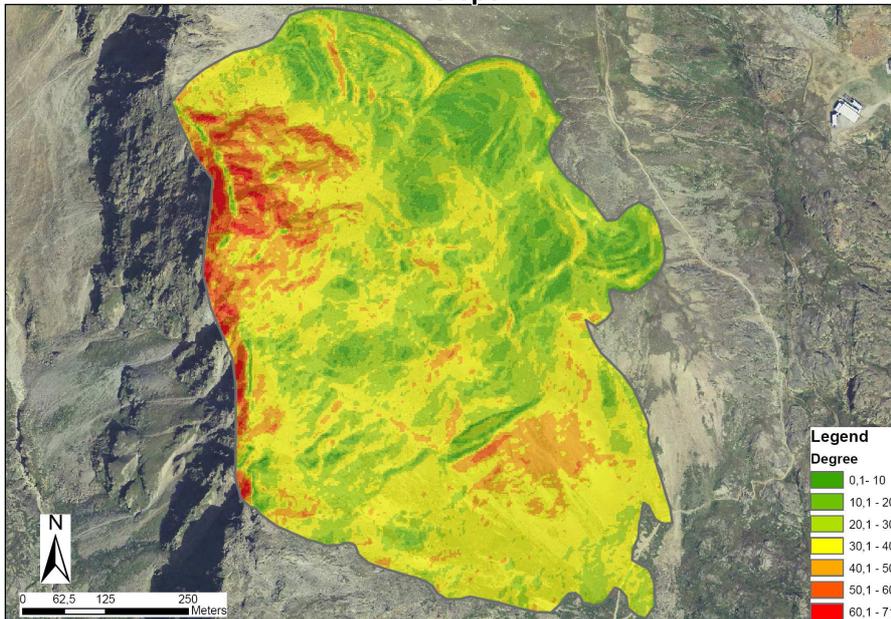
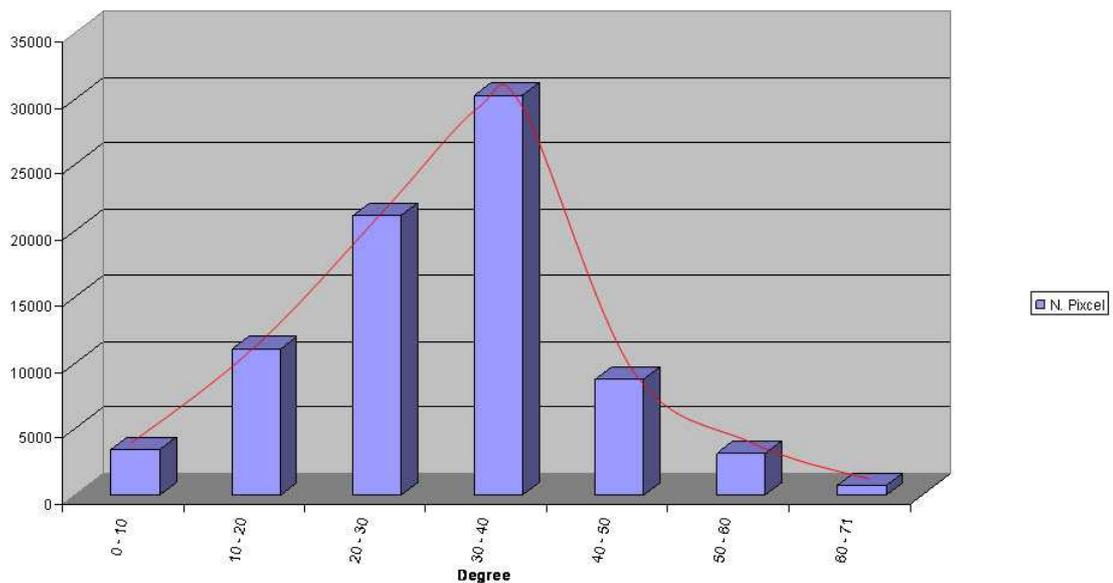


Abbildung 5 & 6: Durch ein Geländemodell (DTM 2,5 x 2,5m) rekonstruierte Neigungskarte und deren statistische Verteilung im Untersuchungsgebiet Steinschlagspitze

### Slope



Die Orientierung des Testgebietes ist zweigeteilt der Nördliche Teil, wo der Blockgletscher vorkommt fällt vorwiegend Richtung Nordosten bis Osten ein, hingegen der südliche Teil ist grundsätzlich Richtung Südosten orientiert.

**Aspect**

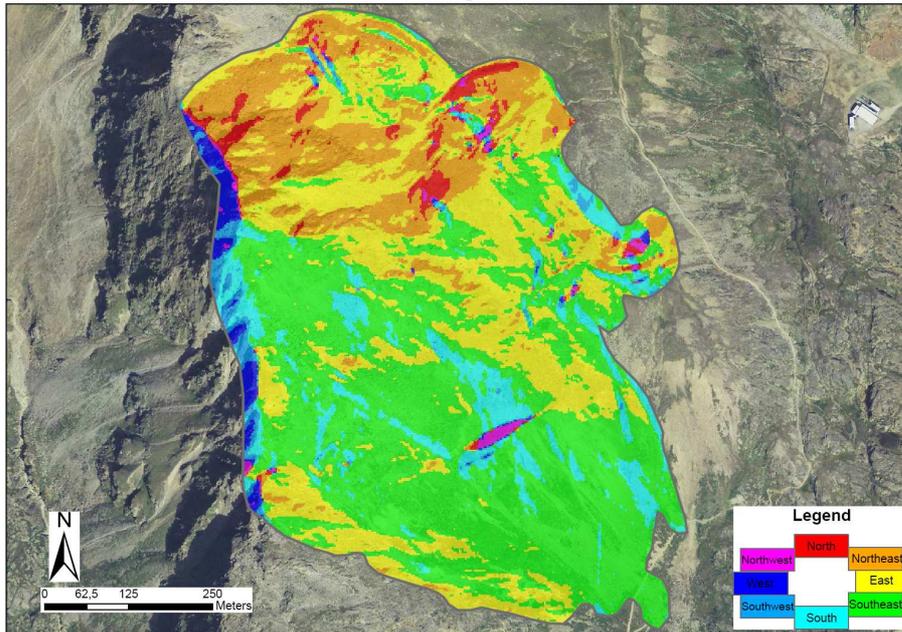
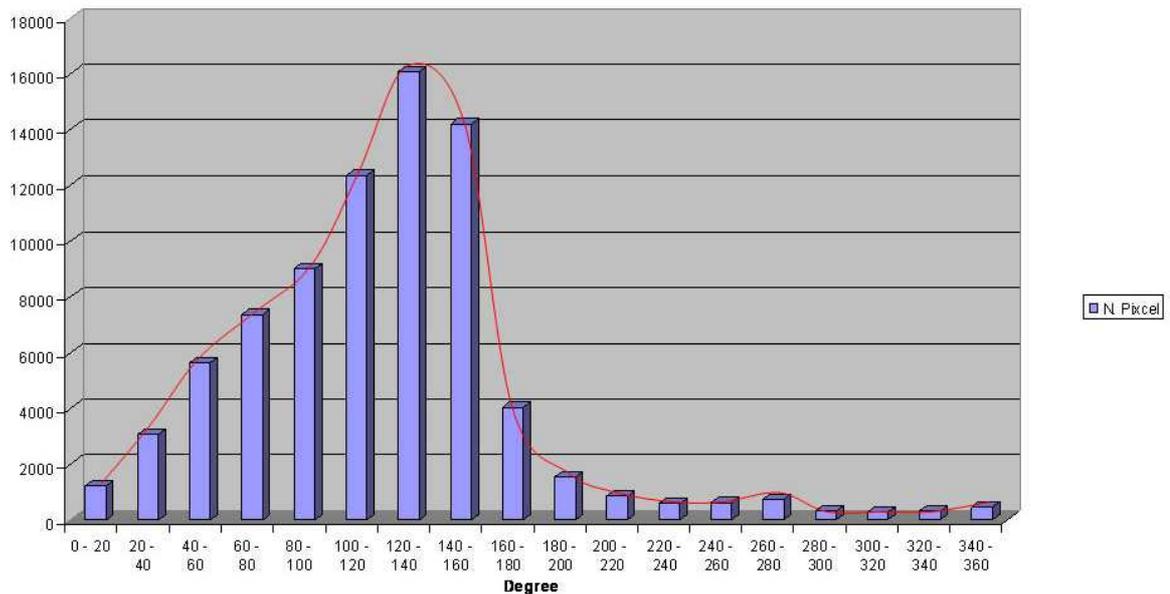


Abbildung 7 & 8: Durch ein Geländemodell (DTM 2,5 x 2,5m) rekonstruierte Aspect-Karte und deren statistische Verteilung im Untersuchungsgebiet Steinschlagspitze

**Aspect**



Das Gebiet weist keine bis nur sporadischen vegetativen Bewuchs auf, wenn man den südlichen Teil des Tales nicht beachtet. Sporadisch, da die Blöcke meist von Flechten bewachsen werden, in Zonen mit hoher Bewegungsrate des Blockgletschers und der Rutschung bzw. in nähergebietsnahen Zonen ist der Flechtenbewuchs nur teilweise bis nicht vorhanden.

Nachfolgend werden die auf ihre Bewegung im Testgebiet untersuchten Massenbewegungsarten erläutert (allgemeine Beschreibung):

### 3.4.1. Blockgletscher

Blockgletscher sind Landformen, welche zu den häufigen morphologischen Erscheinungen des Hochgebirges zählen, weite Verbreitung finden sie in den Alpen ab einer Höhe von 2200 – 2500 m NN. Aktive Blockgletscher sind laut KRAINER & MOSTLER (2000) lappen- bis zungenförmige Körper aus gefrorenem Lockermaterial (Verwitterungsschutt, Moränenmaterial) und Eislinsen bzw. Eiskörper, die sich langsam hangabwärts bewegen. Die Bewegung ist, ähnlich wie bei Eisgletschern, vor allem auf Kriechprozesse als Folge der internen Deformation des Eises zurückzuführen, vermutlich spielt auch basales Gleiten eine Rolle. Die Bewegungsrate ist sehr gering, man spricht von cm/a bis zu dm/a. Manche Blockgletscher weisen auch höhere Bewegungsraten auf (Schöneich et al. 2011). Man unterscheidet zwei Entstehungsarten: „ice-cored rock glacier“, diese Art entwickelt sich durch das Zurückziehen eines Kargletschers; ice-cemented rock glacier, dieser Typ ist eine reine Permafrostentwicklung (POTTER, 1972).

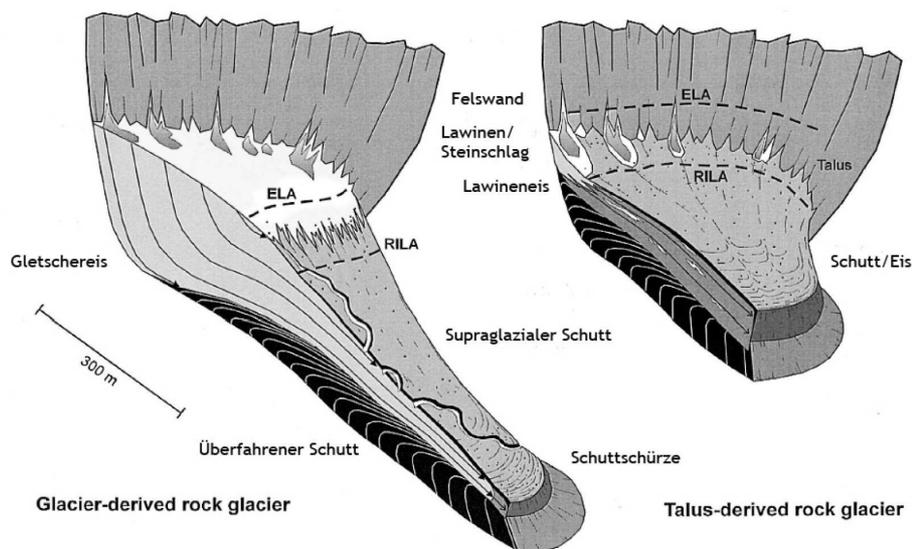
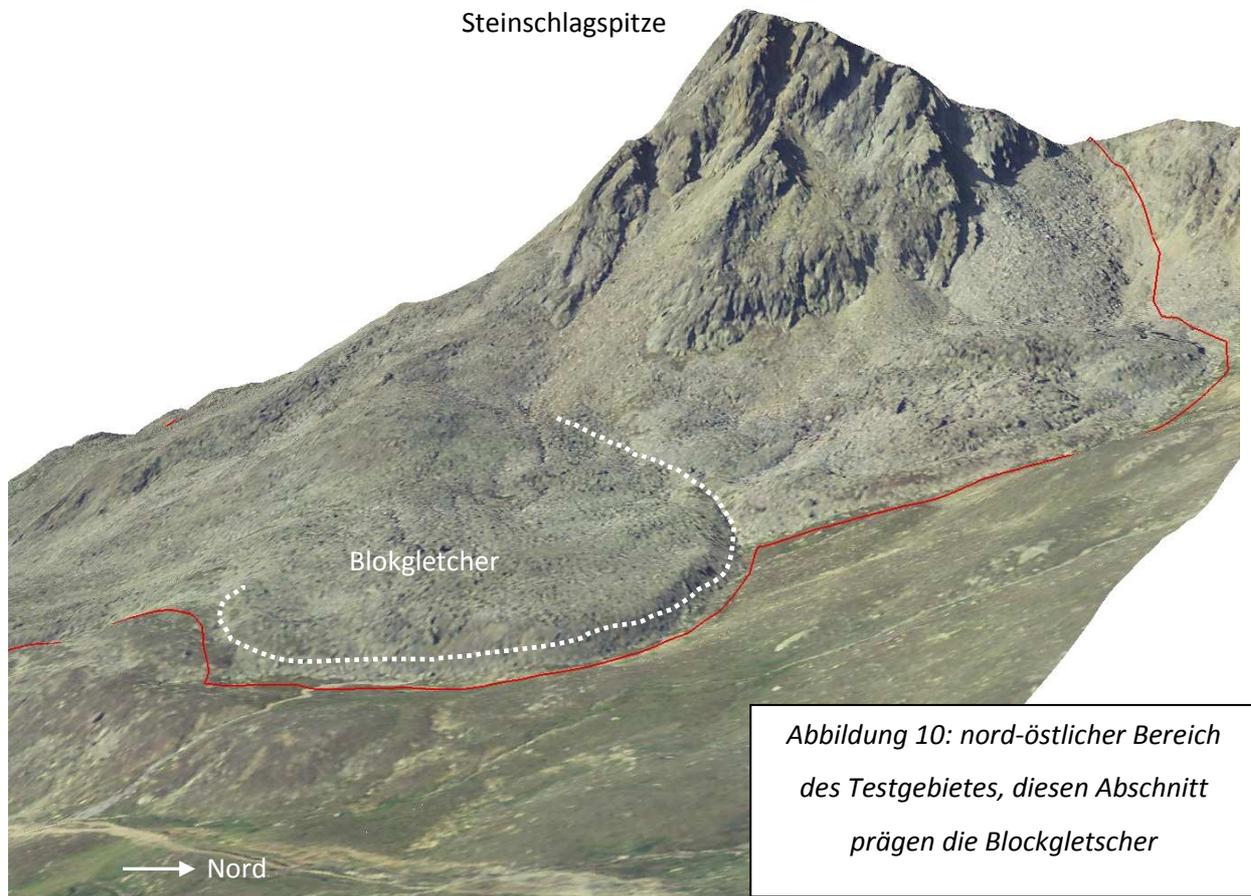


Abb. 9: Vergleich der beiden Blockgletscher Evolutionsarten(nach HUMLUM, 2000)

Typische morphologische Eigenschaften eines Blockgletschers sind (LANG, 2006): steile Stirn (30 - > 40°) und Seitenflanken, blockige Oberfläche mit einem durch Loben, Rücken, Vertiefungen und Depressionen ausgeprägtem Relief. An der Oberfläche des Blockgletschers kommt eine Schuttlage vor, die in den Sommermonaten auftaut und in den Wintermonaten gefriert (*activ layer*). Der Kern dieser Permafrosterscheinung ist kontinuierlich gefroren und besteht meist aus reinem, geschichtetem und grobkernigem „Gletschereis“. Im Blockgletscherinneren tritt meist feineres Material auf als an deren Oberfläche (Siebeffekt, Abrasion). Der Eisanteil kann in der Vertikalen wie auch in der Horizontalen sehr

stark variieren. Unter dem *activ layer* kann Eis im Porenraum, massives Eis, Eislinsen und/oder sandig siltiges Material auftreten (Krainer et al. 2012).



*Abbildung 10: nord-östlicher Bereich des Testgebietes, diesen Abschnitt prägen die Blockgletscher*

### 3.4.2. Rutschung

Rutschungen sind hangabwärts gerichtete gravitativ-gleitende Bewegungen von Fest- und/oder Lockergestein, wobei das mobilisierte Material seltenste den Kontakt zum Untergrund verliert. Das Locker- bzw. Festgestein gleitet über eine so genannte Gleitfläche, welche zur Klassifizierung der Rutschung beiträgt. Man unterscheidet nämlich translative Rutschungen (vorgezeichnete Bruch- und Gleitflächen), rotationale Rutschungen (fehlen von eindeutigen Bruch- und Gleitflächen) und Kombinationen der beiden Arten. Rutschungen können Bewegungsraten von einigen Zentimetern pro Jahr und mehreren Metern pro Minute aufweisen. Der Tiefgang variiert von einigen Dezimetern bis 100 Meter. Im Allgemeinen sind Rutschungen das Ergebnis von Scherbrüchen (Schwächezon), im Falle von Festgestein bilden dies Schichtflächen oder Klüfte und Störungen (LFU, 2010).

- 1 crown with cracks
- 2 main scarp
- 3 related slide blocks
- 4 minor scarp
- 5 main body
- 6 transverse tension cracks
- 7 toe area

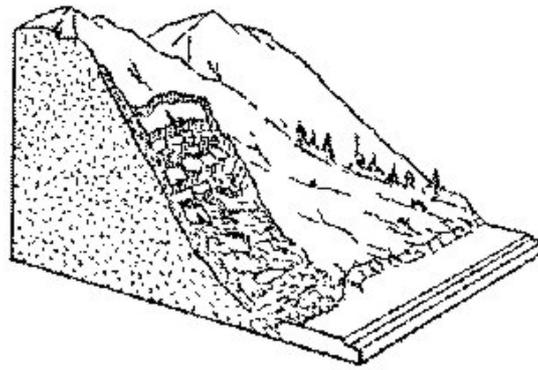
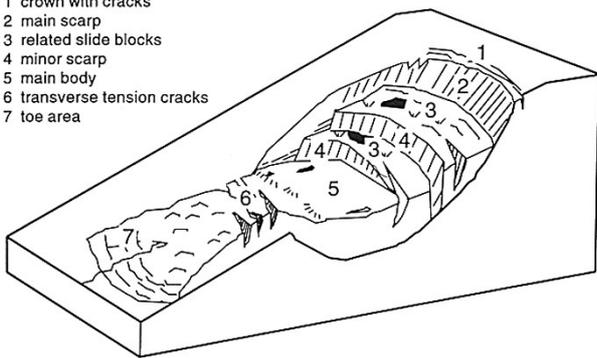


Abb.11 & 12: links Rotationsrutschung (BUNZA, 1976); rechts Translationsrutschung

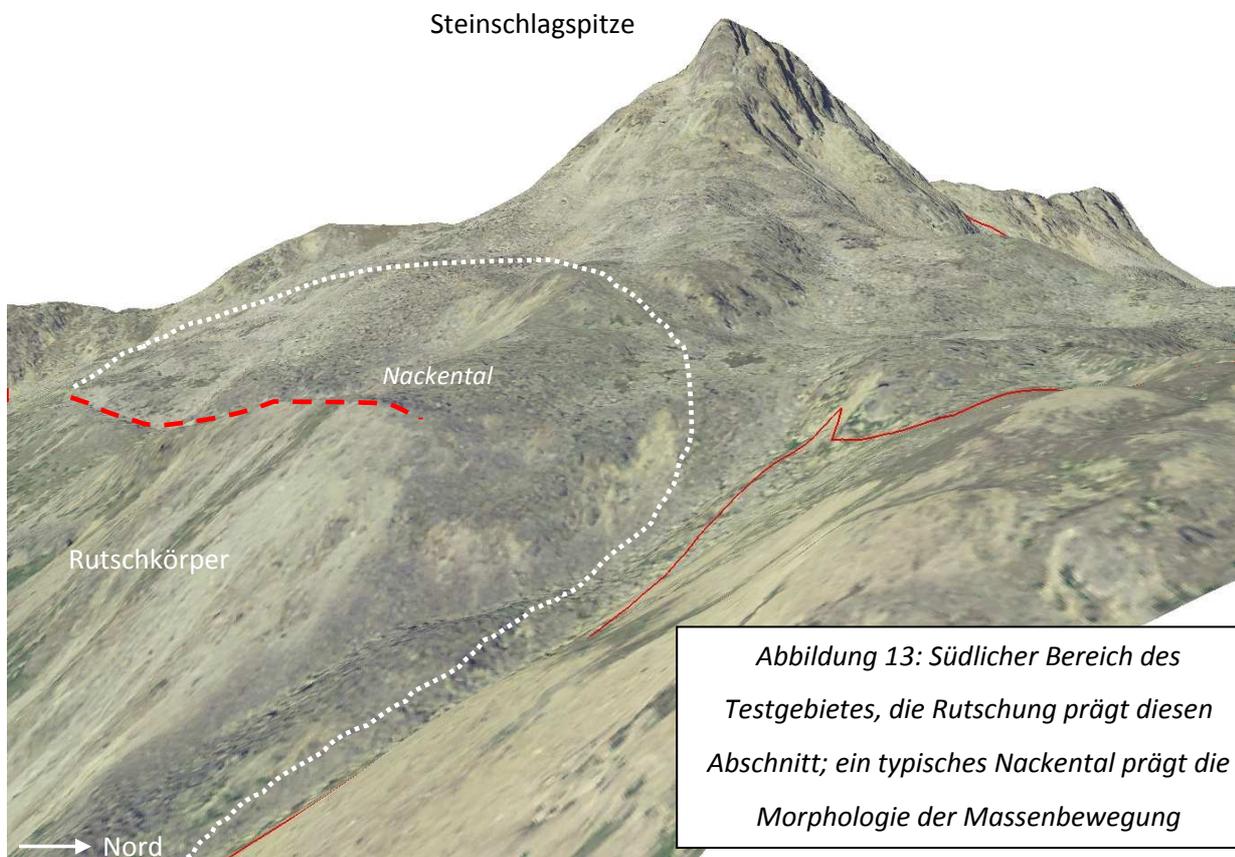


Abbildung 13: Südlicher Bereich des Testgebietes, die Rutschung prägt diesen Abschnitt; ein typisches Nackental prägt die Morphologie der Massenbewegung

Die Rutschung an der Steinschlagspitze ist nicht genauer untersucht, man kann bis jetzt nur Vermutungen anstellen, dass eine der auslösenden Ursachen eine vermutete Störung oberhalb der Rutschung ist. Des Weiteren bildet die Konstellation, hohe Neigungsrate des Hanges, stark tektonisch beanspruchter und geklüfteter Fels im Untergrund, das Anfallen von Steinschlagmaterial am Top, ideale Voraussetzungen für die Aktivierung einer langsam gegen Tal gleitenden Rutschung. Ob es sich nun um eine Translations- oder um eine Rotationsrutschung handelt kann man nicht sagen, vielmehr muss man hier von einer Kombination der Beiden sprechen (Komplex Rutschung).

### 3.5. Meteorologische Aspekte

Da es sich um ein Gebiet im alpinen Hochgebirge handelt (2300 – 2800 m NN) muss man den meteorologischen Bedingungen einen hohen Stellenwert beimessen. Vor allem die Schneebedeckung kann die Feldarbeit und die Aufnahmen durch satellitengestützten und terrestrischen Fernerkundungsmethoden in den Herbst- bis Frühjahrsmonaten beeinträchtigen. Das Gebiet weist eine Schneebedeckung von durchschnittlich 180 Tagen pro Jahr auf und eine Jahresdurchschnittstemperatur von 5,3°C. Die Niederschlagstage pro Jahr betragen 92,6.

### 3.6. SAR-spezifische Details

Die Anwendbarkeit der multitemporalen Interferometrie-Technologie hängt von folgenden Parametern ab: Hangneigung und Hangorientierung, Anwesenheit von natürlichen Reflektoren und von der Aktivität der beobachtbaren Deformationserscheinungen. Die Eignung der beiden ersten Parameter hängt von der Geometrie der verwendeten Satelliten ab, also vom Orbit und Sichtwinkel LOS des Satelliten und vom Winkel mit welchem das Radarsignal am Boden auftrifft. Durch diese Informationen und den morphologischen Bedingungen der Untersuchungszone war es möglich die Tauglichkeit des Testgebietes für die Anwendung dieser Fernerkundungsmethode zu bestätigen. Hilfreich für die Überprüfung der Tauglichkeit war auch die Erstellung eines Rasters, wo die Sichtbarkeit der Testzone durch den Satelliten überprüft wurde. Die Anwesenheit von natürlichen Reflektoren erhöht die Brauchbarkeit der Methode im Gebiet, hingegen natürliche Hindernisse wie z.B. Wald und Schnee behindern und verfälschen die Sichtbarkeit des Gebietes durch den Satelliten. Die Eignung des Gebietes konnte in dieser Hinsicht dank den vorhandenen Satellitendaten, ERS, Radarsat und Envisat, auf den guten natürlichen Reflektorbedingungen überprüft werden. Ein weiterer Parameter ist die von der Methode Messbare Deformationsgeschwindigkeit des Phänomens. Die in der Zone vorhandenen Phänomene weisen Geschwindigkeiten auf, welche den Geschwindigkeitsrange der Methoden nicht überschreitet. Die Phänomene sind zeigen Kriechgeschwindigkeiten, die im Bereich von cm/Jahr zu liegen kommen. Hinsichtlich eines integrierten Monitorings mit der Anwendung von anderen Technologien wie *Terrestrial Laser Scanning* und das *DGPS* in *rapid-static* Modalität, so haben sich die Bedingungen im Testgebiet als geeignet erwiesen. Dabei wurde auch für diese Methoden die Anwendbarkeit im Hochgebirge und im speziellen für das Testgebiet überprüft. Auch für die letztlich erwähnten Methoden erwies sich das Testgebiet „Steinschlagspitze“ als beste Option (siehe D.3.03).

## 4. Testgebiet 2: Blockgletscher „Foura da l' amd Ursina“

### 4.1. Geographische Lage

Der Blockgletscher „Foura da l' amd Ursina“ ist ein Komplex, bestehend aus drei unabhängigen Blockgletschern. Das Testgebiet liegt oberhalb Pontresina im Oberen Engadin (49.49802°/9.93004° WGS84) (Abb. 14). Die Zone wird von den Berggipfeln Las Sours im Norden, Piz Muragl im Osten und Muot da Barba Peider im Süden umzingelt. Das Untersuchungsgebiet liegt auf einer Meereshöhe von 2700 bis 3150m.

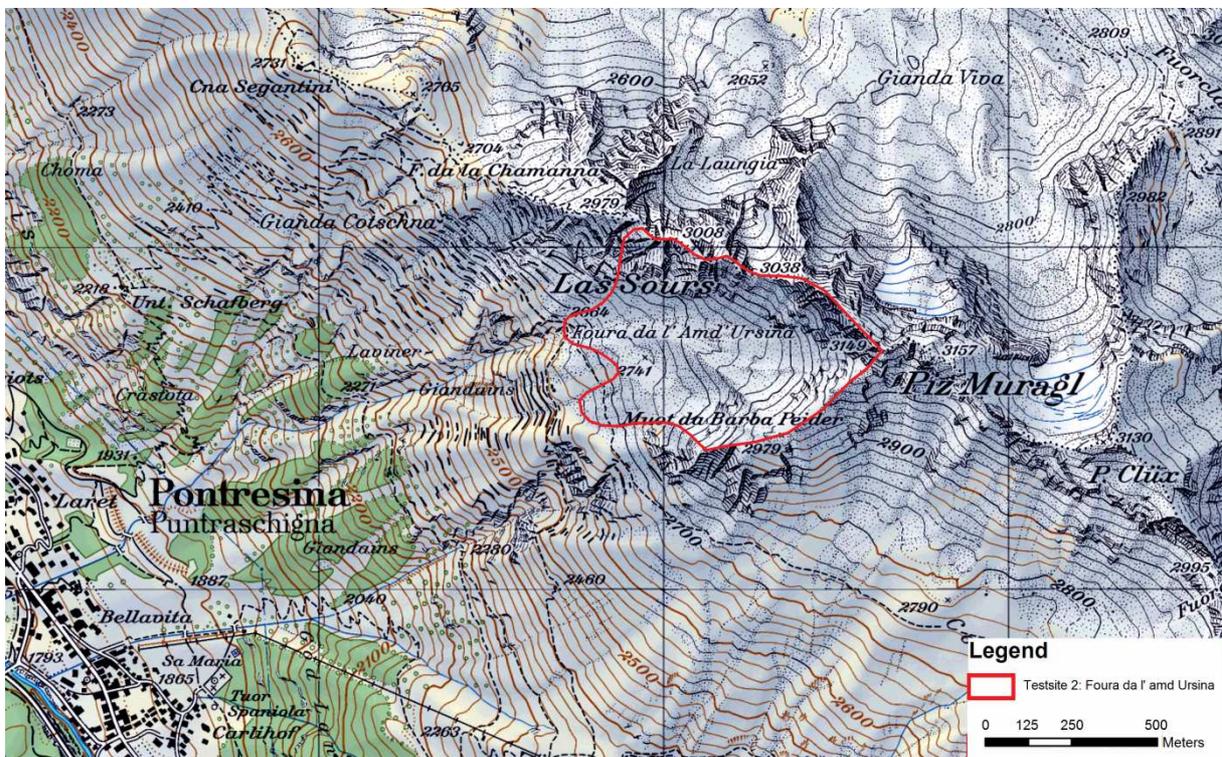


Abbildung 14: Lokalisierung des Testgebietes Foura da l' amd Ursina (map © swisstopo (DV03349.2))

### 4.2. Zugänglichkeit

Die Zone ist in 40 min erreichbar, wenn man zu Fuß von der Bergstation Alp Languard Sesselliftes Richtung Blockgletscher wandert. Eine etwas kostspieligere Anreisemöglichkeit ermöglicht ein Helikopterflug, in den Wintermonaten ist diese Möglichkeit nicht zu umgehen, dabei ist auch die Lawinengefahr zu berücksichtigen.

### 4.3. Geologische Übersicht

Das Testgebiet liegt am NE Rand der Languard-Campo-Decke, dies ist eine tektonische Einheit, welche dem Oberostalpin zugerechnet wird (SCHMID et al. 2004). Die Languard-Campo-Decke wird von Gesteinen kontinentalen Ursprungs aufgebaut. Diese Gesteine wurden pre-Alpin metamorph überprägt (hohe Temperatur, tiefe Drucke). In manchen Bereichen treten permische Intrusivkörper auf, welche einen heterogenen Aufbau aufweisen (ZUCALI et al. 2006).

Am Schafberg (Munt da la Bês-cha, Testgebiet) direkt oberhalb der Ortschaft Pontreseina, treten stark zerklüfteten, gebänderten Biotitgneisen auf. Diese metamorphen Gesteinsformationen bauen die steilen Wände auf, welche den Kessel formen, wo sich der Blockgletscher „Foura da l' amd Ursina“ gebildet hat.

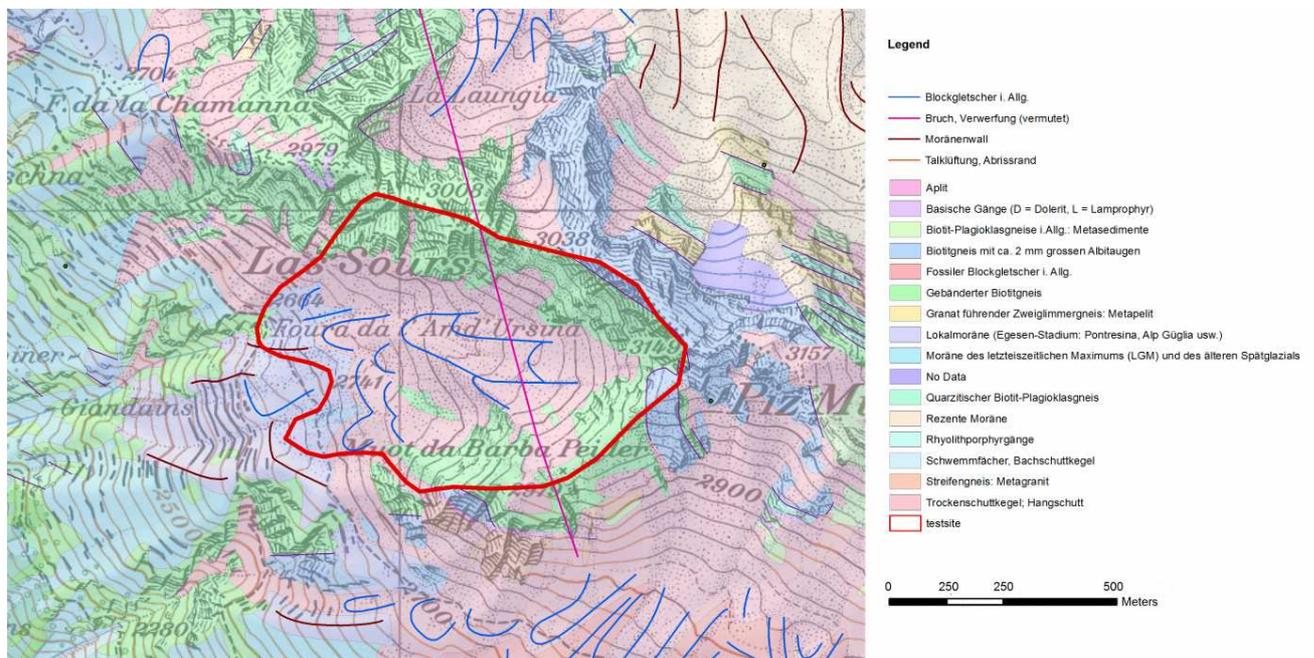


Abbildung 15: Detailausschnitt aus der geologischen Karte der Schweiz (map © swisstopo (DV03349.2))

### 4.4. Geo-morphologischer Aufbau

Das Messgebiet umfasst drei unabhängige Blockgletscher, welche in Abbildung 16 abgegrenzt sind. Die grösste und dynamischste der drei Strukturen (Grün in Abb. 16) wird von der westseitig orientierten Wand des Piz Muragl genährt. Der Blockgletscher überlagert ältere Moränenstrukturen wahrscheinlich unterschiedlichen Alters. Während der kleinen Eiszeit scheint ein kleiner Gletscher im hinteren Teil des Bergkessels existiert zu haben (Siegfriedkarte - erste Landeskartierung der Schweiz). Dieser hat den Blockgletscher möglicherweise in seinem hinteren Teil überfahren. Tief eingeschnittene Abflussrinnen in SloMove

der Blockgletscheroberfläche könnten die Folge dieser kurzfristigen Vergletscherung sein. Der Blau eingefärbte Blockgletscher hat seinen Ursprung unter den Nordhängen des Muot da Barba Peider Grates. In seinem Verlauf spaltet er sich in zwei Zungen auf, von denen die orographisch linke die deutlich aktivere zu sein scheint. Der dritte Blockgletscher (rot in Abbildung 16) kriecht von den süd-exponierten Felswänden der Las Sours Gipfel hinab. Er hat eine steile Front oberhalb des Val Giandains Tobels ausgebildet.

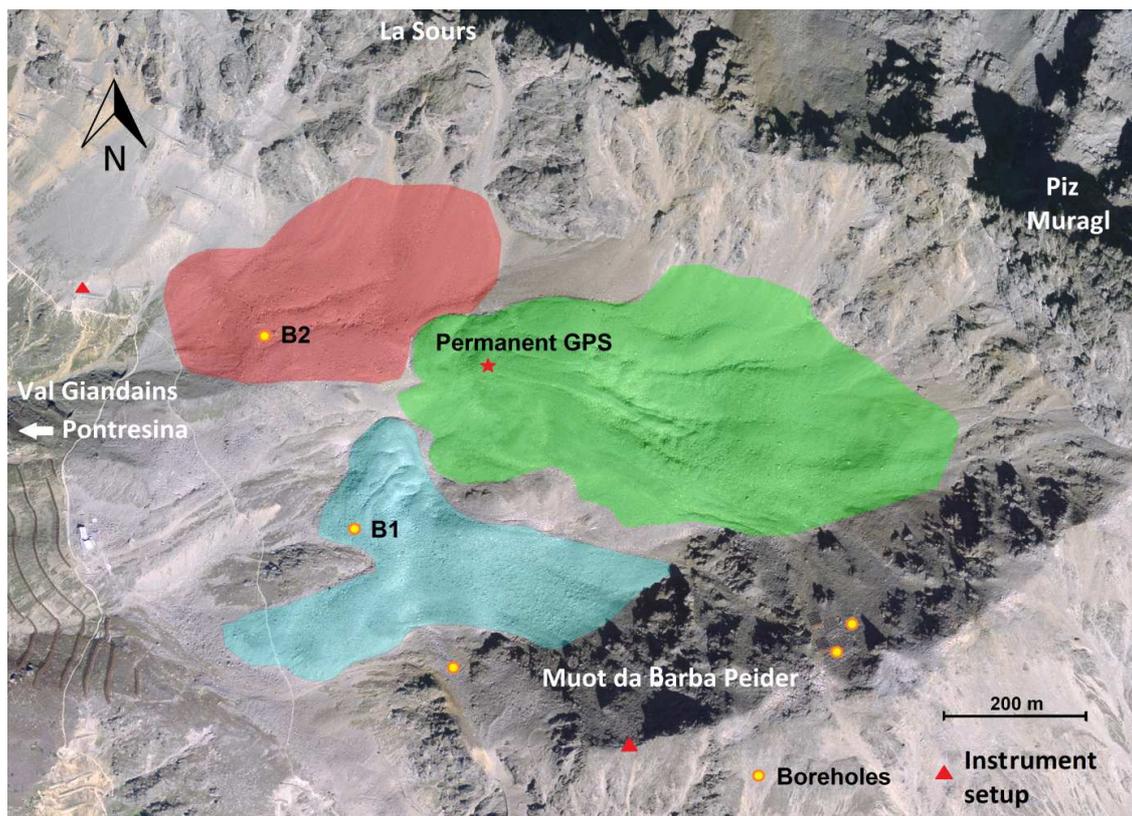


Abbildung 16: Orthofoto des Blockgletschers „Foura da l'amd Ursina“ (orthophoto © swisstopo (DV03349.2)). Die unterschiedlichen Blockgletschersysteme werden durch den Farben Rot, Grün und Blau hervorgehoben. Die Position der Instrumentierung (rote Dreiecke) und die Position der Bohrlöcher werden angezeigt (orange/gelbe Kreise)

Bemerkenswert ist die Existenz von kriechendem Permafrost in allen Expositionen des umgebenden Bergkessels. Das Hochkar ist nach Westen hin geöffnet. Entsprechend erfolgt die Kriechbewegung der einzelnen Blockgletscher hauptsächlich in Richtung Westen.

Massenbewegungen, welche von dieser Zone stammen können Risiken für zwei stark frequentierte Wanderwege mit sich bringen, die die Val Giandains durchqueren. Pontresina wird von einem großen Lawinen- und Murenschutzdamm geschützt, der am Ende des natürlichen Murgrabens errichtet wurde.

## 4.5. Meteorologische Aspekte

Das Messegebiet zählt zum Schweizer Alpen Hauptkamm mit inneralpinem Klima. Die Region des Oberengadins wird dabei aus meteorologischer Sicht hauptsächlich von Süden beeinflusst. Dem hochalpinen Charakter des Messortes entsprechend spielt das Wetter eine primäre Rolle in der Planung von Feldkampagnen. Messarbeiten können nur bei sehr stabilem Wetter durchgeführt werden. Die schneefreie Periode dauert von etwa Mitte Juli bis Anfang/Mitte Oktober ist aber grossen Schwankungen unterworfen. Auch während des Hochsommers kann es immer wieder zur kurzfristigen Ausbildung einer Schneedecke kommen.

## 4.6. SAR-spezifische Details

Die Untersuchungszone wurde ausgewählt, da sie schon seit längerer Zeit wissenschaftlich untersucht wird, ein wichtiger Bereich dabei ist die Einschätzung und das Monitoring des Gefahrenpotentials von Permafrosterscheinungen in Form von Massenbewegungen. Wie auch für das südtiroler Testgebiet wurde auch hier die Konformität des Gebietes für die verschiedenen Messmethoden überprüft, dabei wurden alle Parameter, wie in Kapitel 2.6 beschrieben genauestens unter die Lupe genommen, mit positiven Ergebnis.

Schon seit Jahren wird der Blockgletscher auf seine gravitative Bewegung untersucht, nun wird auch der Terrestrial Laser Scanner dafür eingesetzt. Das TLS Gerät brachte gute Ergebnisse bei der Analyse der dynamiken des Bewegungsprozesses und dessen temporale Evolution. Das Monitoring mit den anderen beiden Methoden hat dabei einen ausschlaggebenden Wert, zur Validierung der Existierenden Daten und des Verständnisses des Phänomens in einem größeren Maßstab.

## 4.7. Wissenschaftliche Arbeit im Testgebiet

Seit dem Jahre 1996 werden am Blockgletscher Bodentemperaturen gemessen. Seit 1991 wird mittels zweier Inclinometer-Bohrlöchern die Blockgletscherbewegung festgestellt. Die Abbildung 17 zeigt die gemessenen Deformationsraten, hingegen Abbildung 18 zeigt die Untergrundtemperatur, welche in den beiden Bohrlöchern ermittelt wurde. Beide Messungen zeigen, dass die Kriechbewegung des Phänomens recht langsam von statten geht. Die Scherzone wurde auf ca. 15 m (B1) und 25 m (B2) festgestellt, die Temperaturen des Permafrostkörpers liegen im Bereich des Gefrierpunktes.

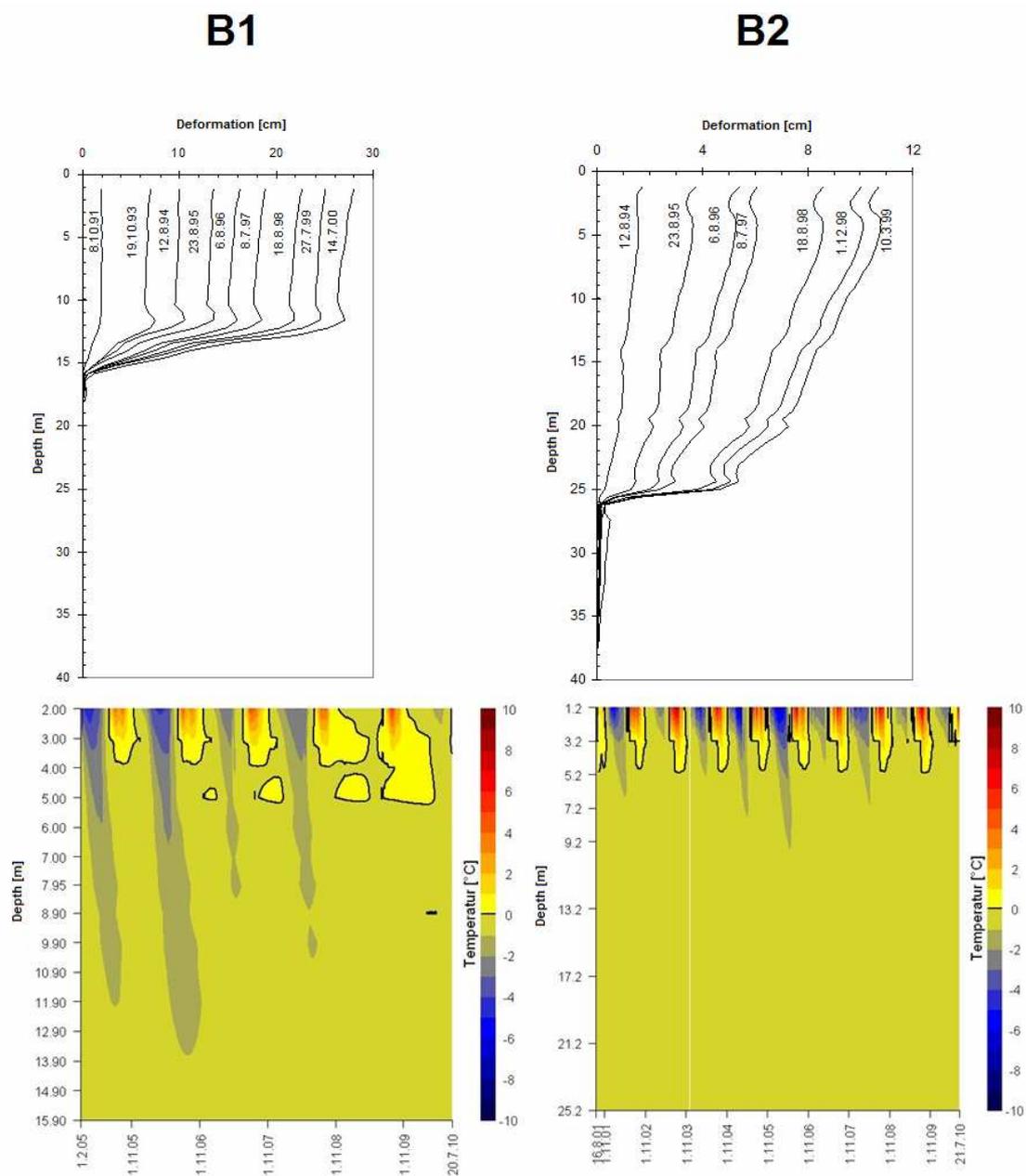


Abbildung 17 & 18: Inclinometermessungen (oben) und Temperaturen (unten) der Bohrlöcher B1 und B2 (Lokalisierung in Abbildung 11)

Zusätzlich wurde und wird mittels einem Terrestrial Laser Scanner der Blockgletscher auf seine Deformation gemessen (seit 2009). Die globale Blockgletscherbewegung überschreitet nicht die 20 cm/a (Abb. 19). Diese Information wird von den Photogrammetrischen Analysen zwischen den Jahren 1970 und 1990 bestätigt. Im Jahre 2012 wurde eine permanente GPS Station im aktivsten Bereich des Blockgletschers installiert (Roter Stern in Abb. 16).

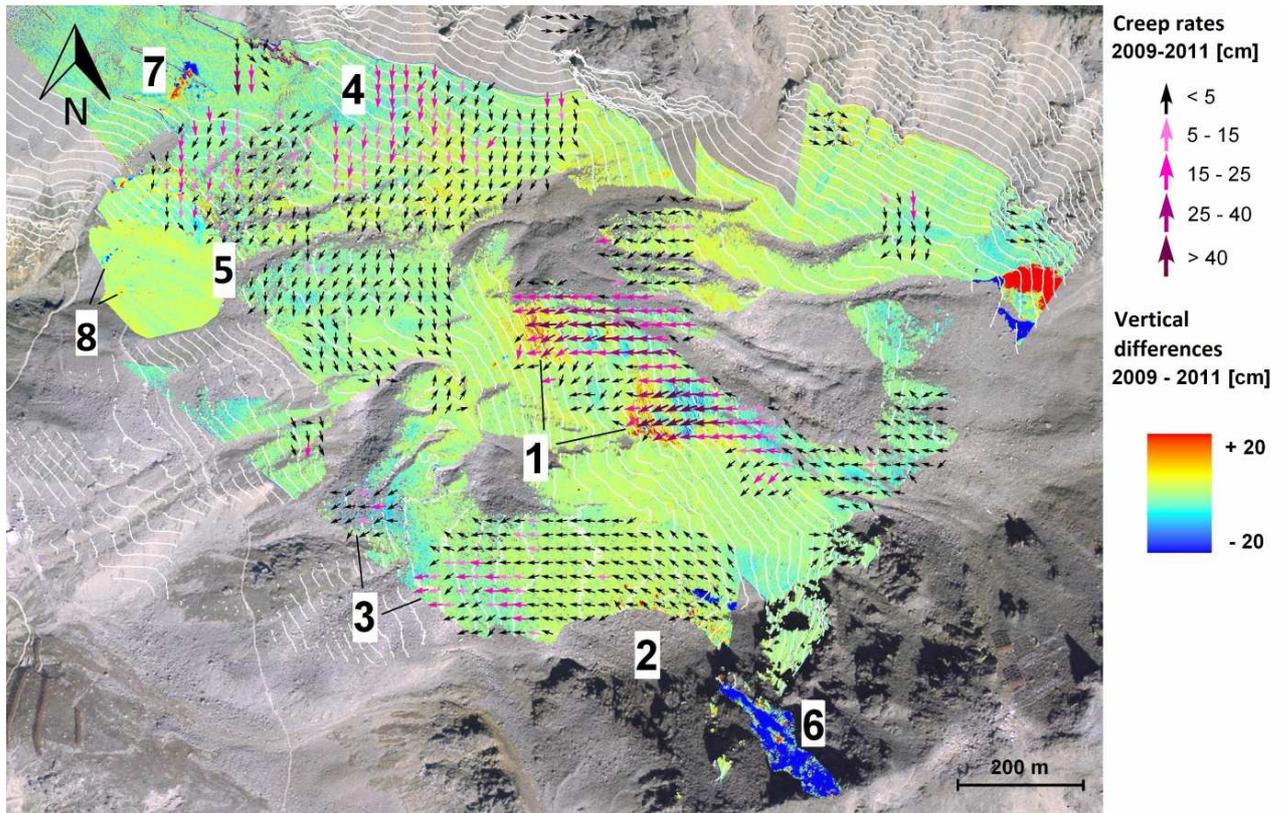


Abbildung 19: Ergebnisse der Terrestrial Laser Scann Messungen in den Jahren 2009 – 2011. Die Kriechrate beläuft sich im Großen und Ganzen auf 10 cm/a (Sektor 2, 3, 4, 5), außer zwei schnellere Bereiche wo Kriechraten von bis zu 20 cm/a festgestellt wurden. In Sektor 1 wurden die höchsten Bewegungsraten gemessen. Des Weitern können in Sektor 6 Felssturzphänomene observiert werden und in Sektor 7 und 8 nicht „blockgletscherabhängige“ Rutschphänomene

## Literaturverzeichnis

- AA.VV. (2010) – Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Blatt 013 "Meran". Servizio Geologico d'Italia – APAT
- Bayrisches Landesamt für Umwelt (2010) – „Rutschung“, <http://www.lfu.bayern.de>
- BUNZA, G., KARL, L., MANGELSDORF, J. & SIMMERSBACH, P. (1976) – Geologisch-morphologische Grundlagen der Wildbachkunde. Schriftenreihe der Bayer. Landstelle für Gewässerkunde München, H. 11, Teil I
- HUMLUM, O. (2000) - The geomorphic significance of rock glaciers: estimates of rock glacier debris volumes and headwall recession rates in West Greenland. *Geomorphology* 35(1-2): 41-67
- KRAINER, K. & MOSTLER, W. (2000) – Aktive Blockgletscher als Transportsysteme für Schuttmassen im Hochgebirge: Der Reichenkar Blockgletscher in den westlichen Stubai Alpen, *Geoforum Umhausen*, Band 1, 28 – 43 S.
- KRAINER, K., KELLERER-PIRKLBAUER, A., KAUFMANN, V., LIEB, G. K., SCHROTT, L. & HAUSMANN, H. (2012): Permafrost Research in Austria: History and recent advances, *Austrian Journal of Earth Science - Wien*, Volume 105/2, 2-11 S.
- LANG, K. (2006) – Geologie des Hohe Gaisl Massives unter besonderer Berücksichtigung der aktiven Blockgletscher, unveröff. Diplomarbeit Universität Innsbruck
- MAIR, V. & STINGL, V. (2005) – Einführung in die Geologie Südtirols (Bozen), Autonome Provinz Bozen, 80 S.
- SCHMID, S.M., FÜGENSCHUH, B., KISSLING, E. & SCHUSTER, R. (2004) - Tectonic map and overall architecture of the Alpine orogen, *Eclogae geol. Helv.* 97 (2004) 93–117
- SCHOENEICH P., DALL'AMICO M., DELINE P., ZISCHG A., eds (2011): Hazards related to permafrost and to permafrost degradation. PermaNET project, state-of-the-art report 6.2. On-line publication ISBN 978-2-903095-59-8
- ZUCALI, M. & CHATEIGNER D. (2006): Analisi quantitativa delle tessiture di metadioriti, deformate durante la subduzione alpina: Falda Languard-Campo - Austroalpino, Alpi Centrali, *Rend. Soc. Geol. It.*, 2 (2006), Nuova Serie, 00-00, 3 ff.