

# **DIE SACKUNG VON PECCIA, OBERES MAGGIA TAL**

**DIPLOMARBEIT**



**ausgeführt am  
Geologischen Institut der ETH Zürich  
und am  
Geologischen Institut des Kantons Tessin IGCT  
unter der Leitung von  
Dr. Roland Wyss und Dipl. Geol. Giorgio Valenti**

**vorgelegt von  
Fabio Donadini**

**März 1999**

# VERZEICHNIS

VORWORT	1
ABSTRACT	3
EINLEITUNG	3
1. GEOGRAPHISCHER ÜBERBLICK	5
2. GEOLOGISCHER ÜBERBLICK	5
3. PETROGRAPHIE	8
3.1 Kriterien	8
3.2 Beschreibung der Lithologien	9
3.2.1 <i>Blindnerschiefer</i>	9
3.2.2 <i>Trias Gesteine</i>	13
3.2.3 <i>Paragneise</i>	16
3.2.4 <i>Glimmerschiefer</i>	20
3.2.5 <i>Rüscada Gneis</i>	23
3.2.6 <i>Alpigia Gneis</i>	25
3.2.7 <i>Ganna Gneis</i>	26
3.2.8 <i>Amphibolith</i>	29
3.3 Zusammenfassung	31
3.4 Diskussion	34
4 STRUKTURGEOLOGIE	37
4.1 Allgemeine Merkmale	37
4.2 Beobachtete Deformationen	38
4.2.1 <i>Erste Deformationsphase</i>	38
4.2.2 <i>Zweite Deformationsphase</i>	40
4.2.3 <i>Dritte Deformationsphase</i>	41
5. GESCHICHTE DER SACKUNG	42

<b>6. MORPHOLOGIE</b>	<b>44</b>
6.1 Einleitung	44
6.2 Vorhandene Studien	50
6.3 Übersicht	51
6.4 Sackungsgebiet	52
6.4.1 Übersicht	52
6.4.2 Bergsturz 1834	43
6.4.3 Rand vom Bergsturz 1834	59
6.4.4 Sackungsgebiet	60
6.5 Rand der Sackung	69
6.5.1 Morphologische Merkmale	70
6.5.2 Zusammenfassung	71
6.6 Krone - Anstehender Bereich	72
6.6.1 Morphologische Merkmale der Krone	72
6.6.2 Morphologische Merkmale beim Anstehenden von Piano del Monte und zwischen Piano del Monte und Agrei	75
Zusammenfassung	76
6.7 Beschreibung der Profilen vom Bergsturz und der Sackung	77
6.7.1 Profil „Bergsturz“	77
6.7.2 Profil „Sackung“	78
6.8 Volumenberechnung der Sackung und des Bergsturzes	78
6.8.1 Bergsturz	78
6.8.2 Sackung	80
<b>7. ANALYSE DER KLÜFTE UND DER STÖRUNGEN</b>	<b>87</b>
7.1 Einführung	87
7.2 Klüftenfamilien	87
7.2.1 Steile NS verlaufende Brüche	87
7.2.2 Steile EW verlaufende Brüche	87
7.2.3 Flache NS verlaufende Brüche	89
7.3 Störungen	90
7.3.1 Störung unterhalb von Peccia	90
7.3.2 Störung bei 1750 m	90
7.3.3 NNW-SSO verlaufende Störungen	92
7.3.4 Andere vorhandene Störungen	93
7.4 Analyse der Schieferungen im Sackungsbereich	94
<b>7.5 ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>96</b>

<b>8. GPS MESSUNGEN</b>	<b>97</b>
8.1 Einführung	97
8.2 Messmethode	97
8.3 Wahl der Messpunkte	99
8.4 Ergebnisse	98
8.5 Evidenzen und Interpretation	100
8.5.1 Sackungsgebiet	100
8.5.2 Bergsturz 1834	101
8.6 Vergleich mit den Theodolitmessungen vom IGCT	103
8.7 Nachdenkungen	104
<b>9. ANALYSE DER QUELLEN</b>	<b>106</b>
9.1 Einführung	106
9.2 Messungen	106
9.3 Erwartungen	107
9.4 Lokalisierung der Quellen	107
9.4.1 Beschreibung der Quellen im Sackungsgebiet	107
9.4.2 Beschreibung der Quellen ausserhalb des Sackungsbereiches	109
9.5 Ergebnisse und Interpretation	111
9.5.1 Leitfähigkeit	111
9.5.2 Ionenchromatographie und m-Wert	114
9.6 Schlussfolgerungen	119
9.7 Zusammenfassung	119
<b>10. INTERPRETATION UND DISKUSSION</b>	<b>120</b>
10.1 Zusammenfassung	120
10.2 Hypothesen über die Genese der Sackung	122
10.2.1 Beeinflussende Faktoren und Ursachen bei der Entstehung der Sackung	122
10.2.2 Hypothesen über die Evolutionsgeschichte der Sackung	122
10.3 Gegenwärtige Lage der Sackung	123
10.4 Mögliche Evolution der Sackung	123
10.5 Weiteres Verfahren	124
<b>11. BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>125</b>

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

<i>Abbildung 1: geographischer Überblick</i>	6
<i>Abbildung 2: geologischer Überblick</i>	7
<i>Abbildung 3: verschiedene Biotitgenerationen im Dünnschliff</i>	18
<i>Abbildung 4: Staurolith mit elizitischer Struktur</i>	22
<i>Abbildung 5: Übergang amphibolreiche Lagen - amphibolitische Linsen</i>	25
<i>Abbildung 6: präkinematischer Amphibol im Dünnschliff</i>	27
<i>Abbildung 7: Serizitwachstum auf Plagioklas im Dünnschliff</i>	29
<i>Abbildung 8: Aktinolithwachstum an der Grenze zwischen Quarz und Dolomit im Dünnschliff</i>	31
<i>Abbildung 9: Falte der ersten Deformationsphase</i>	39
<i>Abbildung 10: Stereographische Projektion der Schieferungen im Anstehenden</i>	39
<i>Abbildung 11: stereographische Projektion der Krenulation</i>	40
<i>Abbildung 12: Krenulation im Feld</i>	40
<i>Abbildung 13: Falte der dritten Deformationsphase</i>	41
<i>Abbildung 14: schematische Darstellung einer Sackung</i>	46
<i>Abbildung 15: verschiedene Entwicklungsstadien einer Sackung</i>	47
<i>Abbildung 16: Haupttypen von Sackungen</i>	48
<i>Abbildung 17: Panoramaaufnahme des Sackungsgebietes</i>	52
<i>Abbildung 18: Lage von Peccia im Jahr 1860</i>	53
<i>Abbildung 19: die lange Gegensteigungen vom Bergsturz 1834</i>	55
<i>Abbildung 20: kleine Escarpement beim Ri del Pizzone</i>	55
<i>Abbildung 21: die perimetrale Störung</i>	60
<i>Abbildung 22: Panoramaansicht der perimetralen Störung</i>	61
<i>Abbildung 23: Panoramaansicht des Depressionsgebiets</i>	62
<i>Abbildung 24: Nacktentälchen im Depressionsgebiet</i>	64
<i>Abbildung 25: Spuren von Blockschläge</i>	65

<i>Abbildung 26: Bündnerschieferaufschlüss in der sackung</i>	65
<i>Abbildung 27: die Aufwölbung bei Cambleo</i>	66
<i>Abbildung 28: ausgeprägte UD-scarp bei der Alpe Arena</i>	67
<i>Abbildung 29: Nacktentälchen bei der Alpe arena</i>	68
<i>Abbildung 30: mächtige Stufe beim Motto della Fame</i>	73
<i>Abbildung 31: Gegensteigung im Kronenbereich</i>	73
<i>Abbildung 32: verletzte Baum wegen Blockschlag</i>	74
<i>Abbildung 33A: Volumenberechnung des Abbruchsgebietes vom Bergsturz</i>	81
<i>Abbildung 33B: Volumenberechnung der sich bewegenden Masse vom Bergsturz</i>	83
<i>Abbildung 34: Volumenberechnung der sich bewegenden Masse von der Sackung</i>	85
<i>Abbildung 35: Brüche mit NS und EW Achsenorientierung</i>	88
<i>Abbildung 36: stereographische Projektion der NS und EW gerichteten Klüften</i>	88
<i>Abbildung 37: Entlastungsbrüche</i>	89
<i>Abbildung 38: stereographische Projektion der Entlastungsbrüche</i>	89
<i>Abbildung 39: Zeichnung der Störung bei Peccia</i>	91
<i>Abbildung 40: Störungen bei der Alpe Arena</i>	92
<i>Abbildung 41: Panoramaansicht der Riazstö- Störung</i>	93
<i>Abbildung 42: Panoramaansicht auf Rima</i>	94
<i>Abbildung 43: stereographische Projektionen der Schieferungen in den verschiedenen Bereichen</i>	95
<i>Abbildung 44: versackte Schieferung im Kronenbereich</i>	95
<i>Abbildung 45: Blockdiagramme der verschiedenen Diskontinuitäten</i>	96
<i>Abbildung 46: GPS Gerät</i>	98
<i>Abbildung 47: rotationale Bewegung der Sackung</i>	102
<i>Abbildung 48: die Quelle 8</i>	109
<i>Abbildung 49: Calcium-Sulfat Diagramm</i>	114
<i>Abbildung 50: Calcium-Karbonat Diagramm</i>	115
<i>Abbildung 51: Schöllerdiagramme: diagramm 1, 2, 3 und 4</i>	117-118

## VERZEICHNIS DER TABELLEN

<i>Tabelle 1: Prozent Mineralien der verschiedenen Dünnschliffe</i>	32
<i>Tabelle 2: Entstehung der Mineralien in Bezug auf die Hauptschieferung</i>	33
<i>Tabelle 3: Zusammenfassung der morphologischen Merkmale des Bergsturzes</i>	57
<i>Tabelle 4: Zusammenfassung der Zonen der Sackung</i>	69
<i>Tabelle 5: Volumennberechnung des Abbruchgebietes des Bergsturzes</i>	82
<i>Tabelle 5A: Volumenberechnung der sich bewegenden Masse des Bergsturzes</i>	84
<i>Tabelle 6: Volumenberechnung der sich bewegenden Masse der Sackung</i>	86
<i>Tabelle 7: GPS-Messungen</i>	99
<i>Tabelle 8: Theodolitmessungen vom IGCT</i>	104
<i>Tabelle 9: Leitfähigkeit und Lage der Quellen</i>	112
<i>Tabelle 10: Chemismus der Quellen</i>	113

## VORWORT

Ich habe immer ein grosses Interesse gehabt, die Phänomene, die zur Bildung von Massenbewegungen führen, zu verstehen. Darum hatte ich den Wunsch, mein Wissen durch eine Diplomarbeit zum Thema Massenbewegungen zu vertiefen. Durch das Istituto Geologico del Cantone Ticino (IGCT) erhielt ich die Möglichkeit für eine Diplomarbeit über die Sackung von Peccia

Mein Referent im Tessin ist der Geologe Giorgio Valenti; bei der ETHZ wurde die Arbeit vom Dr. Roland Wyss betreut. Die Dauer dieser Arbeit umfasst eine Periode, die sich von Juli 1997 bis Februar 1999 erstreckt.

Ich setze voraus, dass die Erfahrung der Diplomarbeit in der Gegend der Alpe Arena für mich nicht nur eine Gelegenheit, um technische Problematiken zu vertiefen und zu lösen, sondern auch eine nützliche und tiefe Lebenserfahrung war.

Ich musste mich mit Situationen konfrontieren, die ich mir vorher nie vorgestellt hätte. Zum Beispiel diejenige, in einer Alpenhütte während einer wichtigen Zeit allein zu wohnen.

Oder den Kontakt mit Leuten mit verschiedenen Bräuchen: die Äpler, die mich für eine gewisse Zeit beherbergt hatten; oder ein umweltschutzbewusster Lehrer, der sich mit Sonnenkollektoren beschäftigte und sie auf diese primitive Hütte installiert hatte. Ausserdem hatte er, zusammen mit seinen Lehrlingen, einen Tunnel mit sauberer Energie beleuchtet.

Oder, nicht zuletzt, die Hilfe, die Mitarbeit, die mir von Freunden und Kollegen in verschiedenen Gelegenheiten gegeben wurde, ohne die ich diese Arbeit nicht allein durchführen können hätte - z.B. die GPS Messungen -.

Das war sicher eine ungewöhnliche Erfahrung, oft hart, in den kleinsten Details zu organisieren: dort oben hatte nämlich alles eine grosse Wichtigkeit, weil nichts vorhanden war.

Trotzdem ein Erlebniss, das mich sehr bereichert hat, sowohl aus technischen Gründen, verbunden mit dem Studium, das ich besucht habe; als auch aus menschlichen im allgemeinen.

Die Forschungen waren lang und detailliert - manchmal schwierig -. Wenn man diese wiederholen müsste, sollte man den Mut nicht verlieren. Ich habe in diesem Sinn eine wertvolle Stütze von den Referenten bekommen.

Ich habe einen wunderschönen Sommer in der herrlichen und wilden Natur des Maggiatals verbracht, mit einer Vermittlungsarbeit zwischen Naturphänomenen und menschlichen Bedürfnissen beschäftigt: Ziele, die schon meine Ideale waren, als ich mein Studium in Geologie begann.

## ZUSAMMENFASSUNG

Die Massenbewegung von Peccia weist das typische Profil einer rotationaler Sackung beim fortgeschrittenen Stadium auf. Dieses Bild wird ebenfalls durch GPS Messungen bestätigt.

Morphologische, geologische, hydrogeologische und strukturelle Untersuchungen deuten an eine postglaziale Entstehung der Sackung. Dabei dürften vor allem schwache Lithologien im Untergrund sowie verschiedene Kluftsysteme die Geometrie und die Mechanismen auf die Sackung einen bestimmenden Einfluss haben.

Im untersten Teil der Sackung ist der Bergsturz von 1834 erkennbar, der sich - vermutlich - auf einer eigenen Gleitfläche bewegt hat. Seine Entstehung kann zur steilen Morphologie des Gebietes, sowie zu den schwachen Lithologien im Untergrund zurückgeführt werden. Es bleibt noch unklar, ob die Störungen bei der Alpe Arena entweder eine wichtige Rolle schon vor der Entstehung dieses letzten gespielt haben oder sie nur eine Folge dieser Bewegung darstellen.

Aufgrund von Theodolit und GPS Messungen können Bewegungen im mm- bis zu cm pro Jahr festgestellt werden.

Obwohl heutzutage die Sackung als inaktiv bezeichnet werden kann, sind plötzliche Reaktivierungen noch möglich, insbesondere in Zusammenhang mit starken Regenfälle.

## EINLEITUNG

Das obere Maggia Tal umfasst einige der mächtigsten Gebirge des Tessins. Neben den verschiedenen angenehmen Aspekte - diese Orte erlauben einen direkten und positiven Kontakt mit der Natur – stehen auch oft Naturgefahren.

Das Beispiel von Peccia sagt vieles darüber. Dieses Dorf liegt nämlich am Fuss eines unter Sackungsdeformation leidenden Hanges: seit 1700 ungefähr werden die verschiedenen Katastrophen von Generation zu Generation erzählt. Insbesondere berühmt ist der Bergsturz, der sich 1834 entwickelt hat: Peccia wurde quasi total

zerstört, das Tal wurde durch die Bergsturzmasse abgeriegelt und es entstand ein natürlicher Damm.

Im Jahr 1993 bewegte sich das ganze Gebiet der Sackung - ungefähr 2 km<sup>2</sup> Fläche und 1 km Höhenunterschied - nach starken Regenfällen etwa um einen Meter talwärts. Seitdem wird der westliche Hang des Piz Rüscada vom geologischen Institut des Kantons Tessin (IGCT) kontrolliert und vermessen, um neue Bewegungen festzustellen und eventuelle Katastrophen vorauszusagen und vorbeugen zu können.

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wird eine quantitative Schätzung der Bewegung des Gebietes anhand GPS-Messungen, sowie eine qualitative Aussage über die mögliche Dynamik der Sackung vorgestellt.

Ausserdem wurden die Ursachen der Entstehung der Massenbewegung dank Untersuchungen an der morphologischen und geologischen Charakteristika des Gebietes festgestellt.

Anhand einer detaillierten Datenanalyse wurde die Genese dieser Sackung hypotisiert.

Um die Lektüre zu vereinfachen wird eine Zusammenfassung der wichtigsten Teilen am Ende von jedem Kapitel angegeben.

## **1. GEOGRAPHISCHER ÜBERBLICK (Abb.1)**

Das Gebiet der vorliegenden Diplomarbeit befindet sich im oberen Maggialtal, zwischen den Dörfern von Peccia (800 m ü. M.) und Mogno (1200 m ü. M.) und auf der linken Seite des Maggia Flusses. Die steile Talflanke steigt bis zum Piz Rüscada (2450 m ü.M.). Der Grat, der den Piz Rüscada mit dem nördlichen gelegenen L'Uomo verbindet, bildet die Wasserscheide zwischen dem Lavizzara Tal und dem Prato Tal. Südlich biegt sich das Prato Tal nach Westen und mündet in dem Lavizzara Tal, so dass der Piz Rüscada quasi einen isolierten Hang bildet. Der nach Westen gelegene Hang ist stark versackt. Vom Talboden steigt er mächtig bewaldet bis etwa 2000 m ü.M., wo sich ein kleiner flacherer unbewaldeter Teil befindet. Bald darüber trifft man die steilen Türme des Piz Rüscada.

Die südliche Begrenzung des Diplomgebietes wird vom Ri Scudau Bach gebildet, der vom Piz Rüscada unten bis Prato Sornico fließt.

Nach Norden wird die Begrenzung vom Ri da Rüscada dargestellt: ein kleiner Bach, der von Cospat in SW Richtung gegen der Piz Rüscada steigt.

Ein kleiner Wanderweg steigt von Cambleo bis zur Alpe Arena und verfolgt nördlich bis zur Alpe Rüscada. Andere Wege sind spärlich und wenig frequentiert.

## **2. GEOLOGISCHER ÜBERBLICK**

Das Gebiet des oberen Maggia Tals gliedert sich im Penninikum ein. Wegen der Deckenstapelung während der Alpenen Orogenese befindet sich diese Region zwischen den Gneisen der Maggia Steilzone im Liegenden und der Campo-Tencia Decke im Hängenden, die von der Campolungo-Mogno Mulde – eine aus Trias Sedimenten bestehende Zone - getrennt werden. Alle Lithologien weisen eine grünschiefer- bis amphibolitfazielle Metamorphose und die Schieferung fällt etwa 45° nach Osten, d. h. senkrecht zur Hangneigung. Die Abbildung 2 zeigt die Lage der verschiedenen Lithologien und der Sackung im Gebiet.

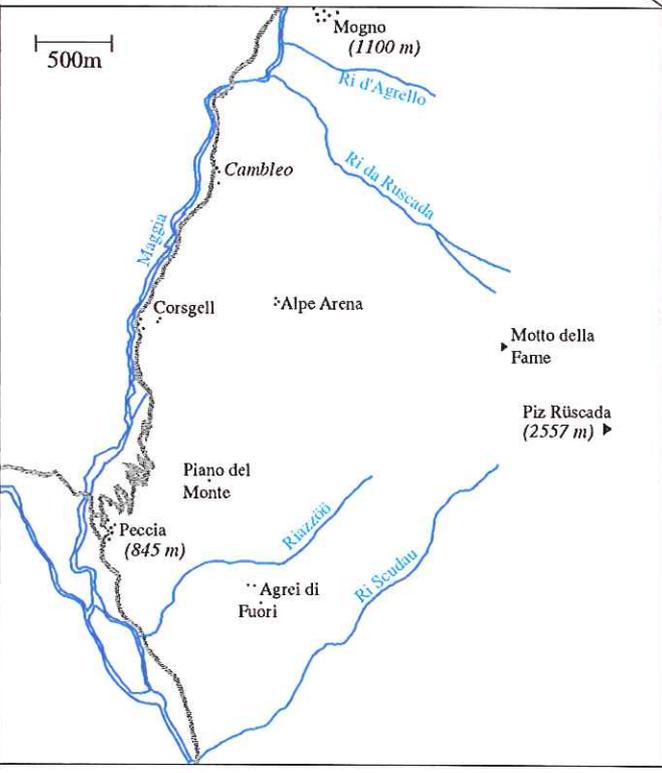
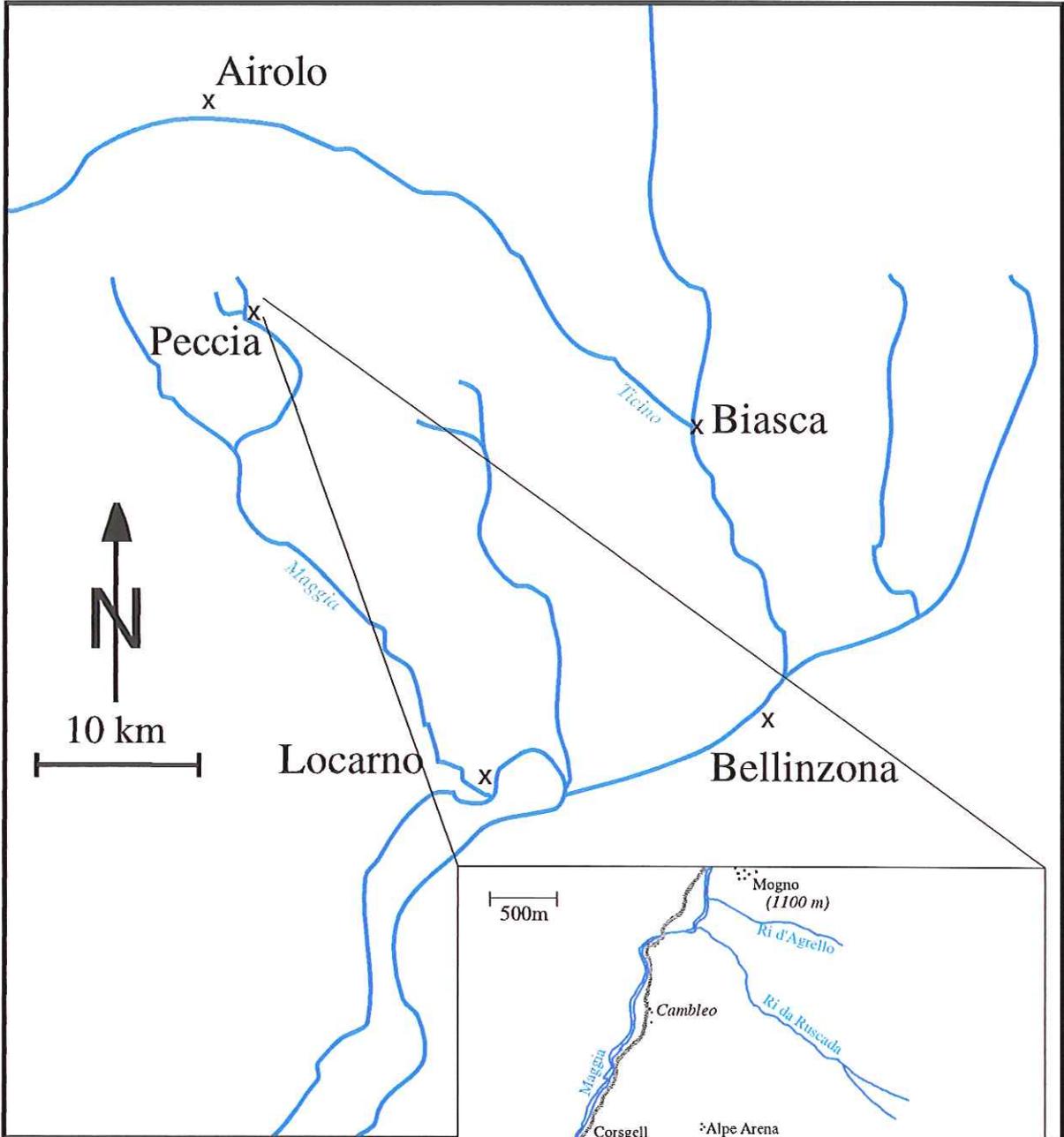
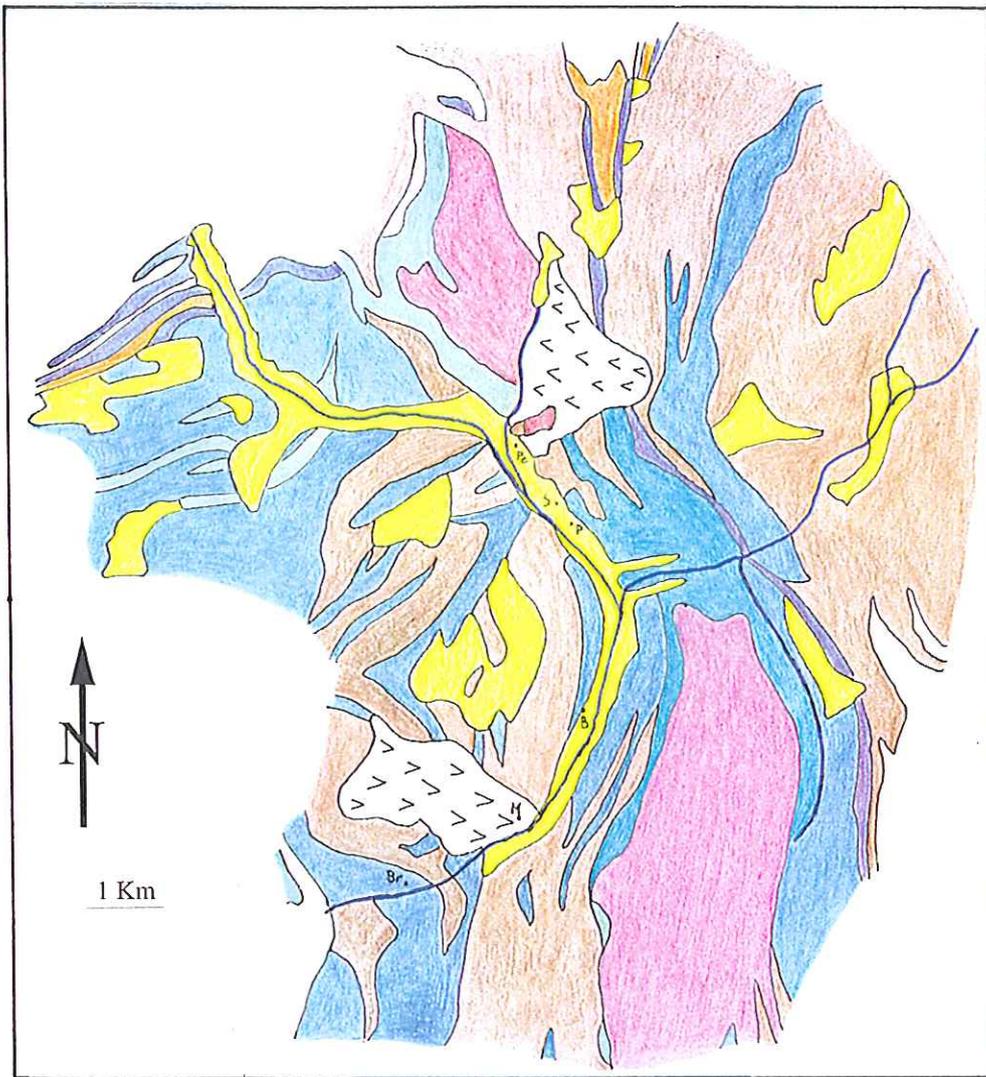


Abbildung 1:  
geographischer Überblick



Legende



Sackung



Quartärablagerung

Mesozoische Sedimente



Bündnerschiefer



Dolomit, Marmor und Quarzit

Präpermische Sedimente



Glimmerschiefer und Paragneis

Granitoide Gneisskörper



Biotit- Hornblende Plagioklasgneis (Alpigia Gneis)



Zweiglimmer- Alkalifeldspatgneis (Rüscada Gneis)



Biotit- Alkalifeldspatgneis (Cocco Gneis)



Injectionsgneise (Ganna Gneis, Antigorio Gneis)

Basische Gesteine



Amphibolit

Pe: Peccia

S: Sornico

P: Prato

B: Broglio

M: Menzonio

Br: Brontallo

Abbildung 1: geologischer Überblick nach einer Zeichnung von G. Valenti.

### 3. PETROGRAPHIE

#### 3.1. KRITERIEN

Das Gebiet liegt auf der geologischen Karte des Campo Tencia 1: 25000 (Blatt 1272). Es werden hier 8 verschiedene Lithologien im Bereich der Sackung ausgeschieden. Die Beschreibung und die Analyse wurden von Keller [16] in seiner Dissertation durchgeführt.

Näher betrachtet wurde das Folgende erkannt:

- Paragneise: Braune Gesteine, die oft auch Porphyroblasten von Granaten und Staurolithen enthalten,
- Die Glimmerschiefern, die sich nur wegen hohem Glimmergehalt und dünnere Schieferung von den Paragneisen unterscheiden,
- Die weissen, feinkörnigen Orthogneise, reich an Qz, Plagioklas, Muskowit und Biotit, die als Rüscada Gneise auf der Karte bezeichnet werden,
- Die amphibolreichen Orthogneise (Alpigia-Gneis),
- Die Ganna Gneise, gut erkennbar wegen den häufigen Augen im cm-Bereich,
- Die Karbonaten und Quarziten der Trias,
- Die Bündnerschiefern,
- Die Amphibolithen.

Nach Buchmann [7] wurden die Lithologien in Kerngesteine (prätriadische Gneise), Hüllgesteine (prätriadische Paragneise) und Muldengesteine (Trias und Jura Sedimente) unterteilt. Diese Beschreibung leitet sich aus der morphologischen Ausprägung solcher Gesteine: die Anwesenheit von Trias und Jura Gesteinen - hauptsächlich Kalke und Marmore - ist mit Tälern korrelierbar (z.B. das Campolungo); Kerngesteine können hauptsächlich bei den höchsten Gebirgen (z.B. der grosse Grat vom Poncione dei Laghetti über Pizzo di Rodi und bis Pizzo Mascarpino, der die Peccia und Lavizzara Täler trennt) beobachtet werden.

## 3.2. BESCHREIBUNG DER LITHOLOGIEN

### 3.2.1 Bündnerschiefer

#### Allgemeines

Im Gebiet treten die Bündnerschiefer als Kern der Mogno-Fusio Mulde auf und stellen dazu eine kleine Linse unterhalb von Alpe Rüscada (694 200/142 140) dar. Sie gehören einem grossen Zug, der sich von Westen nach Osten zieht - von Visp über das Bedretto Tal bis nach Chur -.

Man unterscheidet also zwischen granatführenden- (I), amphibolführenden- (II) und Aktinolith Kalkglimmerschiefer (III), obwohl sie auf der Karte als einzige Lithologie eingetragen werden.

#### Makroskopische Merkmale

Es handelt sich um Sedimente mit unterschiedlichem Gehalt an Glimmer, Kalk, Quarz und Amphibolen; die Farbe schwankt von gelbgrau bis dunkelgrau-schwarz. Sie weisen eine Bänderung im cm- bis dm-Bereich und die Züge sind bis einige Meter mächtig. Marmorlinsen bis 30 cm gross können innerhalb der Lithologie in Ri d'Agrello (694 300/142 650) beobachtet werden.

Ausserdem treten dort glimmerschieferähnliche Bündnerschiefer auf, die einen beträchtlichen Gehalt an Granatporphyroblasten und Pyritkristalle aufweisen. Seine Ähnlichkeit besteht in der Härte und der Farbe. Das beträchtliche Calcitgehalt zeigt aber, dass es sich um Bündnerschiefer handelt.

#### *1) Granatführender Kalkglimmerschiefer*

Makroskopisch betrachtet ist diese Lithologie massig und hart. Sie weist im cm- bis dm- Bereich eine ausgeprägte Schieferung, ausserdem sind auf der Schieferungsebene Krenulationen erkennbar. Die Farbe ist hellgrau bis gelblich.

Sie wird im Ri d'Agrello gefunden (694 300/142 640), um 1220 m ü. M.

Mikroskopische Beschreibung

DS: 1R, 2R, 3R, 4R.

Quarz	20-30%
Plagioklas	15-20%
Biotit	10-15%
Muskowit	5-10%
Chlorit	0-10%
Epidot	10-15%
Calcit	1-5%
Granat	1-10%
Disthen	0-2%

Akzessorien: Ilmenit, Turmalin, Pyrit.

Gefüge: Lepidoblastisch bis Porphyroblastisch.

Beschreibung der einzelnen Komponenten:

**Quarz:** Poikiloblastisch; Korngrösse bis 0,25 mm.

**Plagioklas:** Korngrösse bis 0,25 mm. Manchmal sind grössere Einsprenglinge sichtbar, die etwa 1,5 mm Durchmesser aufweisen. Auf diesen grösseren Mineralien sind die Serizitenregelungen gut beobachtbar. Eine in Richtung der Zwillingslamellen, die andere in der Hauptschieferungsrichtung.  
Andere Einschlüsse bestehen aus Epidot, Glimmer und Quarz.

**Biotit:** Die erste Generation ist prä- bis synkinematisch zur Schieferungsbildung: sie wird durch eine Krenulation charakterisiert und ist schieferungsparallel.  
Eine zweite, spätere (postkinematische) Biotitgeneration überwacht die Erste.  
Die Biotit ist manchmal chloritisiert worden.

- Muskowit:** Man erkennt eine prä- bis synkinematische Generation, die von einer zweiten - postkinematischen - Generation überwachsen wird.
- Chlorit:** Wenn vorhanden weist sie eine prä- bis synkinematische Generation auf, die von eine postkinematische überwachsen wird.
- Epidot:** Man erkennt Epidote, die bis 0,3 mm lang sind und eine prä- bis synkinematische Bildung aufweisen.
- Granat:** Granate bis 2,5 mm gross sind im Schliff beobachtbar. Man erkennt zwei unterschiedliche Genesen: eine prä- bis synkinematische, indem sie dem Granat eine elizitische Struktur verleiht und die Zweite, postkinematisch, gibt dem Granat eine ausgeprägte Kristallform, so dass er andere Körner überwächst.
- Disthen:** bis 1 mm lang. weist eine prä- bis synkinematische Bildung.

## ***II) Amphibolführender Kalkglimmerschiefer.***

### Makroskopische Beschreibung

Das Gestein weist eine Wechsellagerung zwischen schwarzen amphibolreichen Lagen und gelblichen Marmorlinsen im cm- bis dm-Bereich auf. Sie wurde im Rio d' Agrello (694 300/142 640) gefunden.

### Mikroskopische Beschreibung

DS: 5R

Quarz	5-10%
Plagioklas	15-20%

Biotit	15%
Muskowit	10-15%
Epidot	5-10%
Hornblende	30%

Akzessorien: Ilmenit, Turmalin, Rutil.

Gefüge: Porphyroblastisch.

Beschreibung der einzelnen Komponenten:

Quarz: Körner bis 0.25 mm gross. Poikiloblastische Struktur.

Plagioklas: Körner bis 0.25 mm, manchmal werden aber grössere Einsprenglinge beobachtet.

Biotit: Synkinematisch zur Hauptschieferung.

Muskowit: Synkinematisch zur Hauptschieferung.

Hornblende: bis einige mm grosse Einsprenglinge, idiomorph. Präkinematisch in Bezug auf der Hauptschieferung.

Epidot: Er kann bis 1 mm gross sein. Seine Entstehung ist wahrscheinlich präkinematisch in Bezug zu der Hornblende, indem sie ihn einbezieht.

### **III) Aktinolith Kalkglimmerschiefer**

Makroskopische Beschreibung

Am oberen Rand um 1900 m.ü.M. sowie als versacktes Felspaket um 1590 m.ü.M findet man einige Linsen im m-Bereich, die parallel zur Hauptschieferung orientiert sind. Es handelt sich um Wechsellagerungen von Aktinolith und Dolomit, die eine grünliche bis gelbliche Farbe aufweisen.

Mikroskopische Beschreibung

DS: 2C, 8C

Quarz	0-30%
Aktinolith	10-40%
Dolomit	40-45%
Hornblende	1-5%

Akzessorien: Rutil, Disthen.Gefüge: Granoblastisch bis lepidoblastisch.Beschreibung der einzelnen Komponenten:

Quarz: Körner bis 0.5 mm gross. Poikiloblastische Struktur.

Calcit: Körner bis 1 mm.

Aktinolith: bis 1,5 cm lange Kristallen. Sie wächst insbesondere am Rand zwischen Dolomit und Quarz.

**3.2.2 Trias Gesteine**

Die Trias Gesteine umgeben die oben beschriebenen Bündnerschiefer (vgl. 2.1). Im Gebiet treten sie im NW-Teil des Gebietes als beträchtliche Züge sowie im SO-Teil - Ri Scudau, 694 890/140 460 - als kleine verfaltete Quarzitbankung im m-Bereich.

Sie bestehen hauptsächlich aus weissen bis leicht gelblichen Marmor- und Dolomitlinsen bis Lagen (I); sowie aus weissen Quarziten (II).

**I) Marmor**

Es handelt sich um sehr homogene, feinkörnige, weiche Gesteine, die eine deutliche Schieferung im cm-Bereich aufweisen. Die Schieferung ist oft gewellt.

**Mikroskopische Beschreibung**

DS: 1B

Calcit	75%
Muskowit	10-20%
Hornblende	15%
Epidot	5%

**Akzessorien:** Ilmenit, Titanit.

**Gefüge:** Granoblastisch bis Porphyroblastisch.

**Beschreibung der einzelnen Komponenten:**

**Calcit:** Bis 0,2 mm gross; ausnahmsweise bis 6 mm.

**Epidot:** etwa 0,1 mm gross. Enthält  $\text{CaCO}_3$  Einschlüsse.

**Hornblende:** Maximal bis 3 mm gross. Enthält Calciteinschlüsse.

**II) Quarzit**

Der Trias Quarzitzug besteht aus einer feinkörnigen, weissen und porösen Grundmasse. Im Bereich der südlichen Ende der Mogno-Fusio Mulde stellt diese Lithologie eine cm- bis dm- grosse Linse dar. Im SO-Bereich ist sie breiter - etwa 10 m mächtig - und enthält oft Knauer im cm- bis dm-Bereich. Im makroskopischen Bereich konnten am Kontakt mit den Kalken schöne Aktinolithkristalle beobachtet

werden, die eine Umwandlung von Quarz und Dolomit bei einer retrograden Metamorphose widerspiegeln – vgl auch Abbildung 8, p. 31 -.

### Mikroskopische Beschreibung

DS: 1, 2B, 6C

Quarz	60-80
Plagioklas	0-5%
Biotit	0-5%
Muskowit	10-20%

Akzessorien: Calcit, Chloritoid, Rutil.

Gefüge: Granoblastisch, Knauer vorhanden bis 0,75 mm breit. Offene - bis 1 mm breit - und offene Mikrocracks oft vorhanden, senkrecht zur Knauer.

### Beschreibung der einzelnen Komponenten:

Quarz: Feinkörnig, bis 0,5 mm gross. Poikiloblastisch.

Biotit: Eine erste Generation, syngenetisch zur Hauptschieferungsrichtung wird von einer Zweite überwachsen.

Muskowit: Eine Generation, syngenetisch zur ersten Biotitgeneration.

Rutil: Bis 2,5 mm lang; prä- bis synkinematisch. Er wird vom ersten Biotitgeneration umgehüllt.

### 3.2.3 Paragneise

Diese Lithologien weisen normalerweise eine rostigbraune Farbe auf. Man unterscheidet zwischen:

I- Quarzitischen Zweiglimmergneisen

II- Granatführenden Zweiglimmergneisen

III- Staurolithführenden Granat- Zweiglimmergneisen

In einer feinkörnigen Matrix - aus Quarz, Plagioklas und Glimmer bestehend - werden oft Granat- und Staurolithporphyroblasten im cm Bereich und Quarz-äugen (normalerweise einige cm, manchmal auch einige dm gross) beobachtet. Die Porphyroblasten treten im Gebiet nur kleinräumig auf, so dass sie auf der Karte einfach als Paragneise bezeichnet werden. Selten wird Disthen beobachtet.

Daneben sind noch die quarzitischen Zweiglimmergneise zu erwähnen. Es sind hellere -beige bis hellbraun-, feinkörnige Lithologien.

Obwohl Quarzknauer im Diplomgebiet nie angetroffen wurden, sind sie im Nachbargebiet von Hohl [13] oft zu beobachten; insbesondere in der Nähe des Kontaktes mit den Trias-Sedimenten.

#### 1) *Quarzitischer Zweiglimmergneis*

Manchmal wurde ein Übergang (etwa 10 m mächtig) von reine Quarzit zu Zweiglimmergneise festgestellt, insbesondere auf der nördlichen Rand des Gebietes, d.h. ein markantes Wechsel der Stoffbänderung. Solche Ereignisse werden Hellblau auf der Karte bezeichnet. Sie liegt normalerweise als homogene, feinkörnige Masse. Manchmal sind Quarzäugen im cm-dm-Bereich sichtbar, wie auch glimmerreiche Lagen. Je nach Glimmergehalt sind Krenulationen sichtbar. Ihre Farbe wechselt von dunkelgrau bis rostigbraun je nach Anwitterungsgrad.

#### Mikroskopische Beschreibung

DS: 271, 451.

Quarz	40%
Plagioklas	5-20%
Alkalifelspat	5-20%
Biotit	10-20%
Muskowit	10-20%

Epidot                    0-5%

Akzessorien:        Rutil, Ilmenit, Titanit, Chloritoid.

Gefüge:             Granoblastisch bis lepidoblastisch.

Beschreibung der einzelnen Komponenten:

Quarz:                 weist eine feinkörnige Grundmasse, poikiloblastische Strukturen oft vorhanden. Korngrösse: etwa 0.5 mm.

Plagioklas:           oft mit Seriziteinschlüsse wegen Saussuritisierung.

**II) Granatführender Zweiglimmergneis**

Diese Lithologie ist der Obgenannten ähnlich. Im Gegensatz zu den anderen weist sie aber kleine Granatporphyroblasten im mm-Bereich auf. Das Auftreten von Granat ist lokal stark schwankend; trotzdem an verschiedenen Orte beobachtbar.

Mikroskopische Beschreibung

DS: 431, 163, 160, 3C, 4C, 5C

Quarz                    30-50%

Plagioklas             0-10%

Biotit                    5-20%

Muskowit             10-20%

Granat                  5-10%

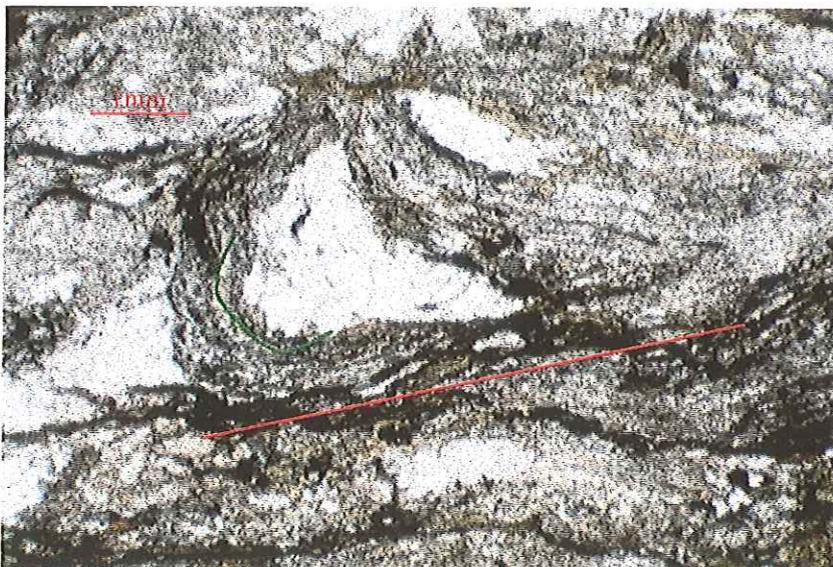
Chlorit                 0-35%

Akzessorien:        Rutil, Ilmenit, Titanit, Chloritoid, Graphitbelag.

Gefüge:             Porphyroblastisch bis Lepidoblastisch.

Beschreibung der einzelnen Komponenten:

- Quarz:** weist oft einen Wechsel von grobkörnigen Lagen (etwa 0,25 mm grosse Körner) und feinkörnigen Lagen (bis etwa 0.05 mm grosse Körner) auf. Poikiloblastische Strukturen sind vorhanden.
- Biotit:** 2 Generationen vorhanden. Die erste, präkinematisch zur Hauptschieferung, wird von der letzteren verfaltet. Die zweite ist synkinematisch und daher hauptschieferungsparallel. Oft ist eine Krenulation sichtbar. Die Abbildung 3 zeigt die Verfaltung der Biotit.
- Muskowit:** Sie weist die selbe Genese als Biotit. Nicht in allen DS wurde aber Muskowit 1 beobachtet.
- Chlorit:** Sie weist die selbe Genese als Biotit.
- Granat:** Weist zwei Generationen auf. Die Erste ist synkinematisch wobei das Porphyroblast elizitische Strukturen aufweist. Die zweite ist dann postkinematisch, weil das Mineral eine ausgeprägte Form aufweist und schneidet ausserdem die Glimmerminerale der Hauptschieferung.



*Abbildung 3: Die erste Biotitgeneration (grüne Linie) wird verfaltet und von der zweiten Biotitgeneration (rote Linie) umgehüllt. Sie wird in der Hauptschieferungsrichtung eingeregelt.*

### III) Staurolithführender Granat- Zweiglimmergneis

Diese Lithologie tritt insbesondere im oberen Teil des Gebietes - am Motto della Fame und dem Motto Fornale (695 000/141 120 bzw. 695 310/141 700) - auf. Die Strukturen sind allerdings ähnlich zu den obengenannten Lithologien.

#### Mikroskopische Beschreibung

DS: 143

Quarz	35%
Plagioklas	0-5%
Alkalifeldspat	0-5%
Biotit	15-20%
Muskowit	15-20%
Granat	15%
Staurolith	1-5%

Akzessorien: Rutil, Ilmenit, Titanit.

Gefüge: Porphyroblastisch bis lepidoblastisch.

#### Beschreibung der einzelnen Komponenten:

Quarz: Kleiner als 0,25 cm, poikiloblastisch.

Biotit: Drei Generationen sichtbar.  
 Biotit 1: gefaltet in etwa isoklinale Falten, sie werden an den Rändern von Biotit 2 geschnitten.  
 Biotit 2: bildet die Hauptschieferung.  
 Biotit 3: überwächst die Hauptschieferung.

Muskowit: Weist zwei Generationen, die dem Biotit 1 und 2 entsprechen. Kein Überwachsen von Muskowit feststellbar.

- Granat: Mineralien zwischen 0,2 und 0,5 mm gross. Er ist postkinematisch zur Hauptschieferung und überwächst den Staurolith. Wahrscheinlich als letztes Mineral gewachsen.
- Staurolith: Er überwächst die Hauptschieferung und bildet schöne Einsprenglinge im mm-Bereich. Er ist präkinematisch im Bezug zum Granat, postkinematisch zur Hauptschieferung.

### 3.2.4 Glimmerschiefer

Die Glimmerschiefer liegen im Gebiet oberhalb von Cambleo (nördlicher Teil) und oberhalb von Piano del Monte (nach Süden).

Die Glimmerschiefer unterscheiden sich von Paragneisen hauptsächlich wegen ihres hohen Glimmergehaltes. Sie weisen darum eine grosse Verwitterung, also eine rostigbraune Farbe auf. Auf den ausgeprägten Schieferungsebenen ist meistens Krenulation in 1 cm lange Bereich erkennbar. Granat-, Staurolith- und Disthenporphyroblasten kommen meistens vor.

#### Mikroskopische Beschreibung

DS: 140, 261 A, 320, 105, 261

Quarz	5-45%
Plagioklas	0-15%
Alkalifeldspat	0-10%
Biotit	5-35%
Muskowit	25-35%
Hornblende	0-5%
Epidot	0-10%
Granat	0-15%
Staurolith	0-10%
Disthen	1-5%

Akzessorien: Rutil, Ilmenit, Titanit.

Gefüge: Granoblastisch bis lepidoblastisch.

Beschreibung der einzelnen Komponenten:

Quarz: Kleiner als 0,25 cm, poikiloblastisch.

Plagioklas: Kleiner als 0,25 cm, poikiloblastisch. syn- bis postkinematisch zur Hauptschieferung.

Biotit: 3 Generationen sind in den Dünnschliffen erkennbar.  
Biotit 1 wird von der Hauptschieferung gefaltet.  
Biotit 2 ist parallel zur Hauptschieferungsrichtung.  
Biotit 3 überwächst die schon vorhandenen Generationen und kommt selten vor.

Muskowit: 3 Generationen vorhanden.

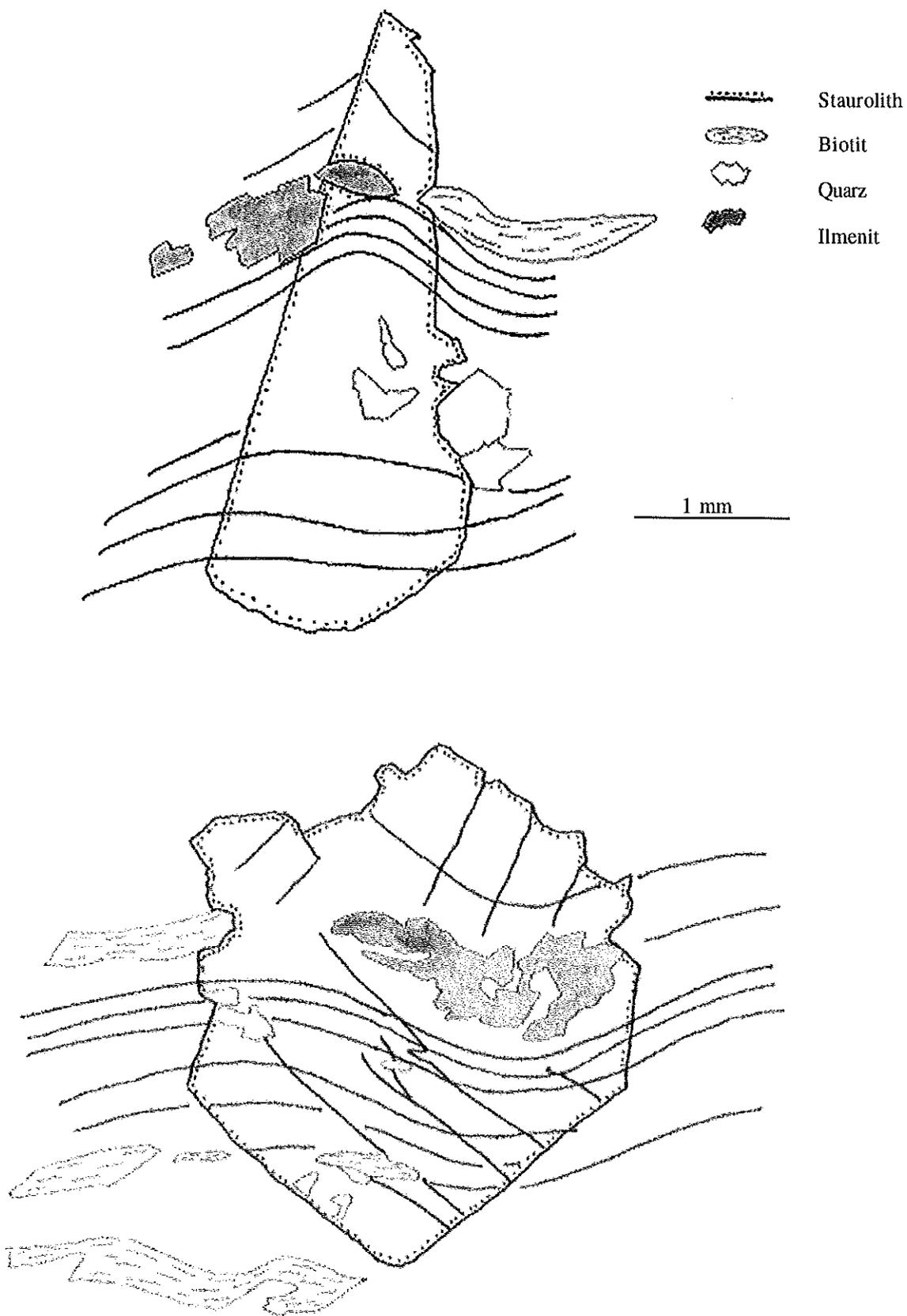
Granat: Die erste Granatgeneration ist präkinematisch zur Hauptschieferung und wird von Biotit 2 umgeben. Diese Generation ist normalerweise 3 bis 4 mm gross.  
Die zweite Generation ist postkinematisch und wächst auf den anderen Mineralien, sogar Muskowit 3. Das bedeutet, dass die Granate sehr spät gewachsen sind.

Staurolith: Er ist syn- bis postkinematisch. Im DS 320 wächst er über Muskowit 2 und ist daher postkinematisch.  
Die Kristalle sind bis 6 mm lang und 2 mm breit (Abb.4)

Epidot: Prä- bis synkinematisch.

Hornblende: Prä- bis synkinematisch.

Abbildung 4: Staurolith mit elizitischen Strukturen



### 3.2.5 Rüsceda Gneis (Alkalifeldspat- Zweiglimmergneis)

Der Rüsceda Gneis ist ein feinkörniges, homogenes, massiges Gestein. Falten sind deswegen schlecht erkennbar, trotzdem ist die Schieferung oft wegen brüchigem Charakter ausgeprägt. Sowohl die Schieferung als auch die Brüche sehen glatt und gerade (ausgeprägt) aus.

Makroskopisch betrachtet enthält er einen hohen Anteil an Quarz, Plagioklas und Glimmer, was ihm eine helle Farbe verleiht. Granate sind manchmal in kleine Linsen sichtbar.

Im Feld tritt er unterhalb der Alpe Arena als kleiner, isolierter Aufschluss auf, sowie bei Agrei di Fuori (143 750/139 900).

#### Mikroskopische Beschreibung

DS: 3, 56, 60, 67, 69, 419, 425

Quarz	25-50%
Plagioklas	5-35%
Alkalifeldspat	0-25%
Biotit	5-20%
Muskowit	5-25%
Chlorit	0-20%
Epidot	0-20%
Granat	0-10%

Akzessorien: Rutil, Ilmenit, Titanit, Chloritoid. Manchmal auch Turmalin.

Gefüge: Granoblastisch bis porphiroblastisch alterniert mit lepidoblastisch.

#### Beschreibung der Mineralien:

Quarz: Man beobachtet oft feinkörnige Lagen, bestehend aus 0,2 bis 2 mm grossen Körner. Die Struktur ist poikiloblastisch.

- Plagioklas:** Korngrösse bis 0,2 mm; ausnahmsweise bis 1,5 mm. Oft wächst Serizit auf den Kristallen.
- Alkalifeldspat:** Korngrösse bis 0,2 mm.
- Biotit:** Biotit 1 ist präkinematisch, Biotit 2 ist synkinematisch zur Hauptschieferung, Biotit 3 ist postkinematisch und wächst als einzelne Blätter auf den anderen Generationen. In den Dünnschliffen mit granoblastischem Gefüge ist der Glimmer als einzelne Blätter enthalten.
- Muskowit:** Es wurden zwei Generationen beobachtet. Eine prä- bis synkinematische, die wie die Hauptschieferung eingeregelt ist. Die Andere, postkinematisch, überwächst die Erste.
- Chlorit:** Er wurde nur in einem Schliff beobachtet und entstand wahrscheinlich als Biotitumwandlung; die Grenzen zwischen den beiden Mineralien sind oft nicht scharf.
- Epidot:** Die Korngrösse dieser Mineralien beträgt etwa 0,3 mm. Es sind 2 Generationen beobachtbar:  
Epidot 1 ist prä- bis synkinematisch und weist eine Einregelung der Kristalle parallel zur Hauptschieferungsrichtung. Epidot 2 überwächst die anderen Mineralien schräg zur Hauptschieferung und ist dazu postkinematisch.
- Granat:** Korngrösse: 0,2 bis 0,4 mm.  
Zwei Generationen: Granat 1 ist prä- bis synkinematisch. Granat 2 ist postkinematisch.

### 3.2.6 Alpigia Gneis (Epidotführender Biotit- Hornblendegneis)

Diese Gesteine treten v.a. an der rechten Seite des Maggia Tals auf. Von Süden nach Norden wurde ein Übergang (Abbildung 5) von Amphibolitlagen im dm-Bereich in Amphibollinsen beobachtet. Ein weiteres Übergang ist um 1060 m vorhanden: das Gestein wird feinkörniger und verliert die Amphibollinsen. Beide sind gleich wie die Hauptschieferung orientiert - d.h. nach Osten einfallend -, so dass sie gut erkennbar sind.

Die Farbe von solchen Gesteinen schwankt sehr stark je nach Quarz- bzw. Amphibolitgehalt.

Abbildung 5: Übergang von Amphibolreichen Lagen (roter Pfeil) in Amphibolreichen Linsen (blauer Pfeil), um 965 m am Maggia Fluss.



#### Mikroskopische Beschreibung:

DS: 266, 266A

Quarz	25-30%
Plagioklas	10%
Biotit	10-20%
Hornblende	25-35%
Epidot	10%
Chlorit	5-10%

Akzessorien: Rutil, Ilmenit, Titanit.

Gefüge: Porphyroblastisch.

Beschreibung der Mineralien:

Quarz: Körner sind kleiner als 0,25 mm. Poikiloblastisch.

Plagioklas: bis 0,25 mm gross.

Biotit: 2 Generationen: Biotit 1 ist prä- bis synkinematisch (parallel zur Haupschieferung), während Biotit 2 postkinematisch ist und später gewachsen als Amphibol 2.

Hornblende: Es handelt sich um grüne Hornblende.  
Man unterscheidet 2 Generationen. Hornblende 1 wird von Biotit 1 umgehüllt und ist also prä- bis synkinematisch. Es handelt sich um bis 3 mm grosse Amphibole (Abbildung 6), die Quarz, Biotit und Ilmeniteinschlüsse enthalten. Hornblende 2 überwächst Biotit 1, nicht aber Biotit 2. Sie ist darum postkinematisch zur Haupschieferung und besteht aus kleineren Amphibolen (bis 0,1 mm gross).

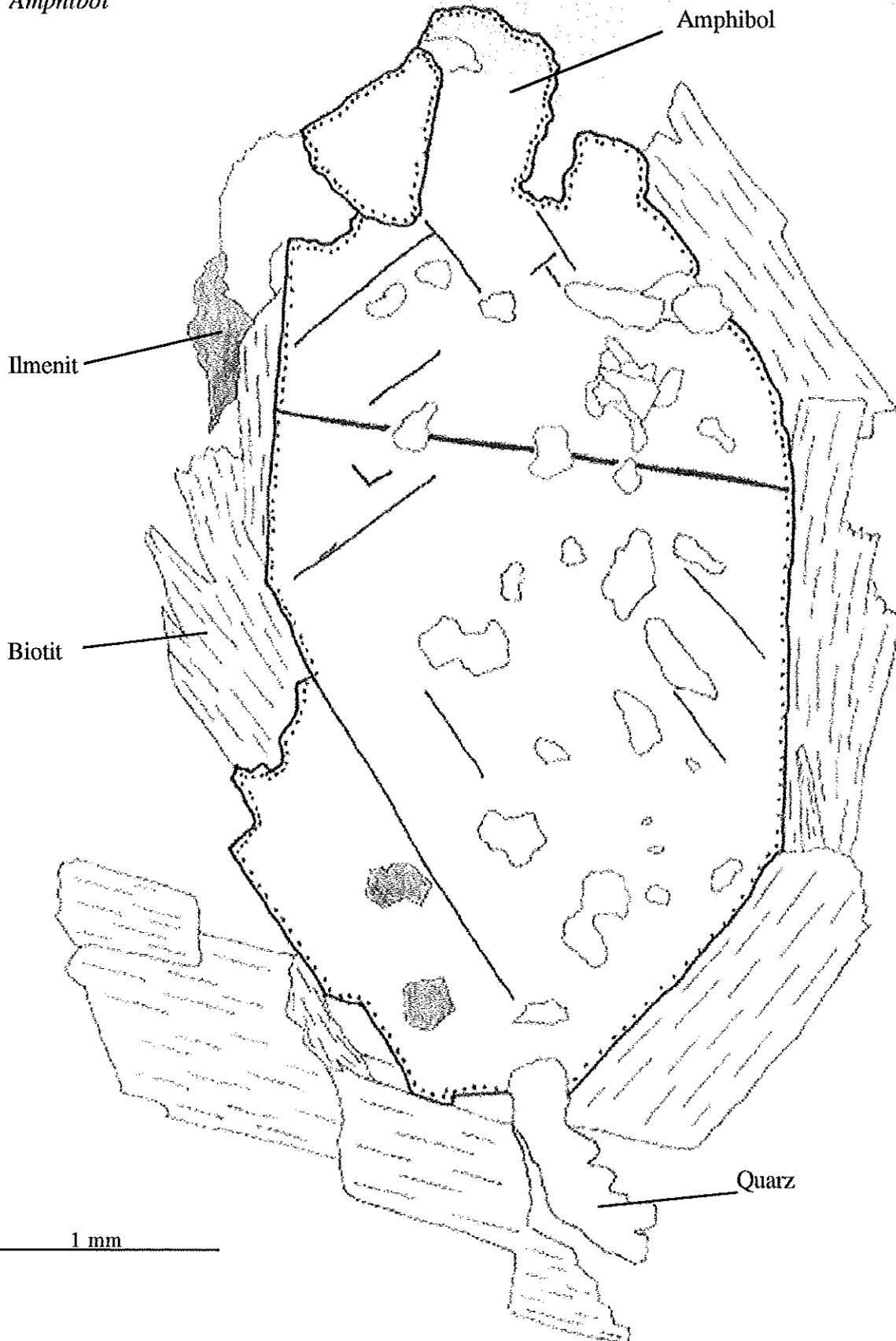
### 3.2.7 Ganna Gneis (Biotitführender Alkalifeldspat- Muskowitgneis)

Die Ganna Gneise zeichnen sich durch ihre grossen Alkalifeldspat-Augen aus. Oft weisen sie rötliche Farbe auf. Im makroskopischen Bereich wurden manchmal Rauchquarkristalle im cm-Bereich beobachtet.

Es handelt sich um massige, porphyrische Gesteine, die oft von langen, offenen, glatten Klüften geschnitten werden. Falten sind wegen diesen Eigenschaften nicht beobachtbar und die Schieferung ist nur wo sie brüchig ist sichtbar.

Im Gebiet tritt die Lithologie nur oberhalb des Sackungsgebietes auf, etwa um 2200 m.ü.M., und bildet das "Massiv" des Piz Rüscada.

Abbildung 6: präkinematischer Amphibol



Mikroskopische Beschreibung

DS: 177; 179

Quarz	10-30%
Plagioklas	20-40%
Alkalifelspat	20-40%
Biotit	1-10%
Muskowit	10-20%
Granat	0-10%

Akzessorien: Rutil, Ilmenit.Gefüge: Porphyroblastisch.Beschreibung der Mineralien:

**Quarz:** Körner sind kleiner als 0,25 mm in feinkörnigen Lagen, sie können auch 2 mm erreichen in grobkörnigen. Poikiloblastische Struktur.

**Plagioklas:** Feinkörnig: bis 0,25 mm; grobkörnig: bis etwa 2 mm.

**Alkalifelspat:** Grosse Kalifelspate können bis 5 mm gross werden. Sie weisen oft Serizitwachstum sowohl in Richtung der Spaltbarkeit als auch in der Hauptschieferungsrichtung auf, wie auf der Abbildung 7 sichtbar ist.

**Biotit:** Man unterscheidet 2 Generationen: eine präkinematische (Biotit 1) und eine synkinematische (Biotit 2).

**Muskowit:** Idem wie Biotit.

**Granat:** Bis 2,5 mm gross. Enthält Einschlüsse von Quarz und Muskowit. Da er von Muskowit 2 (synkinematisch) umgehüllt wird, ist er präkinematisch.



Abbildung 7: Serizitwachstum auf dem Plagioklas. Der rote Pfeil zeigt das Wachstum in der Zwillingslamellenrichtung, der blaue Pfeil in der Hauptschieferungsrichtung

### 3.2.8 Amphibolith

Im Gebiet treten oft Amphibolitlinsen auf, die sich insbesondere im Randgebiet der Sackung befinden.

Makroskopisch gesehen enthalten diese Linsen Amphibole und Biotit, manchmal auch Granate. Oft ist eine Wechsellagerung mit Quarz und/oder Calcit sichtbar (Handstück 1Cn, 1C). Falten und Schieferung sind ausgeprägt.

#### Mikroskopische Beschreibung

DS: 1Cn, 1C, 7C

Quarz	20-30%
Plagioklas	1-10%
Biotit	5-10%
Hornblende	20-60%
Aktinolith	0-5%
Epidot	1-5%
Calcit	0-10%
Granat	0-5%
Chlorit	0-10%

Akzessorien: Muskowit, Disthen, Rutil, Ilmenit, Titanit.

Gefüge: Porphyroblastisch bis lepidoblastisch.

Beschreibung der Mineralien:

Quarz: Quarz bis 0,1 mm gross; poikiloblastisch. Oft Mikrocracks vorhanden.

Plagioklas: Idem wie Quarz.

Biotit: 2 Generationen vorhanden. Biotit 1 ist prä- bis synkinematisch. Biotit 2 ist postkinematisch.

Hornblende: Bis einige mm gross. Enthalten oft Quarz- und Glimmereinschlüsse. Sie sind prä- bis synkinematisch.

Aktinolith: Weist schöne strahlige Kristalle, die an der Grenze zwischen Calcit und Quarz wachsen. Die Abbildung 8 zeigt ein schönes Beispiel dafür.

Epidot: Bis 0,2 mm gross, enthält Quarzeinschlüsse. Prä- bis synkinematisch.

Calcit: Calcitkristalle bis einige mm gross bilden zusammen Calcitaugen.

Granat: Granatkristalle sind bis 0,5 mm gross. Es wurden 2 Generationen beobachtet. Granat 1 ist prä- bis synkinematisch und weist elizitische Strukturen. Granat 2 ist postkinematisch und weist schöne, ausgeprägte Kristallformen.

- Chlorit: 2 Generationen. Chlorit 1 ist prä- bis synkinematisch zur Hauptschieferung, während Chlorit 2 postkinematisch entstanden ist.
- Ilmenit: Postkinematisch zu Chlorit 2.
- Rutil: Postkinematisch zu Chlorit 1.

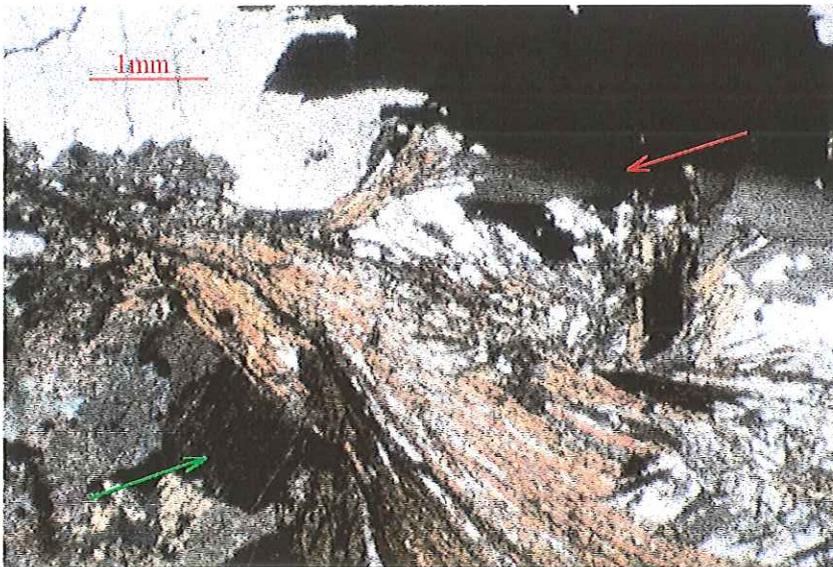


Abbildung 8: Aktinolithwachstum an der Grenze zwischen Quarz (roter Pfeil) und Calcit (grüner Pfeil).

### 3.3. ZUSAMMENFASSUNG

Die Daten aus der mikroskopischen Beschreibung werden in den Tabellen 1 und 2 dargestellt.

Alle Lithologien weisen auf einen Zyklus von Metamorphose hin: anhand des Wachstums von Mineralien wie Granat und Staurolith wird die prograde Metamorphose sichtbar; während das Wachstum von Serizit auf Plagioklas und von Aktinolith auf Dolomit und Quarz die retrograde Metamorphose anzeigt. Die Lithologien weisen einen maximalen grünschiefer- bis amphibolithfaziellen Metamorphosegrad auf, bei dem sich die Schieferung wahrscheinlich gebildet hat.

Dünnschliff		Prozent Mineralien												
		Qz	Plag	Akfsp	Biotit	Musk	Gra	Dist	Stau	Chlor	Hornbl	Epidot	Calcit	Aktinolith
Aktinolithführender Kalkschiefer	2C	50									<1		40	10
Aktinolithführender Kalkschiefer	8C									<1		1,5	45	45
Amphibolithführender Kalkglimmerschiefer	5R	5;10	15;20		15	10;15					30	5;10		
Amphibolith	7C	30	10		10	5;10	1,5			10	20	1,5	10	
Amphibolith	1Cn	20;25	10		10	<1				10	25;30	5	10	
Amphibolith	1C	20	<1		5;10		1,5	<1			60	1,5		
Amphibolreicher Gneis	266A	25	10		20					10	25	10		
Amphibolreicher Gneis	266	30	10		10					5	35	10		
Ganna Gneis	179	30	20	20	10	20								
Ganna Gneis	2	10	40	40	<1	8;10			2					
Ganna Gneis	177	20;25	20;25	20;25	<1	20	10							
Glimmerschiefer	261A	25		<1	5;10	25	15	1,5	5;10		1,5	1,5		
Glimmerschiefer	140	5;10	1,5		20	35	15	10	<1			5;10		
Glimmerschiefer	261	45	<1		20;25	20;25				<1		1,5		
Glimmerschiefer	105	40			35	20								
Glimmerschiefer	320	25	15	10	10	20	10	0,5	0,5					
Granat Zweiglimmergneis	160	30	10;15	10;15	15;20	15;20	<1							
Granat Zweiglimmergneis	3C	50			1,5	5;10	1,5			35		<1		
Granat Zweiglimmergneis	4C & 5C	50	1		10	20	1,5			15;20				
Granat Zweiglimmergneis	431	35		20;25	25	1	10;15					<1		
Granat Zweiglimmergneis	163	30	2,5		20;25	20;25	10			10				
Granatführender Kalkglimmerschiefer	1R	20;25	20		20	10	2,3			10	<1	15	2,3	
Granatführender Kalkglimmerschiefer	2R													
Granatführender Kalkglimmerschiefer	4R	30	15		10	30		2,3				10	2,3	
Granatführender Kalkglimmerschiefer	3R													
Marmor	1B					10						5	75	20
Quarzitischer Zweiglimmergneis	451	40	5;10	5;10	20	20								
Quarzitischer Zweiglimmergneis	271	40	20	20	10	10						2		
Rüscada Gneis	56	35	35		15;20	5	1,5							
Rüscada Gneis	67	20	20		5;10	5	10			15;20		15;20		
Rüscada Gneis	3	25	20	15	20	15						5		
Rüscada Gneis	419	30	25	25	5;10	5;10								
Rüscada Gneis	60	60	15		5;10	10	1,5							
Rüscada Gneis	69	35	20-25		15	20-25								
Rüscada Gneis	425	45;50	2,3		10;15	20;25	10							
Staurolithführ.- Granat Zweiglimmergneis	143	35	1,5	1,5	20	15;20	15		5					
Trias Quarzit	6C	70	1,5			10				15				
Trias Quarzit	2B	75	5		5;10	10;15							<1	
Trias Quarzit	1	80			<1	20								

Tabelle 1: Dünnschliff vs Prozent Mineralien

Dünnschliff	Mineralien											
	Plagio	Biotit	Muskow	Granat	Disthen	Stauro	Chlor	Cl.oid	Hbl	Ruti	Epidot	Akt
Aktinolithförender Kalkschiefer	2C											Post
Aktinolithförender Kalkschiefer	8C											Post
Amphibolförender Kalkglimmerschiefer	5R	Syn	Syn		Post					Pre		
Amphibolith	7C	2G:Syn:Post		...Syn			2G:Syn:Post		Syn	Syn	...Syn	Pre
Amphibolith	1C	2G:Syn:Post		Post					Syn	Syn	...Syn	Pre
Amphibolreiche Gneis	266A	2G:Syn:Post	Post				?	2G:Pre:Syn				?
Amphibolreiche Gneis	266	2G:Syn:Post	Post				?	2G:Pre:Syn				?
Ganna Gneis	177	Syn	2G:Pre:Syn	Pre								
Ganna Gneis	179	2G:Pre:Syn	2G:Pre:Syn									
Ganna Gneis	2	2G:Syn:Post	2G:Syn:Post				Post					
Glimmerschiefer	140	Syn...	2G:Syn:Post	3G	2G:Pre:Post	Syn...						Post
Glimmerschiefer	261	2G:Syn:Post	2G:Syn:Post	2G:Syn:Post								
Glimmerschiefer	105	2G:Pre:Syn	Syn									
Glimmerschiefer	261A	3G	2G:Pre:Syn	Syn					Syn...	Syn	...Syn	...Syn
Glimmerschiefer	320	2G:Pre:Syn	3G	Post					Syn...	Post	...Syn	...Syn
Granatförender Kalkglimmerschiefer	1R	2G:Syn:Post	2G:Syn:Post	2G:Syn:Post	2G:Syn:Post	Syn		2G:Syn:Post				...Syn
Granatförender Kalkglimmerschiefer	2R											
Granatförender Kalkglimmerschiefer	4R											
Granatförender Kalkglimmerschiefer	3R											
Granatförender Zweiglimmergneis	3C	2G:Pre:Syn	2G:Pre:Syn	2G:Pre:Syn	Post			2G:Pre:Syn				
Granatförender Zweiglimmergneis	4C & 5C	2G:Pre:Syn	2G:Pre:Syn	2G:Pre:Syn								
Granatförender Zweiglimmergneis	431	3G			Post							
Granatförender Zweiglimmergneis	163	2G:Pre:Syn	Syn	2G:Syn:Post								
Granatförender Zweiglimmergneis	160	2G:Pre:Syn	2G:Pre:Syn	2G:Pre:Syn								
Marmor	1B											
Quarzförender Zweiglimmergneis	451	2G:Pre:Syn	2G:Pre:Syn	2G:Pre:Syn								Pre
Quarzförender Zweiglimmergneis	271	2G:Pre:Syn	2G:Pre:Syn	2G:Pre:Syn								...Syn
Ruscada Gneis	56	2G:Syn:Post	2G:Syn:Post	2G:Syn:Post	2G:Syn:Post							
Ruscada Gneis	60	2G:Syn:Post	2G:Syn:Post	2G:Syn:Post	2G:Syn:Post							
Ruscada Gneis	69	...Syn	...Syn	...Syn	...Syn							
Ruscada Gneis	67	2G:Syn:Post	2G:Syn:Post	2G:Syn:Post	2G:Syn:Post							...Syn
Ruscada Gneis	425	2G:Syn:Post	2G:Syn:Post	2G:Syn:Post	2G:Syn:Post	Pre						
Ruscada Gneis	419	Syn	Syn	Syn								Pre
Ruscada Gneis	3	3G										
Staurolithförender Gran. Zweiglimmergneis	143	3G	2G:Pre:Syn	2G:Pre:Syn	Post	Stau						
Trias Quarzit	6C											
Trias Quarzit	2B	2G:Syn:Post	Syn									...Syn
Trias Quarzit	1	...Syn	...Syn									

Tabelle 2: Dünnschliffe und Entstehung der Mineralien in Bezug auf der Hauptschieferung

G: Granat  
 Pre: Prokristallin; Syn: Synkristallin und Post: Postkristallin; ? : unklar

### 3.4. DISKUSSION

#### **Bündnerschiefer**

Die Bündnerschiefer stellen die oberste stratigraphische Einheit des Penninikums dar, die während des Juras abgelagert wurden. Die Protolithen sollen aus Mergel, Kalk und Sandstein bestehen, die aus dem Walliser Trog - ein euxinisches Becken im Tethys Ozean – stammen [17]

#### **Quartenschiefer (Aktinolith Kalkglimmerschiefer)**

Diese Lithologie befindet sich nach Trümpy [25] im Infrapenninikum. Sie wurde im Keuper (mittlere Ladin bis Rätian) aus einem Ursprungsgestein wie Mergel, Dolomit, Ton und Sandstein abgelagert.

Berchtold [3] erwähnte in seiner Diplomarbeit einige Eigenschaften:

- Nähe zum Kontakt zur Rauhwaacke
- Wechsellagerung von Dolomit und Bündnerschieferartigen Gesteinen
- Grosse Hornblende Porphyroblasten in Koexistenz mit Disthen, Staurolith und Granat in dem Garbenschiefer
- Aktinolith-Dolomit Schiefer

#### **Triasgesteine**

Die Stratigraphie von Trias wurde im Campolungo Gebiet genau untersucht. Bianconi [4] hat die unterstehende Abfolge erkannt:

Rauhwaacken	oberer Trias
Variable Dolomite	mittlerer Trias
Quarzite	unterer Trias

Evaporiten und Sandsteine bilden das Protolith dieser Gesteine.

### **Lithologien mit Paracharakter**

Zu den Paragneisen gehören folgende Lithologien:

- Staurolith-Granat-Zweiglimmergneis
- Staurolith-Granat-Disthen-Zweiglimmergneis
- Quarzitische Zweiglimmergneise
- Glimmerschiefer.

Pelitische, terrigene Sedimente, reich an tonigen- und Quarzkomponenten, wurden im Perm unter ariden Umständen abgelagert. Die Bildung von quarzitischen Zweiglimmergneisen wird nämlich durch intensive Verwitterung bei warmem Klima verursacht.

Die Stoffbänderung deutet auch oft auf den Paracharakter: Berchtold [3] hat nämlich die graduale Wechsellagerung von reinem Quarzit in Zweiglimmergneise durch zunehmendem Glimmeranteil beobachtet. Das gleiche kann auch im nördlichen Teil des Gebietes beobachtet werden (vgl. 3.2.3).

### **Lithologien mit Orthocharakter**

Zu dieser Gruppe gehören die folgenden Lithologien:

- Ruscada Gneis
- Amphibol-Orthogneise
- Ganna Gneise

Der Ganna Gneis stellt eine einzigartige Intrusion dar, der seine Gestalt nicht gewechselt hat und Konkordant mit der Hauptschieferung verläuft [16]. Man vermutet einen Alkaligranit als Ursprungsgestein, der präalpin gebildet wurde; eine bessere Datierung ist aber nicht vorhanden.

Am Kontakt mit dem Staurolith-Granat-Paragneis wurde ein leukokrater, etwa 5 m breite Zug beobachtet (695 230/141 070). Nach Keller [16, p. 18] sind solche Lithologien ehemalige Gänge, die Ganna Gneis schneiden.

Das Ruscada Gneis stammt aus einem aplitischen Zweiglimmeralkalifeldspatgneis

## **Amphibolith**

Der Ursprung der Amphibolithen bleibt unklar. Nach einigen Autoren ist das Vorhandensein einer deutlichen Bänderung der Zeuge für einen sedimentären Ursprung [16]. Nach Buchmann [7] sind die Amphiboliten mit Paracharakter sehr diffus und er vermutet, dass eine Umwandlung von Tonen und Mergeln zur Bildung solcher Gesteine geführt hat.

Trotzdem deuteten die XRF Analysen von Berchtold [3] auf einen kontinentalen Basalt, was einem magmatischen Ursprung entspricht.

## 4. STRUKTURGEOLOGIE

### 4.1. ALLGEMEINE MERKMALE

Teile des heutigen Penninikums wurden von verschiedenen Orogenesen geprägt: die Variszische Orogenese (vor 350 Ma) und die alpine Orogenese (vor 65 Ma). Präpermische Sedimente und granitoidischen Gneisskörper waren bei der variszische Orogenese schon vorhanden und wurden anfänglich von dieser geprägt. Die Deformationsphasen der alpine Orogenese können daher konfus ausssehen. In diesem Kapitel will man die Deformationsphasen untersuchen, die mit der alpinen Orogenese korrelierbar sind. Es eignen sich für diese Untersuchungen Sedimente, die nach der variszische Orogenese aber vor der alpine abgelagert wurden. Trias Sedimente entsprechen diesen Bedingungen: sie wurden genau zwischen der älteren und der jüngeren Orogenese abgelagert.

Andere Autoren - wie z.B. Bianconi [4] - haben die verschiedenen Strukturen schon detailliert kartiert und beschrieben. Bis heute werden 5 verschiedenen Deformationsphasen während der alpinen Orogenese erkannt.

#### Stoffbänderung S0

Oft weisen die Lithologien einen Wechsel der Mineralzusammensetzung. Das ist im dm- bis dekameter Bereich beobachtbar.

#### Deformationsphase D1

Die erste Deformationsphase entspricht dem Anfang der Deckenstapelung. Im Grossbereich sieht man grosse liegende isoklinale Falten. Im Kleinbereich wird die Einregelung von Glimmer einer bestimmten Achse entlang beobachtet

#### Deformationsphase D2

Man erkennt eine isoklinale Verfaltung der früheren Phase. Sie sollte das Weitergehen der Deckenstapelung darstellen. Bei dieser Deformationsphase hat sich die Hauptschieferung gebildet, die im Gebiet nach Osten mit etwa 45° fällt.

### Deformationsphase D3

Diese Deformationsphase erkennt sich an einem neuen Wachstum von Glimmer auf den schon eingeregelt Mineralien. Die Glimmerminerale der Haupschieferung werden also mit neuen, schräg eingeregelt Kristallen, überwachsen.

### Deformationsphase D4

Es entsteht eine Krenulation auf den Schieferungsflächen mit FA in richtung N-S, planar; und FAE Nach W fallend. Diese Struktur ist insbesondere auf Paragneise gut geprägt.

## **4.2. BEOBACHTETE DEFORMATIONEN**

Im Diplomgebiet konnten drei Deformationen erkannt werden, welche hier mit einer eigenen Bezeichnung angegeben werden: die erste Deformation - D1 - entspricht einer Falte mit östlich einfallenden Faltenachsebenen sowie der Schieferung; die Zweite - D2 - der Krenulation und die Dritte - D3 - einer nach Westen einfallenden Falte.

### **4.2.1 Erste Deformationsphase D1**

Es handelt sich um isoklinale Falten im cm- bis dm- Bereich, die Faltenachsen und Faltenachsebenen nach Osten mit etwa 45° Einfallswinkel aufweisen.

Sie sind insbesondere an den Aufschlüssen der Trias Quarzit bei 2000 m gut beobachtbar, sowie bei den Amphibolitaufschlüssen bei 1750 m Kote im Sackungsgebiet. Auf der Abbildung 9 ist die Falte gut beobachtbar.

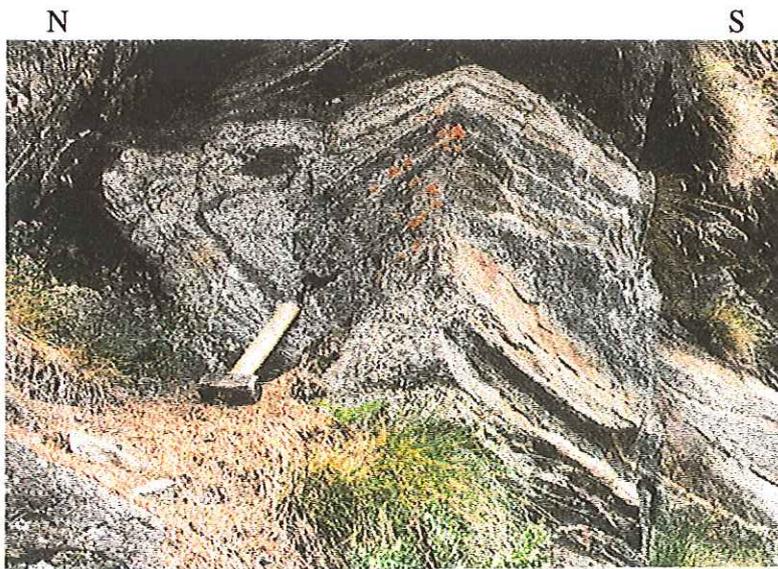


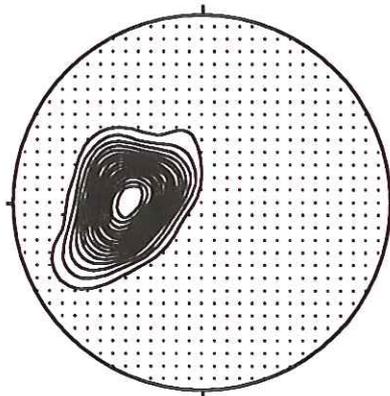
Abbildung 9: zeigt die Falte mit FA und FAE nach Osten einfallend. Sie ist hier versackt  
 FA: 90/20, FAE: 100/20, liegt aber parallel zur Schieferung.  
 (694 550/141 400)

Die Lage dieser Faltengeneration liegt parallel zur Hauptschieferung. Beide sollten zur selben Deformationsphase gehören.

Die Schieferung ist gut erkennbar im cm- (Glimmerschiefer) bis m- Bereich (v.a. in den Orthogneise) und fällt nach Osten mit 30 bis 60° Einfallswinkel, wie im unterstehenden Stereoplot sichtbar ist (Abbildung 10).

Schieferungen Anstehend

Abbildung 10



48 Messungen, untere Halbkugel

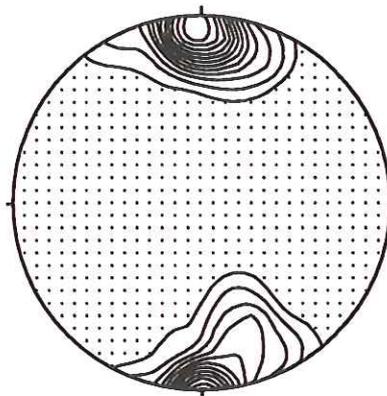
Weitere Details für die Orientierung der Schieferung im Sackungsgebiet werden im Kapitel 7.4 angegeben. Auf der Schieferungskarte (Beilage 3) ist ausserdem das Verhalten der Schieferungen im Gebiet sichtbar.

### 4.2.2 Zweite Deformationsphase D2

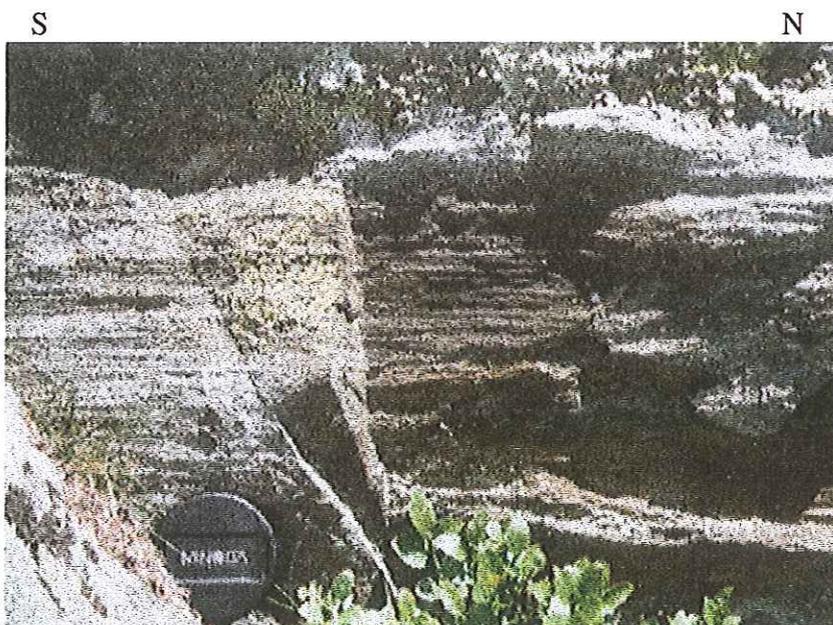
Diese zweite Deformation D2 besteht aus einer Krenulation (Abbildung 12), die auf der Schieferungsebene sichtbar ist. Sie ist insbesondere auf den weichen Glimmerschiefern gut geprägt. Die Faltenachse (Abbildung 11) verläuft flach in Richtung NS und die FAE in Richtung W.

*Faltenachse der Krenulation*

*Abbildung 11*



*28 Messungen*



*Abbildung 12:  
Krenulationen auf  
einem Glimmer-  
schiefer. (694  
230/140 380)*

### 4.2.3 Dritte Deformationsphase D3

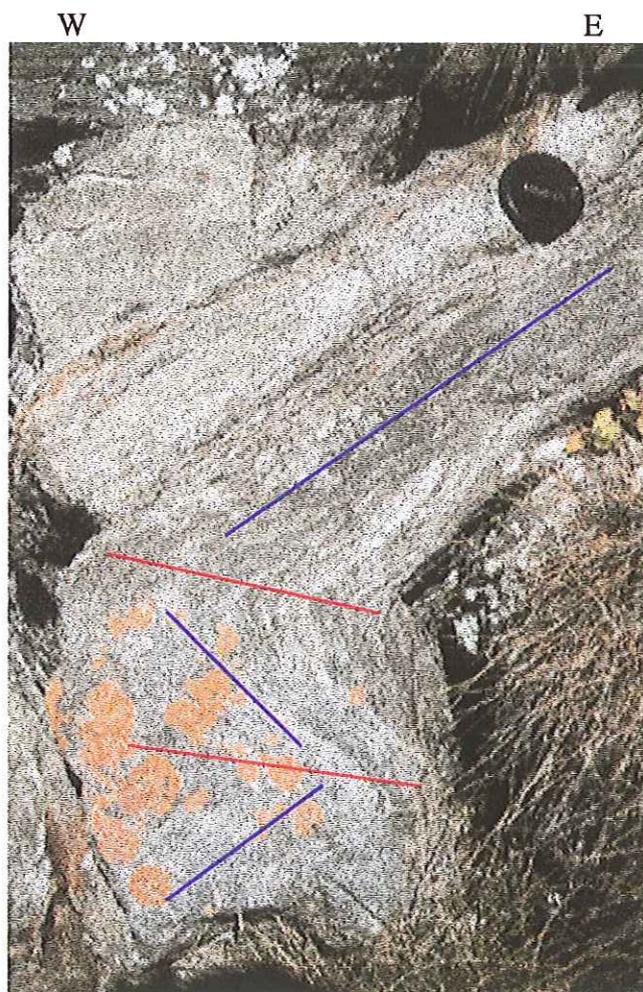
Weiter wird die Schieferung von einer späteren Falten- generation (flachliegende FA mit N-S Orientierung; FAE nach Westen fallend) verfaltet. Es scheint so, dass die Krenulation parallel zur Schieferung verläuft und dass sie von dieser jüngeren Falte überprägt wird.

Das Vorhandensein von dieser Deformationsphase ist auf das Sackungsgebiet beschränkt, was nicht erlaubt, eine genaue Aussage über die Orientierung zu folgern. Man sieht nämlich auf der Abbildung 13, dass die Schieferung nach Westen wegen Verkippung fällt.

*Abbildung 13: Polyarmonische Falte (rot), die die Schieferung (blau) überprägt. FA 008/10; FAE 094/08. Die FAE nach Osten einfallend ist von der Verkippung im Sackungs- bereich verursacht.*

*Man vermutet, dass sie nach Westen fallen sollte, weil die Schieferung auf diesem Aufschluss um etwa 90 ° verkippt ist.*

*(694 350/140 950)*



## 5. GESCHICHTE DER SACKUNG

Die riesige postglaziale Sackung ist seit langem wegen ihren plötzlichen Bewegungen bekannt. Die wichtigsten dramatischen Ereignisse werden im folgenden erwähnt - Vgl. G. Valenti [27] -.

12 September 1570: Der Maggia Fluss wurde in der Nähe von Cambleo gestaut, so dass sich ein natürlicher Damm bildete. Als Folge des Damabbruchs entstand ein grosser Murgang, der das Dorf von Peccia – dass einmal auf der rechten Seite des Maggia Fluss gebaut war - stark schädete. Dieses Ereigniss wurde von einem Zeuge im Detail beschrieben.

1757, 58 und 60. Neue gefährliche Bewegungen, von Hochwasserereignissen verursacht, betrafen den instabilen Hang. Das Dorf von Peccia wurde nochmals zerstört.

Am Ende einer dieser Katastrophen wurde Peccia auf der rechten Seite des Flusses gebaut, genauer unter dem grossen anstehenden Felspaket von Piano del Monte (693 550/140 530), um einen besseren Schutz von neuen Ereignisse zu haben. Landholt [18] schrieb: *"Peccia était autrefois située entre le ruisseau de ce nom et le Fusio, au milieu de belles prairies. Les habitants en furent chassé, il y a un siecle environ, par le cône du tourment, qui ne commença qu'alors à devenir redoutable, sans doute à la suite des déboisements. Ils construisirent le village actuel derrière un grand rocher, où ils se croyaient en sécurité.*

1834 Immer als Folge von Hochwasserereignissen löste sich ein grosser Bergsturz innerhalb der Sackung aus. Das Dorf von Peccia, im Gegensatz zu den Erwartungen, wurde nochmals beschädigt. Signorelli [24] hat eine detaillierte Beschreibung geführt. In einen Abschnitt behauptet er: *Celebri furono poi le inondazioni di Peccia degli anni 1834, 1839 und 1840. Nel corso dell' ultima vennero messe fuori d'uso cimitero e chiesa. (...) Disastri vide anche il 1855. E ancora più celebre fu l'inondazione del 1868, 27 settembre e 4 ottobre, che ridusse la valle a un deserto, mentre la progettata bonifica (...) non potè mai farsi.*

Nach der Auflösung des Bergsturzes wurde der Rand kartiert: es wurde nämlich eine Schutzmauer gebaut, um die Schattenzone des grossen anstehenden Hanges zu erweitern. Landholt [18] behauptete nochmals: *Ce qu' il y a de dangereux pour*

*Peccia, c'est le grand ravin qui s'est formé dans le sol défoncé, derrière le rocher devant lequel le village se trouve maintenant. Ce ravin<sup>1</sup>, ordinairement à sec, est le chemin par lequel des terribles débâcles descendent après des fortes averses, et se dirigent toujours vers le village (...) Ce qu'il y aurait de mieux c'est de faire un chenal long 500 mètres entre le rocher et le Fusio...*

Später wurden noch verschiedene kleinere Oberflächenereignisse (Erosionskanten) beobachtet.

11. November 1951 Die Strasse zwischen Peccia und Fusio wurde für eine gewisse Periode geschlossen. *Corriere del Ticino*, 13. November 1951.

26. November 1962. Wegen Blockschlag wurde ein Haus bei San Carlo di Peccia beschädigt. *Corriere del Ticino*, 3. Dezember 1962.

7 August 1978. Die Wasserleitung von Peccia wurde wegen Hochwasser beschädigt.

1993 wurden wieder beträchtliche Bewegungen beobachtet.

Oktober 1993. Wegen Hochwasserereignissen - 2 m Niederschlag in einem Monat - hat sich das ganze Sackungsgebiet etwa um ein Meter talwärts verschoben. Entstehung einer perimetrale Störung im oberen Teil (Abbildungen 21 und 22) und einige Schäden an den Strassenkehren von Peccia.

Seitdem wird die ganze Rutschmasse vom geologischen Institut des Kantons Tessin beobachtet. Jährlich werden Teodolithmessungen im obersten Teil der Sackung durchgeführt.

Sommer 1994. Etwa 1000 m<sup>3</sup> sind am östlichen Rand der perimetralen Störung um 1900 m Kote gerutscht.

---

<sup>1</sup> Es handelt sich um Ri del Pizzone (693 400/140 680)

## 6. MORPHOLOGIE

In diesem Kapitel werden die morphologischen Eigenschaften der Sackung beschrieben, die dank der Kartierung und der Beobachtung von Luftbildern evidenziert wurden. Man wird zuerst die verschiedenen morphologischen Gebiete allein analysieren und am Ende eine allgemeine Beschreibung angeben.

### 6.1 EINLEITUNG

Sackungen sind Hanginstabilitäten, die sich durch zwei Haupteigenschaften zeichnen: einerseits die langsame Bewegung, normalerweise im mm- bis dm/Jahr Bereich und andererseits das riesige Volumen, das i.a. im Kubikmeter Bereich liegt [6]. In anderen Worten bewegt sich eine sehr grosse Fläche solidarweise und langsam talwärts, so dass eine gültige Faustregel behauptet, dass das betroffene Volumen riesig im bezug auf die Bewegung sei [6].

Eine solche Lage wird vom Vorhandensein einer tiefen potentiellen Gleitfläche - i.a. 50 bis einige hundert Meter tief - bedingt, die meistens an der Oberfläche nicht beobachtet wird; trotzdem können "natürliche Aufschlüsse" bei Bächen, jüngeren Bergstürzen, usw. entstehen.

Verschiedene Theorien wurden über die Dynamik von Sackungen formuliert.

Einige Autoren sind der Meinung, dass Sackungen nur eine tiefe Deformation - ohne tiefe Gleitfläche - repräsentieren und ihre Bewegung von einer Expansion des Hanges - oft durch glaziale Erosion verursacht - bedingt wird. Zischinsky [30] vergleicht das Verhalten von Sackungen zu demjenigen eines Gletschers, quasi eine plastische Verformung. Die Bewegungsgeschwindigkeit soll dann an der Oberfläche maximal sein und allmählich im Untergrund abnehmen.

Nach Noverraz [21] sehen aber solche Erklärungen nicht plausibel aus, indem es sich fast immer um eine Beschreibung handelt, die nicht geprüft wird. Er beweist dann, dass Sackungen sich einer einzigen Gleitfläche oder verschiedenen unabhängigen Diskontinuitäten entlang bewegt. Selten sind nämlich die Fälle, wo eine wirkliche plastische Verformung im Sinn von Zischinsky [30] stattfindet.

Die obengenannte Unklarheit entstand, da die *Gleitfläche* meistens nicht sichtbar ist: natürliche Aufschlüsse an Bächen oder an jüngeren Bergstürzen treten selten

auf. Heutzutage werden dazu seismische Profile durchgeführt und Bohrlöcher (v.a. Inklinometern) gelegt – z.B. beim Rutschhang von Bern -.  
Am meisten wurde das Vorhandensein einer oder mehreren Gleitflächen festgestellt [21], selten weisen Ereignisse eine rein plastische Verformung.

Die Entdeckung einer Gleitfläche hatte aber ein neues Problem verursacht: Zischinsky [30] hatte die Bezeichnung "Sackung" als Erster gebraucht, um eine plastische Verformung des Untergrundes zu bezeichnen, die sich mit typischen Charakteristiken – Gegensteigungen, Nackentälchen - an der Oberfläche zeigt. Andere Autoren haben dieselben oberflächlichen Merkmale an anderen Beispielen erkannt, so dass sie das Phänomen als Sackungen beschrieben. Spätere Untersuchungen in der Tiefe haben aber das Vorhandensein von Gleitflächen gezeigt; ist also die Bezeichnung "Sackung" heutzutage noch gültig?

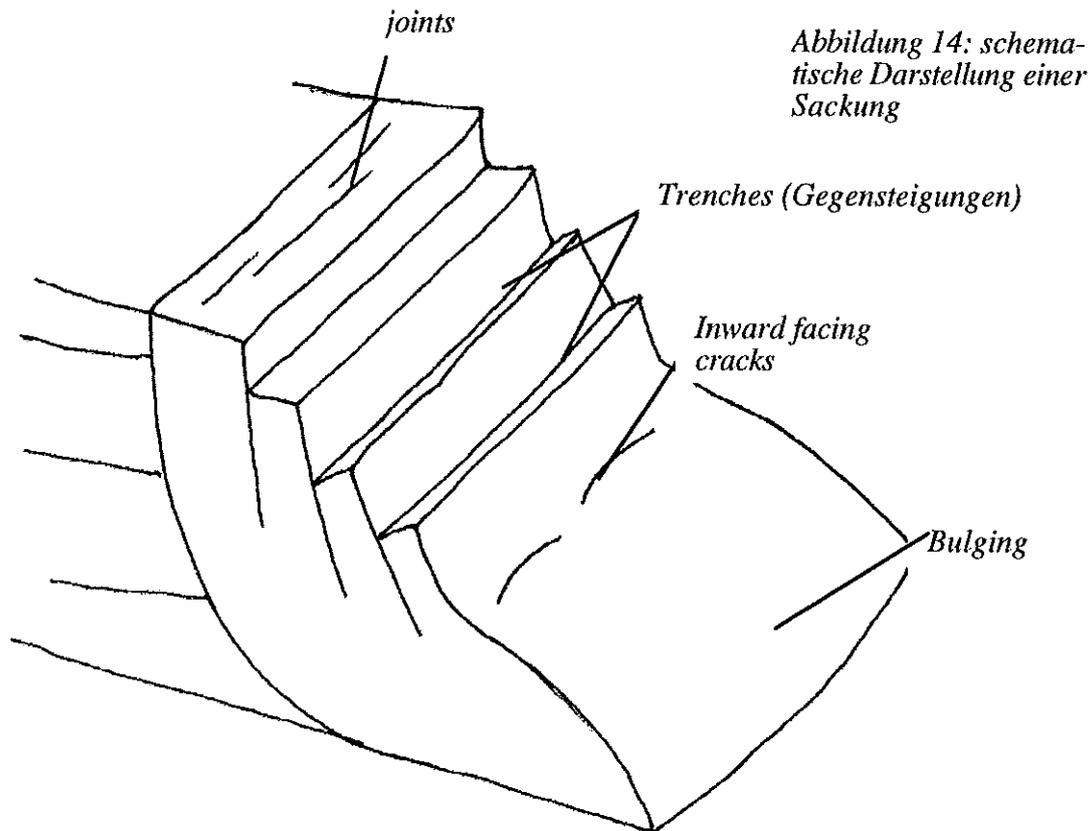
Man kann das Problem lösen, indem der Prozess als zeitabhängig betrachtet wird. Die meisten Sackungen entwickeln sich langsam zuerst als plastische Deformation des Untergrundes, bis dann ein *point of no return* erreicht wird. An jenem Punkt wird eine schnellere und plötzlichere Bewegung registriert und ein Bergsturz kann sich entwickeln [10]. Die Abbildung 15 zeigt die drei möglichen Entwicklungsstadien.

#### Morphologische Merkmale einer Sackung

Nach Brunson et al. [6] unterscheidet man einen hangenden Teil, wo normalerweise extensionale Elemente beobachtet werden – *zone of depletion* -, und einen liegenden Teil, wo kompressive Elemente auftreten – *zone of accumulation* -. Näher betrachtet entstehen in der *zone of depletion* die typischen Gegensteigungen - *countersloping* -, Nackentälchen – *troughs* -, Stufen [1] – *Escarpements* -, Gratverdoppelungen - *double ridges* -, Gratversetzungen – *ridge depressions* -, Klüfte – *joints* -, Graben – *trenches* -.

In der *zone of accumulation* wird normalerweise eine Aufwölbung – *Stirn, bulging* - festgestellt, die sich bruchlos verformt. Die Bildung von morphologischen Merkmalen wie Gegensteigungen sind im extensionalen Teil fast immer zu jüngeren Ereignissen - z.B. Bergstürze - korrelierbar [21].

Auf der Abbildung 14 kann die bedingte Morphologie beobachtet werden.



Die Morphologie von Sackungen wird durch den lithologische Charakter im Untergrund, sowie durch das Entwicklungsstadium bedingt [10], wie auf der Abbildung 15 sichtbar ist. Zeichnung 1 entspricht dem *Anfangsstadium*. Die Morphologie ist noch nicht durch die Massenbewegung geprägt worden: man erkennt einige Gegensteigungen im oberen Teil sowie eine starke Verklüftung der Felswände.

Bei dem *Zwischenstadium* (Zeichnung 2) werden grabenähnliche Strukturen im oberen Teil häufiger. Im unteren Teil kann man eine weitgehende Denudation der steilen Felspartien und die Bildung von mehreren kleinen Schuttkegeln bzw. Schutthalden feststellen. Kleinere Ereignisse können auch oft beobachtet werden.

Die Entwicklung kann später entweder als allmähliche Bewegung fortschreiten oder auch plötzlich als Bergsturz entstehen.

Die Zeichnung 3 zeigt das *fortgeschrittene Stadium*: die Sackung hat sich aufgrund eines Bergsturzes entwickelt.

Es entstehen dazu verschiedene Haupttypen von Sackungen [10], die verschiedene morphologische Eigenschaften sowie verschiedene Dynamik aufweisen. Die Abbildung 16 stellt 5 verschiedenen Haupttypen von Sackungen dar, die zu verschiedener Gleitflächenmorphologie korrelierbar sind [6].

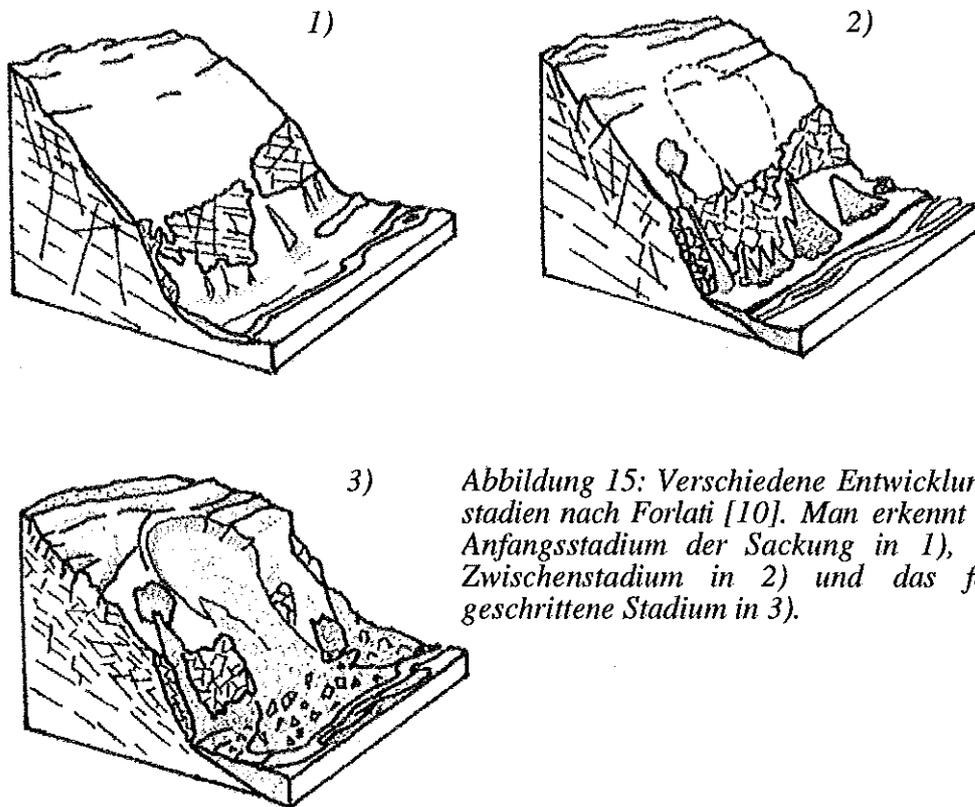
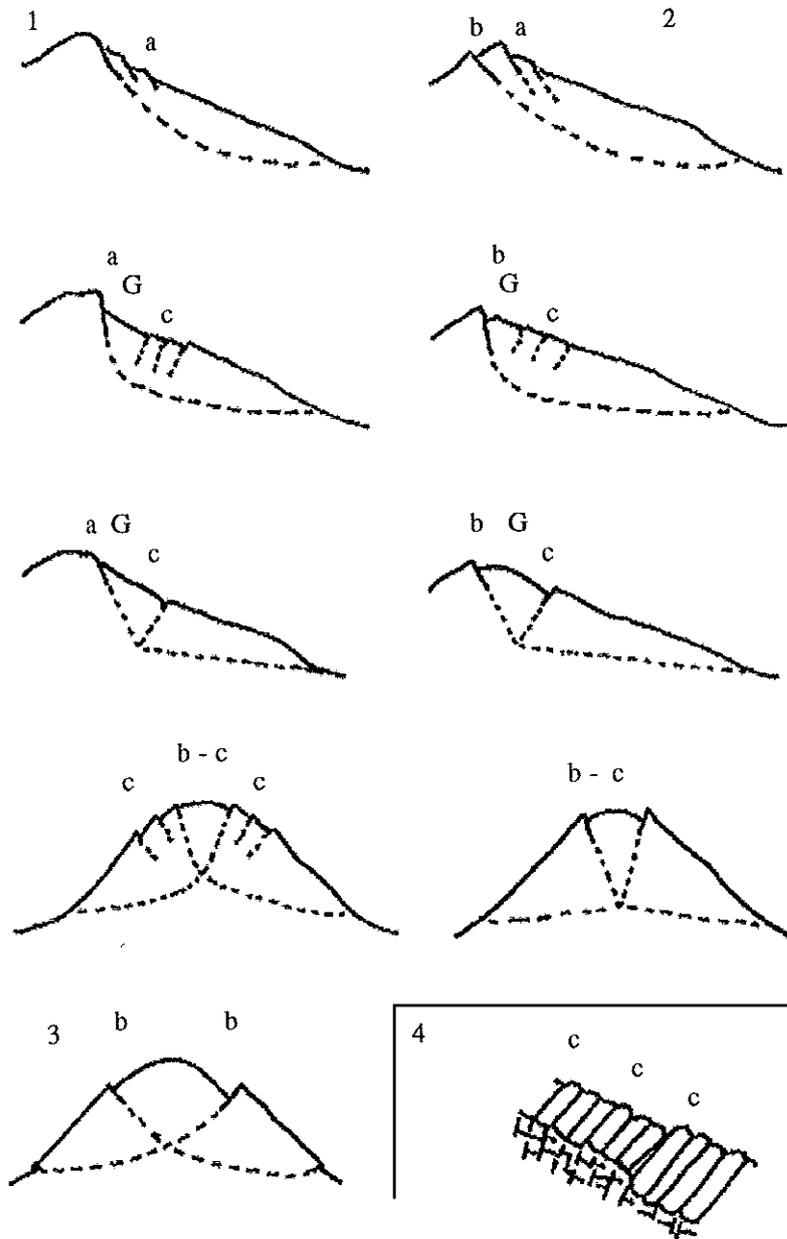


Abbildung 15: Verschiedene Entwicklungsstadien nach Forlati [10]. Man erkennt das Anfangsstadium der Sackung in 1), das Zwischenstadium in 2) und das fortgeschrittene Stadium in 3).

Falls eine Bergflanke talwärts rutscht, erkennt man folgende Haupttypen (Abbildung 16):

- Rotationale Sackungen – *rotational sagging* -, die eine bogenförmige Gleitfläche aufweisen. Auf der Oberfläche entstehen stufenförmige Escarpements, die talwärts einfallen. Die Gleitfläche kann sich auf einer einzigen Bergflanke entwickeln, sowie hinter dem Berggrat.
- Mehrteilige Sackung – *compound or composite sagging* -. Sie entsteht im Fall man zwei verschiedene Felspakete hat: einer im Hangenden und einer im Liegenden. Die Bewegungen im Depressionsgebiet führen zur Bildung einer Graben.  
Je nach der Art der Diskontinuitäten wird die mehrteilige Sackung unterteilt in:
  - a) biplanar – falls vermutete konjugierte Gleitflächen vorhanden sind
  - b) listrisch – falls die Brüche die vermutete Hauptgleitfläche nicht erreichen.



Rotationale Sackung, auf der Bergflanke (1) und hinter dem Berggrat (2).

Mehrteilige Sackung, listrisch.

Mehrteilige Sackung, biplanar.

Mehrteilige Sackung, doppelseitig.

Rotationale Sackung, doppelseitig (3).  
Tiefgründige Hackenwurf (4).

Abbildung 16: die Haupttypen von Sackungen [6].

a: normal, downslope, down-movement facing, DD-scarps

b: up-slope, down-movement facing, UD-scarps

c: up-slope, up-movement facing, UU-scarps

a ist ein escarpement (Stufe), b und c sind counterscarps (Gegensteigungen)

G: Graben

Wenn beide Bergflanken von einer Bewegung beansprucht werden, beobachtet man die Entstehung von doppelseitigen Sackungen. Die Dynamik bleibt grossomodo unverändert, so dass die Bildung von *rotational* und *compound saggings* möglich sind.

- Eine *topple sagging* - Hackenwurf - entsteht im Fall, dass verschiedene Felspaketen sich wie bei einem Domino Spiel bewegen.

Sackungen sind in den Alpen sehr verbreitet. Im Tessin werden verschiedene Fälle gezählt, wie z.B. der Luzzzone, Campo valle Maggia, Cerentino... Obwohl die morphologischen Eigenschaften von Sackung zu Sackung schwanken können - von evolutivem Stadium und Lithologie bedingt -, bleiben die auslösenden Faktoren mehr oder weniger die Selben. Man erkennt die folgenden interne und externe Ursachen<sup>1</sup> [1], [11]

Interne Ursachen - vom Gebirgsbau bedingt -:

- Steile Morphologie - gravitative Schwerkraft -
- Schwache Lithologie
- Tektonische Prozesse mit folgender Bildung von Klüften und Störungen.

Externe Ursachen - Einfluss von externen Faktoren -:

- Erosion durch Flüsse und Gletscher am Fuss der Sackung
- Hochwasserereignisse und starke Regenfälle
- Rückstoss von Gletscher und bedingte Entlastung
- Andere Bergstürze.

Die verschiedenen Faktoren wirken auf die Lithologie und schwächen sie weiter. Eine Bewegung tritt normalerweise auf, wenn verschiedene Ursachen zusammenwirken. Es bedeutet aber nicht, dass alle Faktoren gleichzeitig vorkommen müssen: sie können nämlich im Gebirg schon "gespeichert" sein, ohne die Hangstabilität zu beanspruchen [1]. Das Auftreten von neuen Bedingungen kann zu einer Summe von Faktoren führen und schlussendlich zur Bewegung. Man könnte praktisch sagen, dass der Hang liege normalerweise in einer labilen Lage, d.h. er kann sich potentiell bewegen. Diese Lage kann z.B. von einer schwachen Lithologie bedingt werden. Das Auftreten von einem zweiten Faktor -

<sup>1</sup>Es werden hier Vulkanismus und Erdbeben nicht betrachtet, denn solche Prozesse sind in den Alpen nicht entscheidend.

z.B. ein starker Regenfall - kann die labile Lage sich in einer instabile Lage umwandeln.

Ein weiterer Aspekt ist das Aktivitätsstadium einer Sackung [26].

- Als aktive Sackung - *active* - wird ein Ereigniss bezeichnet, das sich gegenwärtig bewegt.
- Eine reaktivierte Sackung - *reactivated* - ist eine Sackung die sich nach einer inaktiven Periode wieder bewegt.
- Falls die Sackung keine Bewegung während des letzten saisonalen Zyklus gezeigt hat, wird sie als inaktiv - *inactive* - bezeichnet. Diese letzte Art kann weiter unterteilt werden in:
  - ruhende Sackung - *dormant* - falls sie reaktiviert werden kann,
  - stabilisierte Sackung - *stabilized* - falls natürliche Bedingungen zu einem stabilen Zustand geführt haben,
  - menschlich stabilisierte Sackung - *abandoned* -, falls Sicherheitseingriffe durchgeführt wurden.
  - relikte Sackung - *relict* -, falls sie sich unter verschiedenen geomorphologischen oder klimatischen Umständen gebildet hat.

## 6.2. VORHANDENE STUDIEN

Das Problem der Sackung von Peccia ist seit lange bekannt - vgl. Geschichte der Sackung-. Verschiedene Arbeiten wurden von anderen Autoren in diesen Gegenden durchgeführt; es werden hier die wichtigsten erwähnt:

- Landholt, 1865 [18]
- Eisbacher & Clague, 1984 [8]
- Valenti, 1993 [27]

Es wurden zwei verschiedene Ereignisse schon erkannt: eine grosse, sich langsam bewegende Sackung einverleibt im SW Teil eine kleinere, die aus einem Bergsturz (wahrscheinlich 1834) entstand. Landholt [18] sah als auslösende Ursache des Bergsturzes die Entwaldung des Gebietes.

Die Sackung wurde aus den folgenden morphologischen Hauptgründen erkannt [27]:

- Verengung des Maggia Tals im Bereich zwischen Cambleo und Peccia.
- Typische Depression im oberen Teil und Aufwölbung im Unteren; wobei dieser Letzte im SW Teil wegen des Bergsturzes 1834 nicht so betont ist.
- Grosse Hangneigung im untersten Teil des Maggia Tals, bevor es im Peccia Fluss mündet.
- Vorhandensein eines grossen Amphitheaters im obersten Teil (1900 m ü.M.), dessen steile Ränder auf ehemalige Bewegungen andeuten.
- Entstehung der perimetrale Störung bei 1900 m sowie Schäden am Strassenmantel bei 1000 m Kote bei den Hochwasserereignissen 1993: das entspricht einer solidalen, talwärts gerichteten Bewegung.

Das Volumen der heutzutage sich bewegenden grösseren Masse soll etwa 150 bis 200 Mio m<sup>3</sup> betragen [8], [27]. Eisbacher & Clague [8] nehmen einen bewegenden Volumen von etwa 50 Mio m<sup>3</sup> während der Katastrophe von 1834 an.

Die Interpretationen über die verschiedenen Bewegungen waren widersprüchlich. Einerseits sahen Eisbacher & Clague [8] keine grosse Bewegungsgefahr mehr, da der Maggia Fluss im Bereich von Cambleo umgeleitet wird, um elektrischen Strom zu produzieren. Ein auslösender Faktor fällt dann aus: keine Flusserosion am Fuss der Sackung ist mehr möglich.

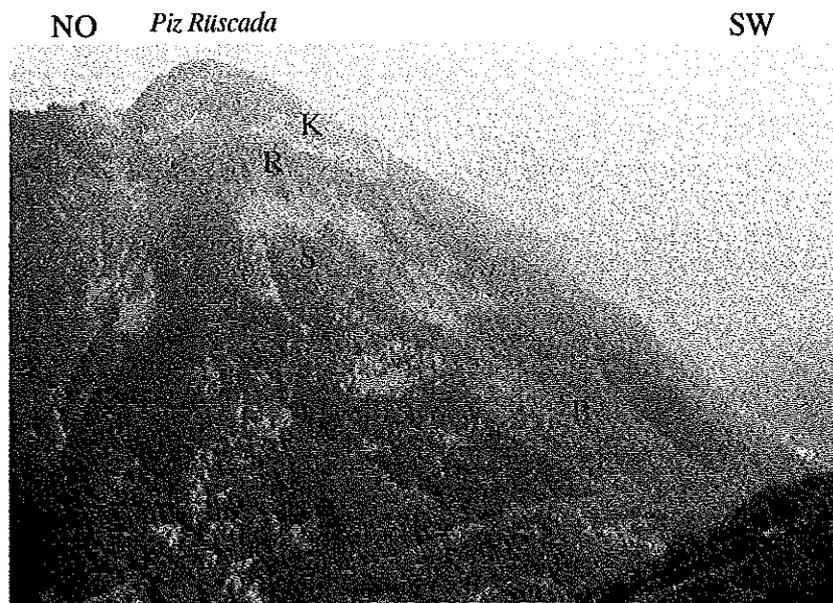
Doch haben die starken Regenfälle 1993 bewiesen, dass andere auslösende Faktoren auftreten können. Die gleichzeitige Entstehung der Krone um 1900 m Kote mit der Verklüftung des Strassenmantels um 1100 m. ist ein deutliches Zeichen, dass die Sackung sich auf einer tiefen Gleitfläche - tiefer als 50 m - bewegt [27]. Regelmässige Teodolithmessungen haben später gezeigt, dass das ganze Sackungsgebiet sich um einige cm pro Jahr bewegt.

Heutzutage ist man überzeugt, dass die Sackung aktiv ist. Die Bewegungen können zu einem neuen stabilen Zustand so wie zu einem Instabilen führen.

### 6.3. ÜBERSICHT

Auf dem Panorama (Abbildung 17) unterscheidet man drei Gebiete insbesondere gut: eine Krone ausserhalb der Sackung, die steile Ränder und die Sackung selbst. Diese Letzte verleiht den Bergsturz 1834 ein, der als untere Nische sichtbar ist. Die

morphologischen Eigenschaften dieser drei Gebiete werden im folgenden im Detail angeschaut (vgl. Beilage 4).



*Abbildung 17: Panorama der Sackung aus dem Piz Mascarpino. Man erkennt die verschiedenen Gebiete: die Krone bei K, das Sackungsgebiet bei S, der Bergsturz 1834 bei B und die Ränder bei R.*

## 6.4. SACKUNGSGBIET

### 6.4.1 Übersicht

Im betrachteten Gebiet können - auf grossem Masstab - zwei verschiedene Massenbewegungen erkannt werden. Die erste ist die Sackung, die sich von ungefähr 1900 m bis 1200 m Kote und mit einer Fläche von etwa 2 Quadratkilometern als schuttkegelförmige Masse verbreitet (vgl. Beilage 4).

Vom untersten Talboden her, kann die nördlichste Begrenzung von Cambleo (693 550/142 120) bis zu dem Motto della Fame (695 000/141 120) verfolgt werden. Die südliche Begrenzung verläuft bogenförmig von dem Motto della Fame bis zu 1400 m. Kote über den kleinen Grat, der zu Piano del Monte führt.

Eine jüngere Massenbewegung ist im südwestlichen Bereich der Sackung wegen eines markanten Anrissrands sichtbar. Man erkennt nämlich einen Rand, der sich von Corsgell (693 220/141 290) bis Alpe Arena (693 900/141 440) in östlicher Richtung verläuft. Bei der Alpe Arena biegt er sich und geht in südlicher Richtung bis zur Wasserscheide weiter, die nach Piano del Monte (693 550/140 530) führt. Von hier verläuft er nach Westen, dem Ri del Pizzone (693 400/140 680) entlang.

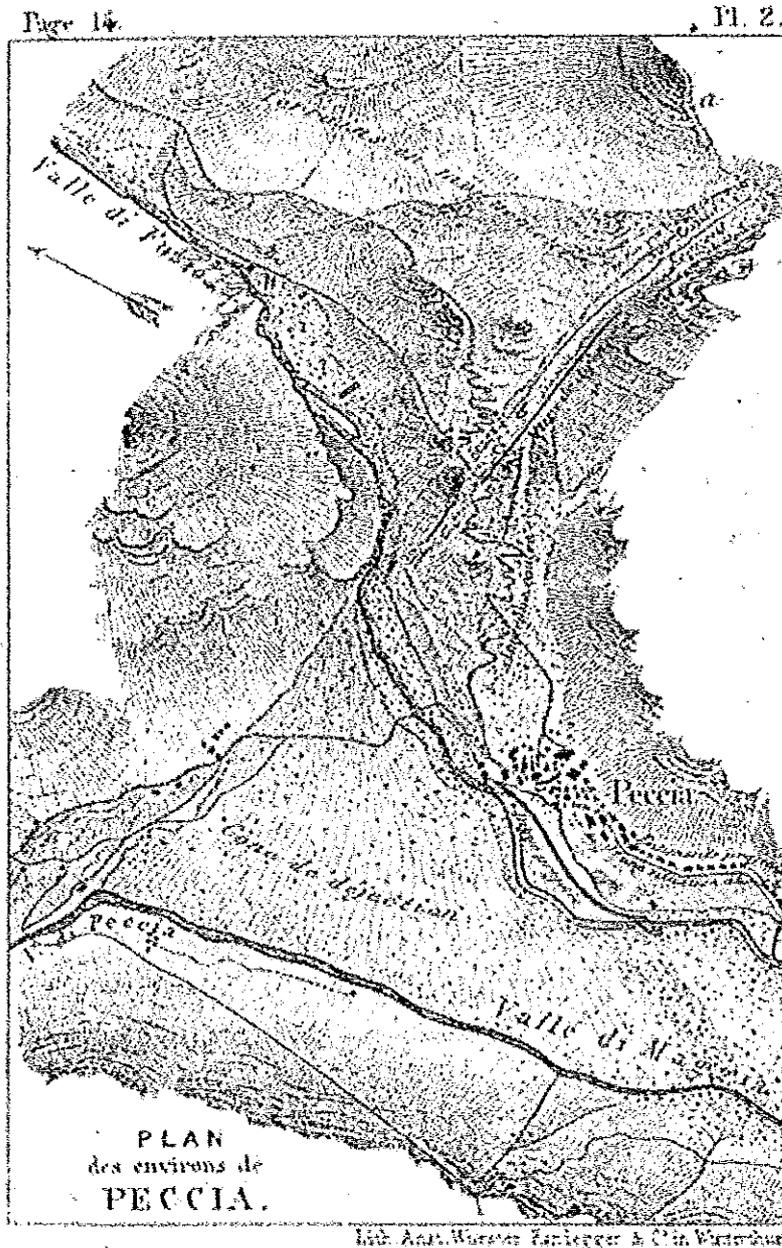


Abbildung 18: Lage von Peccia im Jahr 1860 [18]. Man merkt der neuentstandene Schuttkegel bei "cone de dejection", der sich nach dem Bergsturz 1834 gebildet hat.

Unterhalb dieses Trockentälchens, bei den Strassenkehren von Peccia, verengt sich das Gebiet und bildet eine grosse Rinne - etwa 100m breit -, die bis zu Peccia in SW Richtung verfolgbar ist. Hier öffnet sich das NS gerichtete Lavizzara Tal nochmals. Die jüngere Rutschmasse ist in diesem Bereich als eine mächtige Schuttablagerung noch verfolgbar, die wahrscheinlich 1834 das Dorf von Peccia fortgerissen hat. Die Abbildung 18 [18], zeigt die Aussicht von Peccia im Jahr 1860.

Die Fläche der jüngeren Massenbewegung, die man im folgenden als *Bergsturz 1834* bezeichnen wird, beträgt ungefähr ein Quadratkilometer und verbreitet sich von 1400 bis 800 m Kote mit einer "pilzförmigen" Struktur.

Beide Massenbewegungen weisen einige Ähnlichkeiten, wie zum Beispiel das Vorhandensein eines Depressionsgebiet in ihren oberen Teil und ein Aufwölbungsgebiet in ihrem Untersten, oder die Anwesenheit von Nackentälchen und Gegensteigungen, oder nochmals die einigen Aufschlüsse. Solche Merkmale, wie in der Einführung angedeutet, lassen an ein fortgeschrittenes Stadium der Sackungen denken.

Ihr Charakter kann aber lokal stark schwanken. Im folgenden werden beide Massenbewegungen morphologisch im Detail analysiert. Um die Beschreibung zu vereinfachen, wurde das Gebiet in verschiedenen Zonen unterteilt, deren Lage auf der Spezialkarte Zonen (Beilage 4) eingezeichnet ist. Die verschiedenen Morphologien werden ausserdem auf der Karte Morphologie (Beilage 5) dargestellt.

#### **6.4.2 Bergsturz 1834**

In diesem Gebiet fällt das Vorhandensein von zwei verschiedenen Gebieten auf: Eines charakterisiert durch viele lange und tiefe Gegensteigungen - von 1320 m bis 1100 m Kote- (I), das Andere - von 1100 bis 800 m Kote - durch eine vegetationsbedeckte Bergsturzablagerng (II). Die Begrenzung zwischen beiden Teilen wird durch einen steileren Hang markiert, so dass das Längsprofil gestuft aussieht [1, p.75].

##### ***(I) Morphologische Merkmale im oberen Teil, 1320 bis 1100 m ü. M.: ZONE 1***

###### **- Gegensteigungen**

Sie sind bis 150 m lang und bis 2-3 m tief im obersten Bereich - bei 1300 m ü.M. – (Abbildung 19), geradenförmig und NS orientiert, d.h. in Richtung der maximalen Steigung.

Bei 1100 m beträgt die Tiefe etwa 0,5 m, die Struktur ist bogenförmig und NW-SO verlaufend.

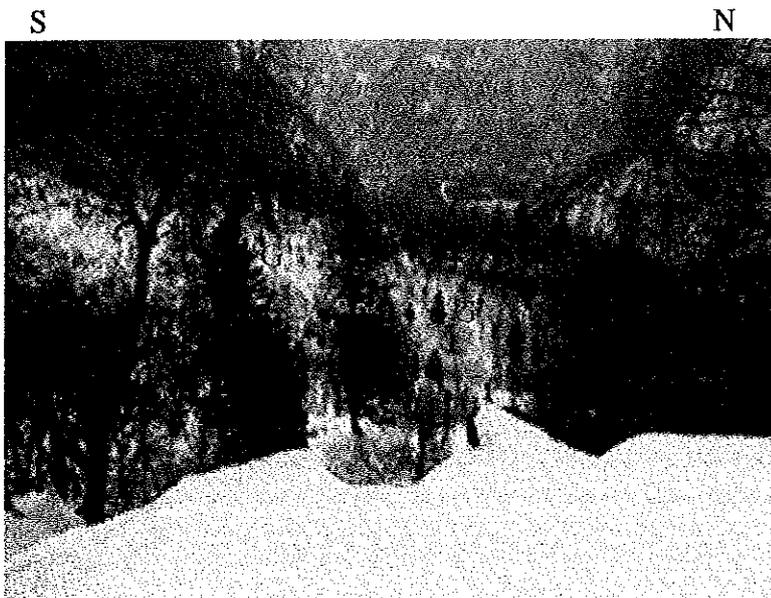


Abbildung 19: Aussicht über die langen Gegensteigungen bei 1300 m Kote – 693 750/141 000 – in G; auf der Alpe Arena aufgenommen. Man sieht die sporadische Vegetation im Bereich der Gegensteigungen, die auf Felsschläge weist.

#### - Nackentälchen

Beide Ränder weisen ausgeprägte Nackentälchen aus, deren Orientierung in Richtung NNO-SSW verläuft und deren Länge und Tiefe etwa 500 m bzw. 5 bis 10 m beträgt. Ihr Vorhandensein ist verantwortlich für die bergwärts gerichtete Biegung der Gegensteigungen bei 1100 m im nördlichen Bereich. Sie sind mit junger, vegetationsfreier Schuttablagerung bedeckt.

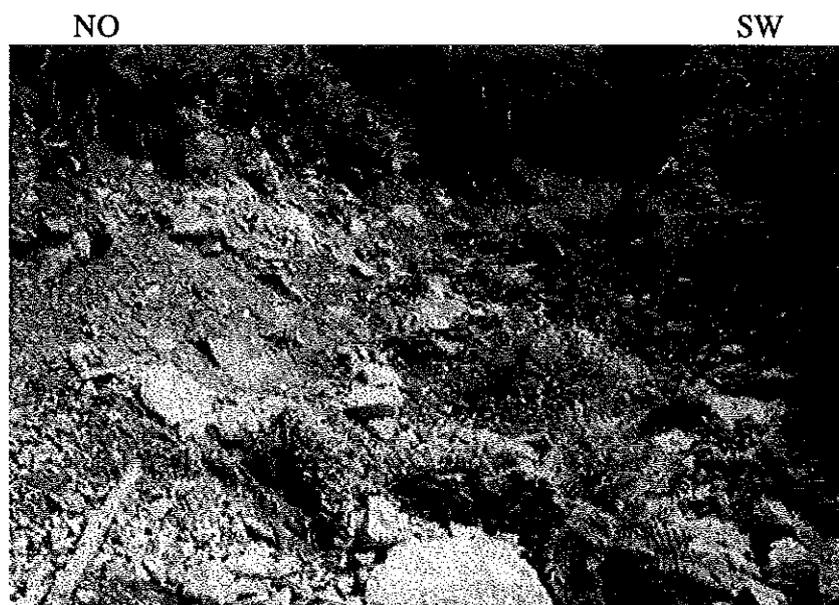


Abbildung 20: Kleine Stufe (Erosionskante) beim Ri del Pizzone (693 660/140 700), die wegen starken Gewittern entstanden ist (29. August 1997).

Im Süden heisst dieses Nackentälchen "Ri del Pizzone" und es markiert wahrscheinlich die Grenze zwischen dem anstehenden Gesteinpaket von Piano del Monte und dem Bergsturz 1834 bzw. der Sackung. Nämlich oberhalb von 1300 m ü. M. biegt das EW orientierte Ri del Pizzone in SO Richtung, während das Rand des Bergsturzes ihre ursprüngliche Orientierung beibehält. Seine Bedeckung ist relativ jung: es handelt sich um alluvionale Ablagerungen im cm- bis dm- Bereich (Abbildung 20), die bei Hochwasserereignissen vom Pizzone Bach transportiert werden können. Landholt erwähnte schon 1865 die Gefahren diesem Bach im Fall von Hochwasserereignissen – vgl Kapitel 5 -.

- Bedeckung

Dieses Gebiet besteht praktisch nur aus eckigen Blöcken, deren Volume i.a. einige Kubikmeter erreichen kann. Nur in proximität der Ränder werden kleinere Blöcke dominierend.

- Vegetation

Abwesend nahe an den lateralen Ränder, wo die Nackentälchen vorhanden sind, und nahe an den Oberen, wo grosse Gegensteigungen auftreten (1300 m Kote). Das Gebiet ist sonst mit grossen Bäume bewachsen, insbesondere in seinem Kern.

- Begrenzung mit dem untersten Teil

Die Begrenzung wird von einem Hang dargestellt, der NW-SO von 1100 M. bis 1230 M. verläuft. An seiner oberen Extremität endet er im Ri del Pizzone; während an seiner Unterer genau oberhalb der einzigen Aufschlüsse, die man im Bergsturz 1834 beobachten kann. Seine Orientierung ist ausserdem senkrecht zur Rinne, wo sich die Strassenkehren von Peccia befinden; d.h. senkrecht zur maximalen Steigung des unteren Teils.

Oft ist er im Liegenden von einigen kleineren NS verlaufenden Nackentälchen gekrönt, im Hangenden von einigen bis 1 m tiefe Gegensteigungen.

**II) Morphologische Merkmale im Unteren Teil, 1100 bis 800 m ü. M.:**  
**ZONE 2**

- Gegensteigungen: Abwesend.

- Nackentälchen

Im Liegenden des Begrenzungshangs vorhanden. Sie weisen eine Richtung NS und sind bis etwa 50 m lang. Doch ist die Tiefe ziemlich gross (bis 10 m).

- Bedeckung

Normalerweise findet man eher eckige Blöcke im m Bereich. Doch ist im Liegenden des Begrenzungshanges, bis etwa 1060 m Kote, vorwiegend feinkörnige Ablagerung vorhanden. Um 800 m, unterhalb von Peccia; findet man als Bedeckung eher gerundete bis kantengerundete Blöcke.

Ein plötzlicher Wechsel von block- zu feinkörnige Ablagerung tritt um 970 m ü. M. bei den Strassenkehren von Peccia auf, unterhalb vom Felspaket von Piano del Monte (693 550/140 530). Sie verläuft einer NO-SW gerichtete Grenze entlang, d.h. parallel zur Rinne, die zwischen Peccia und Corsgell liegt.

- Aufschlüsse

Unterhalb der begrenzender Linie, um 1090 m Kote sind einige Paragneise sichtbar. Sie sind stark zerklüftet und Schieferungsebene liegt praktisch flach. Das entspricht quasi eine starken Versackung.

- Vegetation

Dieses Gebiet ist quasi total mit Bäumen bewachsen. Nur einige kleine freie Flächen sind vorhanden.

**Zusammenfassung**

Die unterstehende Tabelle 3 zeigt die Hauptunterschiede der Gebiete des Bergsturzes.

	<b>Oberer Teil</b>	<b>Unterer Teil</b>
<b>Gegensteigungen</b>	oft tief und ausgeprägt	abwesend
<b>Nackentälchen</b>	lang, ausgeprägt	klein, tief
<b>Bedeckung</b>	Blockschutt	Blockschutt
<b>Vegetation</b>	partiell	total

Tabelle 3: Unterschiede im Bergsturzgebiet

Morphologisch analysiert sieht es so aus, als ob der Oberer Teil von einer langsamen versackenden Bewegung beansprucht wird. Diese soll in westlicher Richtung, senkrecht zur Orientierung des Nackentälchens erfolgen. Im nördlichen

Bereich, insbesondere wo die Nackentälchen vorhanden sind, sowie unter bei den Gegensteigungen um 1300 m Kote ist das Pflanzenwachstum wegen Felsstürzen sporadisch.

Obwohl typische Merkmale von Sackungen (Gegensteigungen, Naktentälchen) im Untersten Teil nicht vorhanden sind – was auf jedem Fall charakteristisch ist [21] [29] [30] -, treten um 890 m Kote vier Quellen auf, die mit dem untersten Ende der Gleitfläche der Sackung entsprechen sollten (die Detaillierte Beschreibung befindet sich im Kapitel 9, Quellen 0 bis 3). Ausserdem hat die Bewegung von 1993 die Bildung von einer langen, NO-SW gerichteten Spalte an den Strassenkehren von Peccia verursacht [G. Valenti, mündliche Mitteilung], was klar für Sackungsverhalten spricht.

Die katastrophalen Ereignisse 1834 haben wahrscheinlich eine kleine Zone nicht getroffen, die sich genau unter dem Anstehenden von Piano del Monte befindet. Südlich von dieser Grenze tritt nämlich Bodenablagerung auf, die nichts mit dem Bergsturz zu tun hat. Darum wurde wahrscheinlich Peccia unterhalb des Anstehendens wiedergebaut und zu diesem Zweck wurde auch die grosse Mauer am untersten Ende vom Ri del Pizzone gebaut [18]: die natürliche Schattenzone konnte dank diesem Hindernis verbreitet werden und das Dorf hätte kleinere Gefahr gelaufen – vgl. p. 56 -.

Teil der ursprünglichen Bergsturzablagerung wurde wahrscheinlich unterhalb von Peccia bereits vom Maggia Fluss abtransportiert. Man weiss nämlich, dass grosse Murgänge entstanden sind und weit ins Tal drangen – vgl. Kap. 5, Geschichte der Sackung -. Die gerundeten Blöcke unterhalb von Peccia sind Zeiger für einen langen Flusstransport und gehören wahrscheinlich nicht zur Bergsturzablagerung. Andererseits zeigt die Abbildung 18 die Lage von Peccia im Jahr 1860. Man erkennt die grosse schuttkegelförmige Ablagerung, die praktisch die Hänge des Piz di Brünesch erreichte. Ausserdem ist der Fluss, der aus der Valle di Peccia fliesst, auf die rechte Seite des Tales geschoben worden.

### **6.4.3 Rand vom Bergsturz 1834: ZONE 3**

Die Ränder sind zwischen 1300 und 1400 m Kote reich an Aufschlüssen. Die verschiedenen Schieferungsmessungen zeigen eine deutliche Versackung des Gebietes, indem sie flacher liegen. Die Klüfte weisen eine regelmässige Streichen nach Westen mit etwa 70° Einfall, Achse NS (detaillierte Erklärungen folgen im Kapitel 7.3.3). Dieselbe Achsenrichtung wird auch für die ausgeprägten Nackentälchen und Gegensteigungen, die im südlichen Teil auftreten. Die vorhandenen Lithologien bestehen aus Paragneis und Ruscada Gneis. Eine kleine amphibolitische Linse mit einigen Karbonateinschlüssen tritt in der Nähe vom Ridel Pizzone auf (693 770/140 800), was auf schwachen Lithologien im Untergrund denken lässt.

Unterhalb 1300 m werden mächtige Schuttablagerungen beobachtet, die mit grossen Bäumen bewachsen ist. Das Gebiet liegt flacher im Bezug auf den aufschlussreichen Teil.

Der Rand erlaubt quasi eine Analyse der Sackung in der Tiefe. Im Abschnitt "6.4.4, Aufwölbungsbereich des Sackungsgebiet" wird dieser Aspekt erweitert.

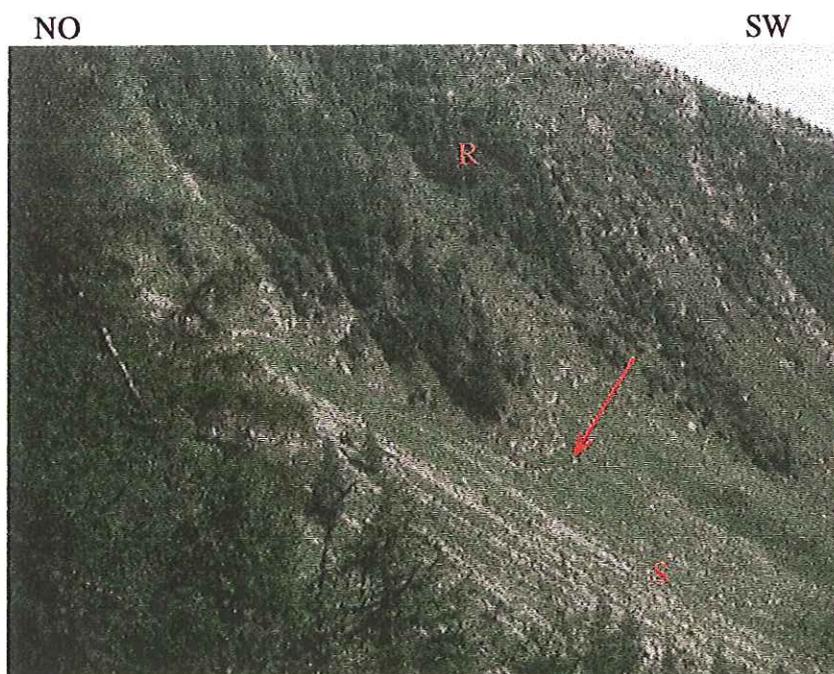
#### 6.4.4 Sackungsgebiet

Das Sackungsgebiet wird in zwei Hauptteile getrennt. Der Erster liegt im Bereich oberhalb der Alpe Arena, zwischen 1500 m und 1900 m (I); der Zweite unterhalb, zwischen 1500 und 1100 m (II). Diese Unterteilung entspricht dem Depressionsbereich im Hangenden und dem Aufwölbungsbereich im Liegenden.

##### *1) Morphologische Merkmale des Depressionsbereichs: ZONE 4*

###### - Perimetrale Störung

Bei den Hochwasserereignissen von 1993 im obersten Teil (bei ungefähr 1900 m.) ist eine etwa 1 m breite zigzagförmige Linie, die die Sackung von ihren Rändern trennt. Vgl. geologische und morphologische Karte und Abbildungen 21 und 22. Im Detail sieht sie aus wie eine vegetationsfreie Schuttablagerung, die oft kleine Stufen im dm- Bereich aufweist.



*Abbildung 21: die zigzagförmige perimetrale Störung bei 1900 m ü. M. Sie begrenzt die Ränder (in R) von der Sackung (in S). Aussicht aus dem nördlichen Rand der Sackung, um 1800 m.*



Abbildung 22: Panoramaansicht der perimetralen Störung (roter Pfeil), die von Giorgio Valenti 1994 – gerade nach den Hochwasserereignissen – photographiert wurde. Aufnahme vom gegenüberliegenden Pizzo Mascarpino.

### - Keil der Sackung

Der erste Aufschluss liegt auf derselben Kote dem untersten Ende der Krone, bei 1760 m ü.M. Seine Struktur ist kegelförmig, so dass er als Keil interpretiert wurde. Die offene Klüfte sowie die Messung der Schieferung deutet an ein versacktes Gesteinspaket (vgl. Kapitel 9.4). 7.4

Verschiedene tiefe, ausgeprägte und NS gerichtete Gegensteigungen treten in diesem Bereich auf.

Zwischen Aufschluss und perimetrale Störung befindet sich eine Bedeckung, aus vegetiertem Felssturzmaterial (grosse Blöcke im dm- bis m- Bereich mit Sand und Kies) bestehend. In Korrespondenz mit den Nackentälchen der Ränder der Sackung sind neue unvegetierten Felssturzen sichtbar.

Keine Nackentälchen oder Gegensteigungen sind hier vorhanden. Einziges Merkmal ist das Vorhandensein von kleinen Erosionskanten, die auf häufige Blockschläge andeuten.

Unterhalb von 1760 M. Kote teilt sich das Sackungsgebiet in zwei Bereiche auf. Man sieht nämlich einen weniger gesetzten Teil nach Norden, der sich einem echt gesetzten Teil im Süden sich entgegensetzt (Abbildung 23).

Abbildung 23: Der weniger gesetzte Teil nach Norden (A) und die gesetztere Zone nach Süden (B). In Orange wird die Grenze markiert, die als Nackentälchen im Feld vorhanden ist.



Teil A ist ganz durch grosse Blöcke bedeckt; im Kern sind diese Felssturzablagerungen ganz mit alten Bäumen bewachsen, während sie an seinem nördlichen Rand vegetationsfrei sind. In der Mitte ist ein grosses Nackentälchen vorhanden - mit Luftbildern gut sichtbar -, das einige Aufschlüsse aufweist.

*Morphologische Merkmale im weniger gesetzten Teil A:*

- Gegensteigungen

Die Gegensteigungen treten vor allem an der oberen Extremität (der Keil) mit einer NS Achsenorientierung, sowie an der Untersten mit einer NNW-SSO auf. Sie sind normalerweise tief und ausgeprägt. Insbesondere oberhalb der Alpe Arena tritt eine talwärts gebogene Gegensteigung auf, die etwa 400 m lang ist und an ihrem südlichen Ende flacher wird. Sie markiert deutlich die Begrenzung der weniger gesetzten Zone mit der mit dem Aufwölbungsgebiet.

- Nackentälchen

Die Ränder des aufgewölbten Teils sind durch zwei Nackentälchen verschärft. Im oberen Teil enden sie quasi zusammen im Keil. Ihre Bedeckung besteht aus vegetationslosen Blöcken im Norden und vegetationsbewachsenem Boden im Süden. Im Süden treten ausserdem einige Aufschlüsse um Kote 1600 m auf. Ein 300 m langes Nackentälchen tritt ausserdem im Kern dieses Teils auf. Einige Aufschlüsse treten an ihren Rändern auf.

- Bedeckung

Besteht vor allem aus grossen, eckigen Blöcken. Im Kern dieses Teils wird bodenartige Ablagerung gefunden.

- Vegetation

An den Rändern der Zone, wo sich die Nackentälchen befinden, wächst keine Vegetation. Im Kern befinden sich dagegen sehr bewaldete Zonen. Bäume weisen ausserdem typische knickartige und talgerichtete Biegungen, die mit den Bewegungen korrelierbar sind.

- Aufschlüsse

Paragneisaufschlüsse treten sporadisch auf. Die Schieferungsmessungen deuten auch in diesen Fällen an eine talgerichtete Bewegung: das Einfallen ist nämlich flacher in Bezug auf der nicht gekippte Aufschlüsse ausserhalb der Sackung. Das deutet an einen versackten Felsuntergrund im aufgewölbten Teil, der mit Blockschutt abgelagert wird.

### *Morphologische Merkmale der echt gesetzten Zone B:*

#### - Gegensteigungen

In diesem Bereich treten Gegensteigungen sporadisch auf: sie treten auf beschränkt auf der Aufschlusszone auf. Ausserdem sind sie flach und einige Zehner von Meter lang.

Nur auf Kote 1700 m ist eine lange, flache Gegensteigung sichtbar, die der südlichen Teil mit dem Nördlichen verbindet. Das bedeutet wahrscheinlich, dass beide Zonen verbunden sind.

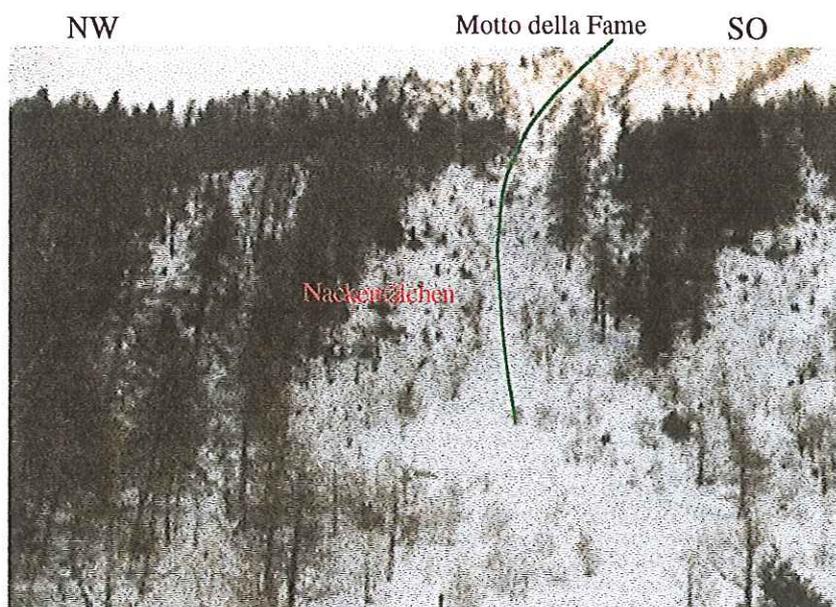
#### - Nackentälchen

Drei grosse, NS gerichtete Nackentälchen treten in regelmässigen Abstand in dieser Zone auf. Ihre Grösse beträgt etwa 300 m und die Tiefe bis 10 m. Sie sind normalerweise mit sporadischer Blockschuttablagerung bedeckt.

Eine Nackentälchen trifft nach Norden (694 350/141 070) mit der Begrenzung der anderen obenbeschriebenen Zone zusammen. Auf den Luftbilder sieht sie ausserdem wie eine Fortsetzung der Nackentälchen vom Motto della Fame zu sein aus (Abbildung 24).

Oberflächenereignisse sind anhand kleine Erosionskante feststellbar (Abbildung 25) und deuten darauf, dass die Nackentälchen die Wege für Blockschläge darstellen.

*Abbildung 24: Die grüne Linie stellt die Achse der Nackentälchen, die beim Motto della Fame corona. Sie ist ebenfalls die Trennung zwischen den beiden Teilen des Depressionsgebiets der Sackung.*



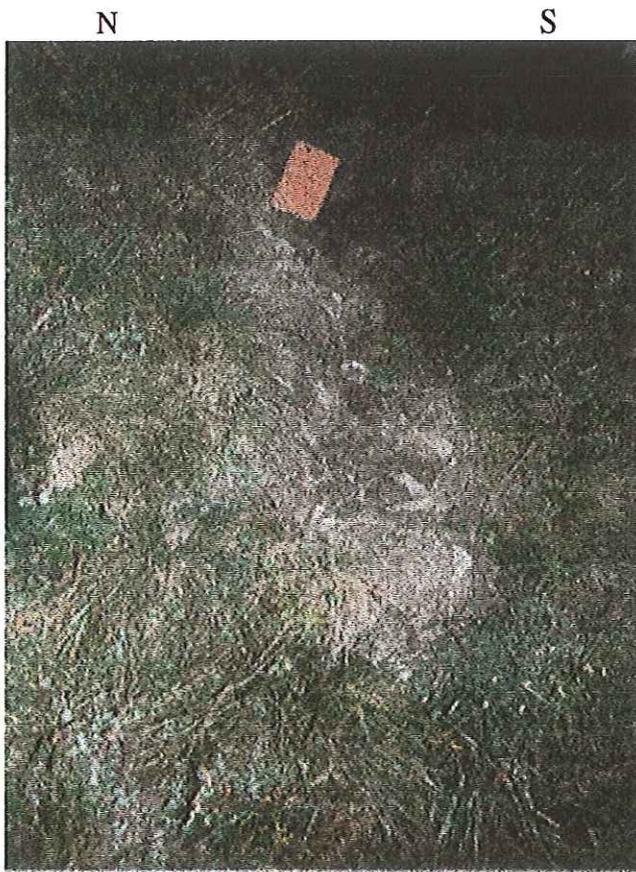
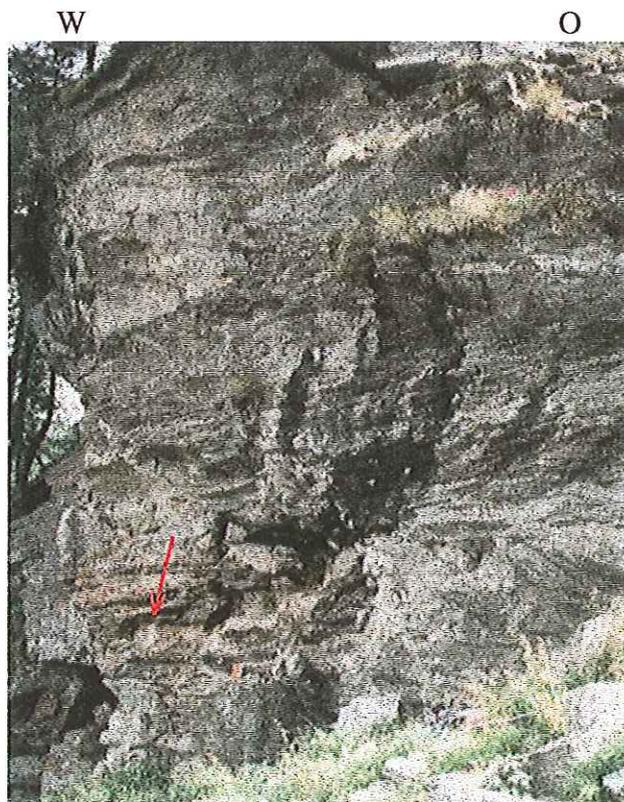


Abbildung 25 : Kleine Oberflächenereignis in einem Nackentälchen um 1600 m Kote. Es handelt sich nämlich um einen Blockschlag.

Abbildung 26: Aufschluss von Bündnerschiefer bei 1590 m ü. M. Man erkennt die flachliegenden Schieferungsebenen und die Calcitboudins (roter Pfeil).



## II) Morphologische Merkmale im Aufwölbungsgebiet: ZONE 5

Die obere Begrenzung des Aufwölbungsgebiets läuft von 1450 m Kote oberhalb der Alpe Arena bis um etwa 1500 m Kote nach Süden und endet wieder um etwa 1450 m. am südlichen Rand. Dazu weist sie eine bogenförmige Struktur.

Der südlicher Teil der Aufwölbung ist als Bergsturz 1834 gerutscht.

### - Aufwölbung

Die grösste Aufwölbung ist im Bereich der Alpe Arena zu beobachten: eine ziemlich flache Zone ist mit einem steilen Hang begrenzt. Sie findet ihre untere Grenze bei der SW-gerichtete Linie, die die Quelle um 1440 m Kote (694 050/142 620) mit dem oberen Teil von Corsgell (693 400/141 300) verbindet. Unter diese kleine Ebene, die durch verschiedene tiefe Gegensteigungen geschnitten wird, beginnt das steile Hang wieder. Die Abbildung 27 zeigt den untersten Ende der Aufwölbung bei Cambleo, die den Maggia Fluss zum rechten Talflanke verschoben hat.



Abbildung 27: Die Aufwölbung bei Cambleo (roter Pfeil) ist für die Verengung des Tales verantwortlich.

### - Aufschlüsse

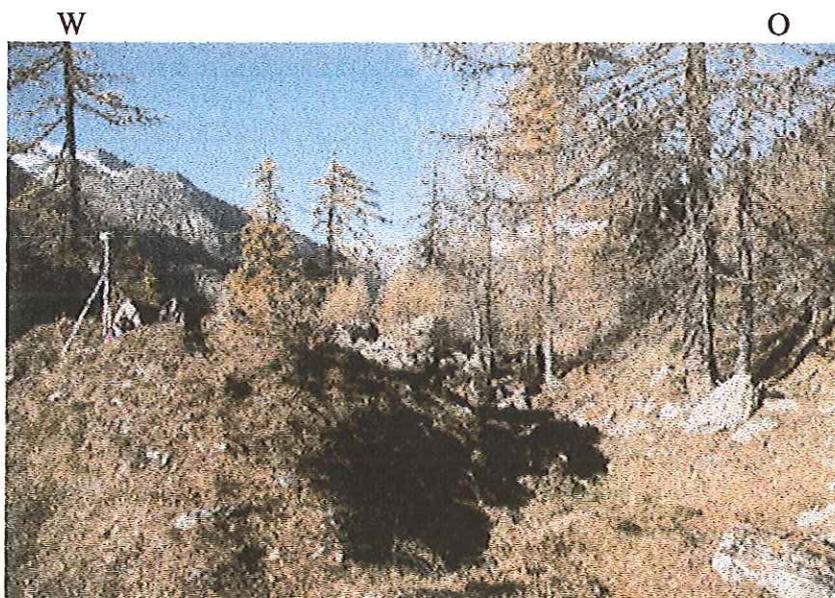
Insbesondere beim Rand des Bergsturzes 1834, südlich der Alpe Arena, der quasi ein natürliches Transversalsprofil durch die Aufwölbung darstellt. Lithologisch handelt es sich um Rüsçada Gneis und Paragneis. Die Störungen an diesen Aufschlüssen sind mit etwa 70° talwärts geneigt und treten im Zusammenhang mit den Gegensteigungen von alpe Arena auf (vgl. Kapitel 7.3.3 und Abbildung 39).

Unterhalb 1300 m Kote betrachtet man ein scharfer Steigungswechsel, der mit dem Felsschwund korrelierbar ist.

Im südlichen Teil, oberhalb dem Ri del Pizzone, tritt noch ein kleiner Paragneisaufschluss; seine Verklüftung zeigt sich auch nach Westen mit 70° Einfall.

#### - Gegensteigungen

Sie sind auf der Alpe Arena entlang einer NNW-SSO Achse eingeregelt. In diesem Bereich sind sie sehr tief (bis etwa 5 m) und offen. Auf der Ebene, südlich dem Rand, kann man die Fortsetzung dieser Gegensteigungen beobachten (Abbildung 28). Sie werden als UD scarps –*up-slope, down movement* - [6] interpretiert, denn sie weisen wahrscheinlich auf die Entlastung, die während des Bergsturzes 1834 stattgefunden hat.



*Abbildung 28: grosse Gegensteigung UD-typ bei der Alpe Arena (1450 m), am Rand des Bergsturzes 1834. Sie weist eine Orientierung NNW-SSO auf.*

*Auf der linken Seite ist das GPS Gerät auf dem Punkt 5 sichtbar.*

Bei 1250 m Kote (693 530/141 660) kann man zwei Gegensteigungen beobachten, die in NNO-SSW Richtung verlaufen. In diesem Bereich verläuft die Begrenzungslinie zwischen sehr aufgewölbtem und weniger aufgewölbtem Teil als eine tiefe Gegensteigung.

Eine andere Gegensteigung wird als Begrenzung der zwei verschiedene Zonen beobachtet. Dazu verläuft sie in NNO-SSW Richtung

- Escarpements

Genau oberhalb des Randes des Bergsturzes 1834 (694 020/141 050) weist das Gebiet eine treppenförmige Struktur, die an eine talwärts gerichtete Setzung deutet.

- Nackentälchen

Sie verlaufen in verschiedenen Richtungen und sind normalerweise untief und kurz. Nur bei der Alpe Arena wurden einige tiefe Nackentälchen mit EW Achsenrichtung beobachtet (Abbildung 29), die quasi die Fortsetzung der Gegensteigung darstellen: sie treten nämlich nördlich auf. Darum deuten sie an der Entlastung vom Bergsturz 1834.

Abbildung 29: Nackentälchen mit EW Achsenorientierung, unterhalb der Alpe Arena, bei 1390 m Kote.



- Vegetation

Die unterste Teil ist vollständig bewachsen ausser zwei kleine Flächen.

- Bedeckung

Die Bedeckung besteht aus Blöcke für die aufgewölbte Teil, aus bodenartige für die weniger Aufgewölbt. Trotzdem treten in diesem Letzten manchmal beträchtlichen Flächen, die mit Blockshuttablagerungen bedeckt sind.

## Zusammenfassung

Morphologisch kann das Gebiet in zwei Hauptteilen getrennt werden: ein Depressions- und ein Aufwölbungsgebiet.

Das Auftreten von eingeregelteten Nackentälchen, von verschiedenen Aufschlüssen, sowie das Transversalprofil am Rand vom Bergsturz 1834 erlauben eine weitere Unterteilung an einem EW Profil der Sackung zwischen Fels- und Lockeruntergrund. Die Tabelle 4 zeigt die 4 Bereiche und ihren Eigenschaften. Die Formenschatzen deuten an eine trapezoidale Form des Felsuntergrundes – vgl. Profil Sackung (694 990/140 900 // 693 130/140 930), Beilage 11.

Quer zur maximalen Hangneigung wird auch ein anisotropisches Verhalten nachgewiesen, indem der südliche Teil eine grössere Depression aufweist. Dazu soll auch das Vorhandensein von treppenförmigen Strukturen - an den Aufschlüssen sowie am Rand des Bergsturzes 1834 - ein Zeuge für eine getönte Depression sein.

Morphologie	Höhe *	Untergrund	Einteilung
Keil	1900	Fels**	Depression
	1700		
	1450		
Hang Alpe Arena	1450	Fels	Aufwölbung
	1200	Locker	
Fuss	1100		

Tabelle 4

\*: *indikative Werte in m u. M.*

\*\*: *Vorhandensein einer Schutthalde aufgrund von Felsstürzen aus den steilen Ränder*

## 6.5 RAND DER SACKUNG: ZONE 6

Die Ränder sind sehr steil und entsprechen dem Zusammenhang zwischen Anstehend und Sackung. Ihr hoher Zerstörungs- und Verwitterungsgrad deutet an die verschiedenen Bewegungen, die das Gebiet ausprägen. Nur im untersten Teil am nördlichen Rand - d.h. oberhalb von Cambleo bis zu 1300 m Kote sehen die

Aufschlüsse gletscherpoliert aus. Eben beim Anstehenden von Piano del Monte, den Ri del Pizzone entlang, merkt man das Auftreten von schönen Platten.

### 6.5.1 Morphologische Merkmale:

#### - Aufschlüsse

Grosse Anzahl von Lithologien ist sichtbar. Neben den verschiedenen Gneisen fällt das Vorhandensein von Amphiboliten und Kalk genau oberhalb der Krone auf. Diese schwache Lithologien bilden kleine Linsen im m Bereich (694 750/141 030). Es handelt sich um steilen Felspartien oder Wände, die i.a. stark verwittert und zerklüftet sind; ihr Auftreten kann sporadisch sein. Nur im Bereich nah von Cambleo und beim Anstehenden von Piano del Monte sieht man, wie sie vom Gletscher poliert wurden.

#### - Klüfte

Sie sind i.a. offen und glatt und weisen Orientierungen NS und EW auf. Im Kapitel "Analyse der Klüfte" befindet sich eine detaillierte Beschreibung.

#### - Gegensteigungen

Einige Gegensteigungen sind auf den Rändern sichtbar; sie sind aber sehr klein und wenig ausgeprägt.

#### - Nackentälchen

Verschiedene Nackentälchen schneiden oft die Ränder, insbesondere im Zusammenhang der perimetrale Störung. Sowohl im Norden als auch im Süden merkt man steilen, tiefen und schmalen Nackentälchen. Beide weisen etwa 70° Einfallswinkel in westlichen Richtung und verlaufen im Kronenbereich als ausgeprägten Gegensteigungen.

Ein anderes wichtiges Nackentälchen schneidet den Motto della Fame in E-W Richtung. Die Zertrümmerung der verschiedenen Aufschlüsse deuten an einer Störung, die sich allmählich vergrössern kann. Sie weist nämlich an ihrem obersten Ende eine grosse Einbuchtung.

Die Betrachtung dieser Störung mit Luftbilder lässt an eine Fortsetzung im Sackungsbereich denken. Nämlich kann man dieselbe Orientierung bei den Nackentälchen beobachten, die den Depressionsbereich in zwei teilen.

- Vegetation

Verschiedene Bäume und Pflanzen bedecken das Gebiet; trotzdem treten oft Escarpements – von kleine Felsschläge verursacht - und Nackentälchen auf, die nicht bedeckt sind.

- Bedeckung

Besteht vor allem aus Steine im cm- bis dm- Bereich und tritt insbesondere in den Nackentälchen. Bei den Escarpements sind oft grösseren Blöcke nachweisbar.

### **6.5.2 Zusammenfassung**

Oberhalb von 1300 m Kote widerspiegeln die 200 m mächtigen Ränder das fortgeschrittenes Stadium der Sackung. Eine Vielfachheit von Nackentälchen, Gegensteigungen und verklüfteten Aufschlüssen, sowie eine verflachte Schieferungsorientierung deuten auf dieses Entlastungsereignis, das seinerseits Folge der riesigen Bewegung ist.

Im untersten Teil sehen die Aufschlüsse gletscherpoliert aus und zeigen keine morphologischen Merkmalen auf, d.h. die Sackung sollte sich 100 bis 200 m oberhalb vom Talboden ausgelöst haben. Das steht genau im Zusammenhang mit der breiten Ebene im Bereich von Cambleo: es sieht nämlich so aus, als ob sich das Lavizzara tal südlich verbreitet hätte und der östliche Hang eine bergswärtige Biegung aufgeweist hätte. Im Bereich der Strassenkehren von Peccia sollte sich die Biegung schliessen. Ausserdem steht die Mächtigkeit der gletscherpolierten Hänge genau im Zusammenhang mit derjenige der steilen Ränder (etwa 200 m).

## 6.6 KRONE – ANSTEHENDER BEREICH

Mit anstehenden Bereich bezeichnet man das Gebiet, das ausserhalb des Randes der Sackung liegt und der darum von der tiefen vermuteten Gleitfläche der Sackung nicht geschnitten wird. Bewegungen sollen abwesend – oder sehr beschränkt – sein, trotzdem treten Sackungsmerkmale insbesondere in der unmittelbaren Nähe der Ränder auf; man bezeichnet dieses Gebiet als Krone [26]. Die Ursache dafür ist die steile Morphologie der Ränder und der riesige Massenverlust im Sackungsbereich, die zu neuen Spannungsverhältnissen im Gebirge geführt hat.

Im Detail findet man diese Zone oberhalb der Sackung, zwischen dem Motto della Fame und dem Ri Scudau, um etwa 2100 m Kote. Nach Norden biegt sie westlich und läuft vom Motto della Fame bis Cambleo und unterhalb der Dolomitlinse um 1500 m Kote verbreitet sie sich und befasst den Bosco di Rüscada bis zu Cospat (693 950/142 450). Nach Süden, bei der perimetralen Störung verläuft sie in SW-Richtung, den Riazzöö entlang, bis nach Peccia.

Es tritt dagegen eine zweite Zone auf, die nicht vom Massenverlust beansprucht wird: das Hügel von Piano del Monte.

### 6.6.1 Morphologische Merkmale der Krone: ZONE 7

#### - Aufschlüsse

Eine ganze Palette von Lithologien tritt auf. Ihr Vorkommen entspricht immer steilen Partien oder Felswänden. Normalerweise sind die flächeren Teilen mit blockschuttartiger Ablagerung bedeckt.

#### - Klüfte

Offene, glatte Klüfte sind in diesem Bereich die Regel. Besser wird das im Kapitel 7 beschrieben. Sie führen zur Bildung von Erosionskanten insbesondere bei der Motto della Fame. Dort ist nämlich eine 10 m hohe Stufe, die eine Absenkung in Hangsrichtung darstellt (Abbildung 30).



Abbildung 30: Stufe beim Motto della Fame (roter Pfeil) etwa 10 m hoch, um 2100 m ü.M.

Sie ist mit den Störungen (violett) korrelierbar, die NNW-SSO verlaufen.

#### - Gegensteigungen

Kurze (bis 10-20 m lang), tiefe (bis 5 m) Gegensteigungen treten im Bereich des nördlichen und des südlichen Grats auf. Im oberen Teil sind oft getonte, bis 100 m lange Gegensteigungen zu beobachten; wie auf er Abbildung 31 dargestellt wird.

Die perimetrale Störung verläuft auf dem südlichen Rand, um 1920 m, als Gegensteigung weiter.

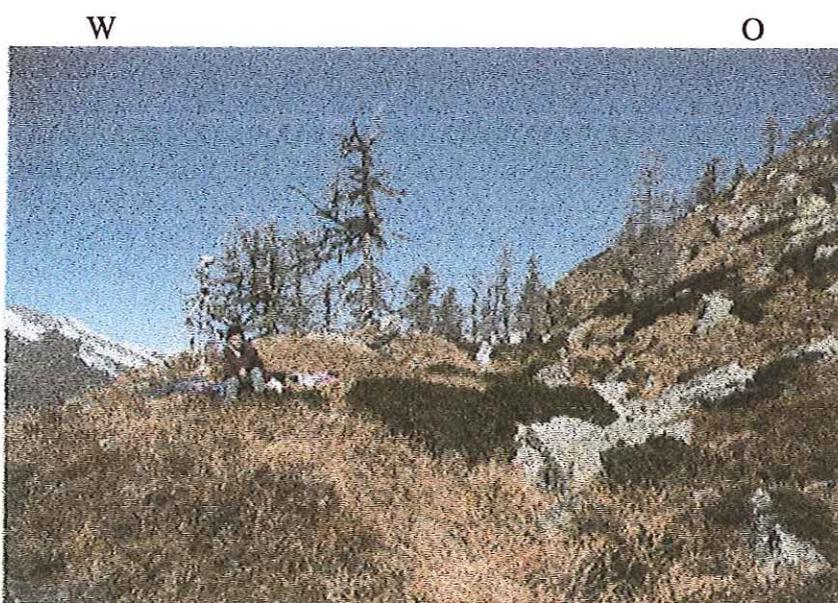


Abbildung 31: Gegensteigung bei 1971 m Kote, wo der Fixpunkt 213 für die GPS Messung liegt.

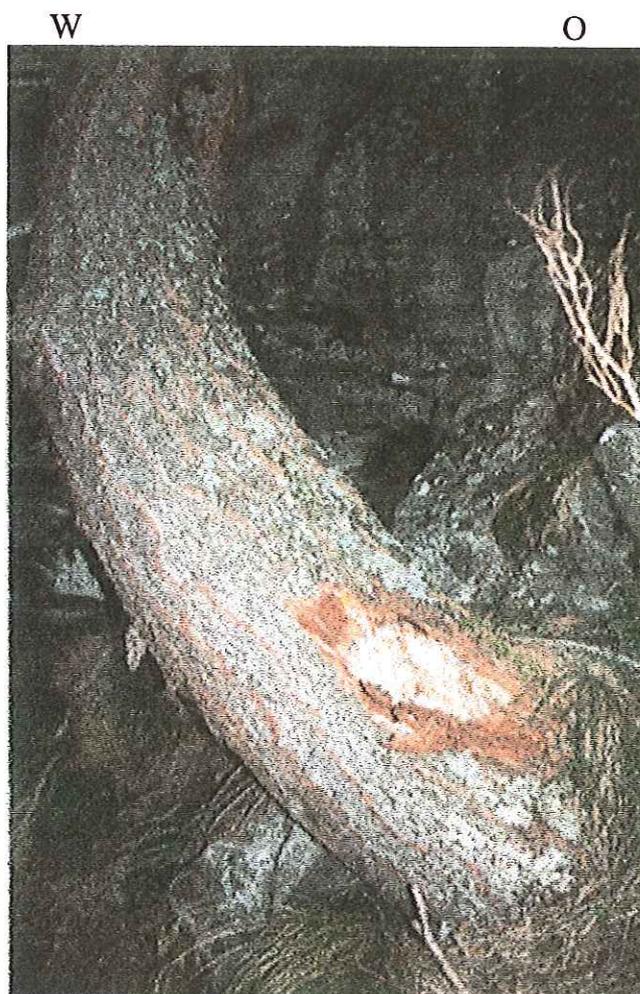
- Nackentälchen

Das Riazzöö Tal ist ein etwa 2 Km langes Nackentälchen, das von steilen, zerbrochenen Felswänden umhüllt wird. Es handelt sich eigentlich um eine grosse tektonische Störung (vgl. Kapitel 8).

- Vegetation

Die obere Waldgrenze liegt um 2100 m Kote. Unterhalb ist das Gebiet stark bewaldet. Oft weisen die Bäume Schläge von grossen Blöcke auf, wie auf der Abbildung 32 dargestellt wird.

*Abbildung 32: Ein grosser Block ist gegen den Baum geprallt. Das passiert sowohl im Kronenbereich (wie in diesem Fall um 1950 m, oberhalb des südlichen Randes), als auch im Bereich der Sackung selbst.*

- Bedeckung

Blockschuttablagerung bedeckt im allgemeinen das Gebiet, wo es flacher ist. Nur im Bereich zwischen Cambleo und 1500 m, bei dem Bosco di Rüscada, sind auch Humus und feinkörnige Ablagerung vorhanden.

Ein grosser Teil zwischen den Anstehenden vom Piano del Monte und Agrei wird von Blockschuttablagerung im m- Bereich bedeckt. Weder Gegensteigungen noch Nackentälchen und ander Sackungsmerkmale wurden hier beobachtet, darum wurde sie als Anstehender kartiert.

### **6.6.2 Morphologische Merkmale beim Anstehenden vom Piano del Monte (ZONE 8) und zwischen Piano del Monte und Agrei (ZONE 8A)**

#### ***1) Anstehenden von Piano del Monte: ZONE 8***

In dieser Zone wurden keine Sackungsmerkmale beobachtet, ausserdem zeigt der Einfall der Schieferung keine Versackung.

##### - Aufschlüsse

Es handelt sich hauptsächlich um Alpigia Gneis, Paragneis und Glimmerschiefer. Steile Felswände, die von Peccia sichtbar sind, umhüllen die Moräne von Piano del Monte. Die Schieferung liegt normal um 45-50° W.

##### - Klüfte

Offene, glatte Klüfte sind vorhanden. In diesem Bereich treten insbesondere Entlastungsklüfte auf. Für Details vgl. Kap. 7.3.3.

##### - Gegensteigungen

Keine

##### - Nackentälchen

Keine

##### - Vegetation

Ausser der Felswand ist das Gebiet mit grossen Bäumen bewachsen.

##### - Bedeckung

Grosse Blöcke aus Felsstürzen bis bodenartige Ablagerung.

## **II) Zone zwischen Piano del Monte und Agrei: ZONE 8A**

Keine Zeugen von versackenden Bewegungen wurden festgestellt. Die Blöcke wurden wahrscheinlich als Felssturzereignisse aus der steile obengelegene Hänge abgelagert. Ausserdem im unteren Bereich bei Pian Mosello sind die verschiedene Gneisschichten gut von Seite zu Seite korrelierbar, was für eine Felsbrücke spricht. Sie gehört darum zur Zone des Anstehend von Piano del Monte.

### **6.6.3 Zusammenfassung von Kapitel 6.6**

Das ganze Gebiet wird in der Nähe des Randes noch stark beeinflusst, insbesondere oberhalb der Sackung, wo die Entlastung maximal war, beträgt die Breite der versackten Zone etwa 200 m!

Beim Piano del Monte ist die ursprüngliche Struktur noch erhalten. Es handelt sich wahrscheinlich um eine Felsbrücke - also ein in situ Felspaket -, die mit dem Ende des obgelegenen Lavizzara Tal entspricht.

## 6.7 BESCHREIBUNG DES PROFILS VOM BERGSTURZ UND VON DER SACKUNG

### 6.7.1 Profil "Bergsturz" (Beilage 10)

Das Profil (Koord: 693 940,141 180 // 692 610, 140 230; Profilsuren auf Beilage 5) verläuft der maximalen Neigung entlang, d.h. mit NO-SW Achsenrichtung. Die Eintragung einer vermuteten Gleitfläche wurde durch einen Best-fit der Hangneigung (oberhalb 1300 m) und der Lage der Quellen um 890 m, die die obere bzw. die untere Extremität der sich bewegende Bergsturzmasse darstellen, gemacht. Das Vorhandensein einer Gleitfläche ist sehr wahrscheinlich, weil er aufgrund einer riesigen Bewegung entstand. Man hat nämlich die Lithologien des Anstehenden interpoliert und unterhalb der Sackungsgleitfläche eingetragen. Dasselbe wurde gemacht für diejenigen der Sackung, welche zwischen beiden Gleitflächen eingezeichnet wurden. Der Bergsturz weist keine Aufschlüsse auf ausgenommen einen kleinen Paragneispaket bei 1050 m. Eine Korrelation Sackung-Anstehend und Sackung Bergsturz ist nicht mehr möglich, was auf ein grosses Versatz deutet.

In schwarz wurde ausserdem das vermutete Schieferungsverhalten im Untergrund anhand der vorhandenen Messungen im Bergsturzgebiet und vom Anstehenden beim Piano del Monte eingetragen.

Das Abbruchgebiet des Bergsturzes sollte sich vom oberen Rand bis zur maximalen Aufwölbung verbreiten. Man vermutet, dass die ursprüngliche Form des betrachteten Gebietes ähnlich wie diejenige ist, die heutzutage unterhalb von der Alpe Arena noch sichtbar ist. Nämlich wurde dieses Gebiet im Jahr 1834 nicht beansprucht. Die berechnete Höhe beträgt etwa 50 m.

Die vermutete Gleitfläche der Sackung wurde mit derjenige im Profil "Sackung" (Beilage 11) verglichen. Sie sollte ungefähr um 1000 m ü. M. enden, in der Nähe der Quellen und sich mit derjenigen des Bergsturzes vereinigen.

Pauschalgefälle des Bergsturzes:  $21,56^\circ$ . Der erhaltene Wert, korreliert mit dem Volumen, entspricht fast genau demjenigen, der von Abele [1, p. 45] für den langen Bergsturz der Cima di Dosde in Val Poschiavo berechnet wurde. Es handelt sich um eine grosse Rutschmasse, die sich in einer grossen Trümmerlandschaft befindet. Weitere Beziehungen mit dem Bergsturz 1834 stehen in dem lithologischen Untergrund (kristallin) und der Fahrbahn - parallel zur Talrichtung -.

Das gestufte Profil, das beim Bergsturz 1834 entstanden ist, kann ebenfalls in Korrelation mit dem Pauschalgefälle gesetzt werden, wobei je steiler die Morphologie, desto gestuftere das Profil wird [1, p.75].

### **6.7.2 Profil "Sackung" (Beilage 11)**

Das Sackungsprofil (Koord: 694 990/140 900 // 693 130/ 140 930) verläuft auch durch die maximale Neigung des Hanges, von der Ganne del Pizzo Rüscada über die Quellen auf 1050 m bis ins Maggia Talboden.

Es wurde versucht, die verschiedenen Gegensteigungen einzutragen und, je nach morphologischer Gestalt und Dynamik zu Klassieren. Man kann also die UD-scarps bei der Alpe Arena, sowie die DD-scarps bei den Aufschlüssen auf 1600 m beobachten. Diese "Störungen" wurden bis zur Tiefe der Hauptgleitfläche, einer Interpolation der oberen und der unteren Extremität in einer Tiefe von 100-150 m, eingetragen. Es ist aber nicht ausgeschlossen, dass sie ein listrisches Verhalten [6] aufweisen.

Die Eintragung der Lithologien der Ränder, die unterhalb der Hauptgleitfläche interpoliert werden, zeigt auch in diesem Fall keine Korrelation.

## **6.8 VOLUMENBERECHNUNG DER SACKUNG UND DES BERGSTURZES**

### **6.8.1 Bergsturz**

Es wurde zuerst die Fläche anhand Abbildung 33A berechnet: das ganze Gebiet wurde als ein rechteckiges Trapez dargestellt. Verbesserungen wurden dann durch Addition oder Subtraktion von kleineren anpassenden Polygonen gemacht. Man erhält eine Fläche von 222100 m<sup>2</sup> im Ablagerungsgebiet, bzw. 365300 m<sup>2</sup> im Abbruchgebiet. Die Berechnungen sind auf Tabelle 4 dargestellt.

Die mögliche Höhe wurde dank dem Profil "Bergsturz: Volumenberechnung" (Beilage 12) berechnet.

Anhand dieser Rekonstruktion kann man das ursprüngliche Volumen vom Abbruchsgebiet rekonstruieren: er beträgt 18 Mio. m<sup>3</sup>.

Das Ablagerungsgebiet sollte sich unterhalb der Quellen (etwa um 890 m) befinden, denn sie die Begrenzung der Gleitfläche darstellen. Seine unterste Abgrenzung sollte der Berg sein.

Mit derselben Durchführung erhält man ein Ablagerungsvolumen von etwa 4,5 Mio m<sup>3</sup>.

Das Verhältnis Abbruchsvolumen über Ablagerungsvolumen beträgt dann 4,11; also 3/4 des ursprünglichen Abbruchgebietes sind verschwunden. Das konnte bedeuten, dass ein beträchtlicher Teil Materials vom Wasser des Maggia Flusses weggebracht wurde. Die Frage ist jetzt, ob die Maggia allein ein solches riesiges Volumen Material abtransportieren konnte. Wahrscheinlich spielen andere Prozesse auch eine wichtige Rolle.

Man vermutet nicht, dass ein tieferer Ablagerungsraum möglich ist, denn der Tal hatte sich schon im Postglazial teilweise gefüllt. Wahrscheinlich hatte man vor dem Ereignis 1834 eine flache Ebene.

Eine weitere plausible Möglichkeit ist, dass das Abbruchgebiet sich nur teilweise durch das enge Rinne entleeren konnte. Ein riesiger Teil von Material ist praktisch im Abbruchgebiet geblieben und gleitet sie noch heutzutage langsam in Talrichtung. Das sollte quasi die Sackungsmorphologie erklären, die nur im oberen Teil des Bergsturzes anhand Nackentälchen erkennbar ist. Unterhalb des Hanges hat man nur Schuttablagerung, die mit Vegetation bedeckt ist.

Die plausibelsten Prozesse, die im Bergsturz 1834 vorkommen, sind also:

- einerseits der Transport, durch den Maggia Fluss verursacht,
- andererseits die Erhaltung eines beträchtlichen Teils von Material im Abbruchsgebiet selbst. Diese Letzte wegen der steilen Gegenhänge vom Pizzo Mascarpino (691 250/142 300).

Es wurde also versucht, das Volumen des heutigen Abbruchgebietes (d.h. der sich bewegenden Masse) zu berechnen (Abbildung 32 B und Tabelle 5A).

Es beträgt etwa 14 Mio m<sup>3</sup>, was genau dem fehlenden Volumen entspricht.

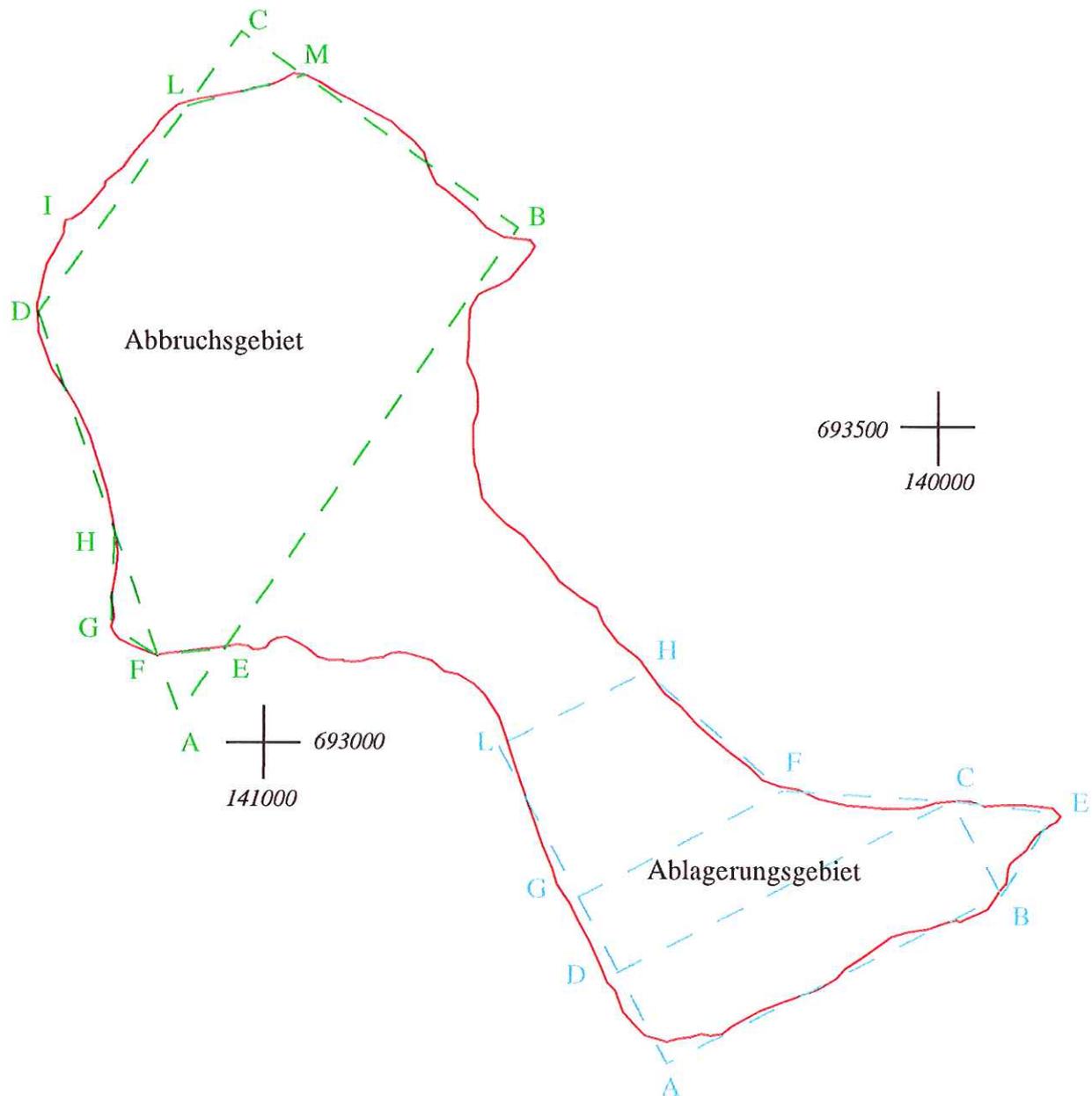
Die Erhaltung von Material im Abbruchsgebiet selbst scheint also zu dominieren.

## 6.8.2 Volumenberechnung der Sackung

Mit einem Verfahren, das ähnlich zu demjenigen für die Berechnung des Bergsturzvolumen ist, wurde auch das der sich bewegenden Masse der Sackung berechnet (Abbildung 34 und Tabelle 6). Für die Berechnung wurde die Fläche anhand Abbildung 34 berechnet und die vermutete Höhe aus dem "Profil Sackung" (Beilage 11) interpoliert. Da das Aussehen etwa konstant aussieht, wurde das Volumen als ein Quader betrachtet.

Das bekommene Volumen beträgt etwa 140 Mio m<sup>3</sup>, also liegt im Bereich der vermuteten Annahmen vom Geologen Giorgio Valenti [27] und von Eisbacher und Clague [8].

Abbildung 33A: Das Gebiet des Bergsturzes wurde in verschiedene Polygone unterteilt, um seine Fläche berechnen zu können.

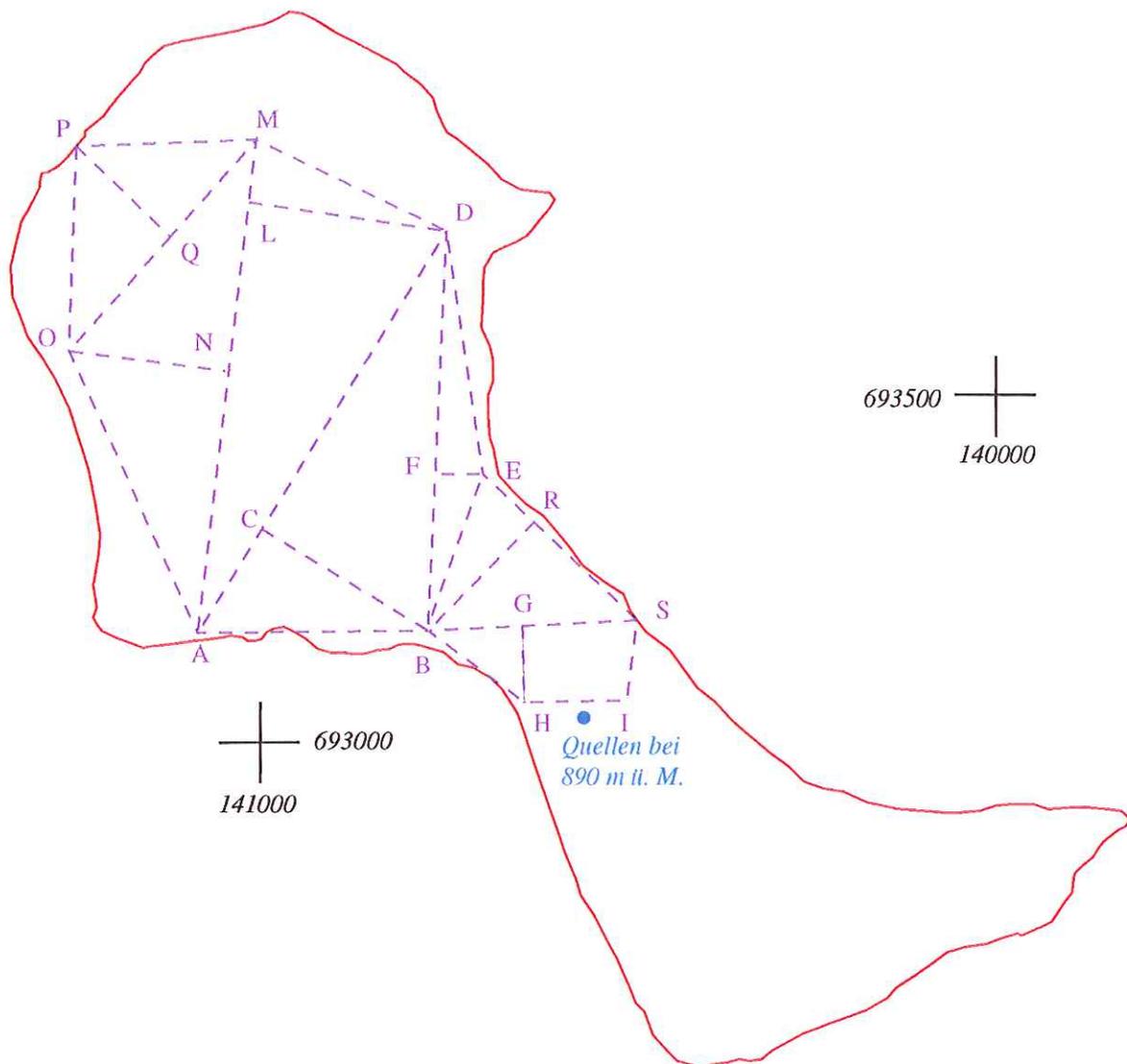


Abbruchgebiet						
<b>ABCD:</b>			<b>AEF:</b>		<b>FGH:</b>	
AB	900		AE	130	FH	160
BC	520		Höhe	80	Höhe	50
CD	520					
Fläche [m <sup>2</sup> ]	369200		Fläche	5200	Fläche	4000
<b>DIL:</b>			<b>CLM:</b>			
DL	380		LC	140		
Höhe	30		CM	120		
Fläche	5700		Fläche	8400		
<b>Fläche Abbruchgebiet [m<sup>2</sup>]</b>						
				<b>365300</b>		
<b>Durchschnittliche Höhe [m]</b>						
				<b>50</b>		
<b>Volumen Abbruchgebiet [m<sup>3</sup>]</b>						
				<b>18265000</b>		
Ablagerungsgebiet						
<b>ABCD:</b>			<b>BCE:</b>			
AB	150		CB	150		
CD	560		Höhe	130		
Fläche	84000		Fläche	9750		
<b>FGHI:</b>			<b>CDFG:</b>			
FG	350		CD	560		
HI	240		FG	350		
GI	250		GD	120		
Fläche	73750		Fläche	54600		
<b>Fläche Ablagerungsgebiet [m<sup>2</sup>]</b>						
				<b>222100</b>		
<b>Durchschnittliche Höhe [m]</b>						
				<b>20</b>		
<b>Volumen Ablagerungsgebiet [m<sup>3</sup>]</b>						
				<b>4442000</b>		
Verhältnis						
<b>Volumen Abb/Volumen Abl</b>				<b>4.11</b>		

Tabelle 5: Volumenberechnungen des Bergsturzes

Die verschiedenen Polygone beziehen sich zur Figur 32. Alle Messungen in m bzw. m<sup>2</sup>

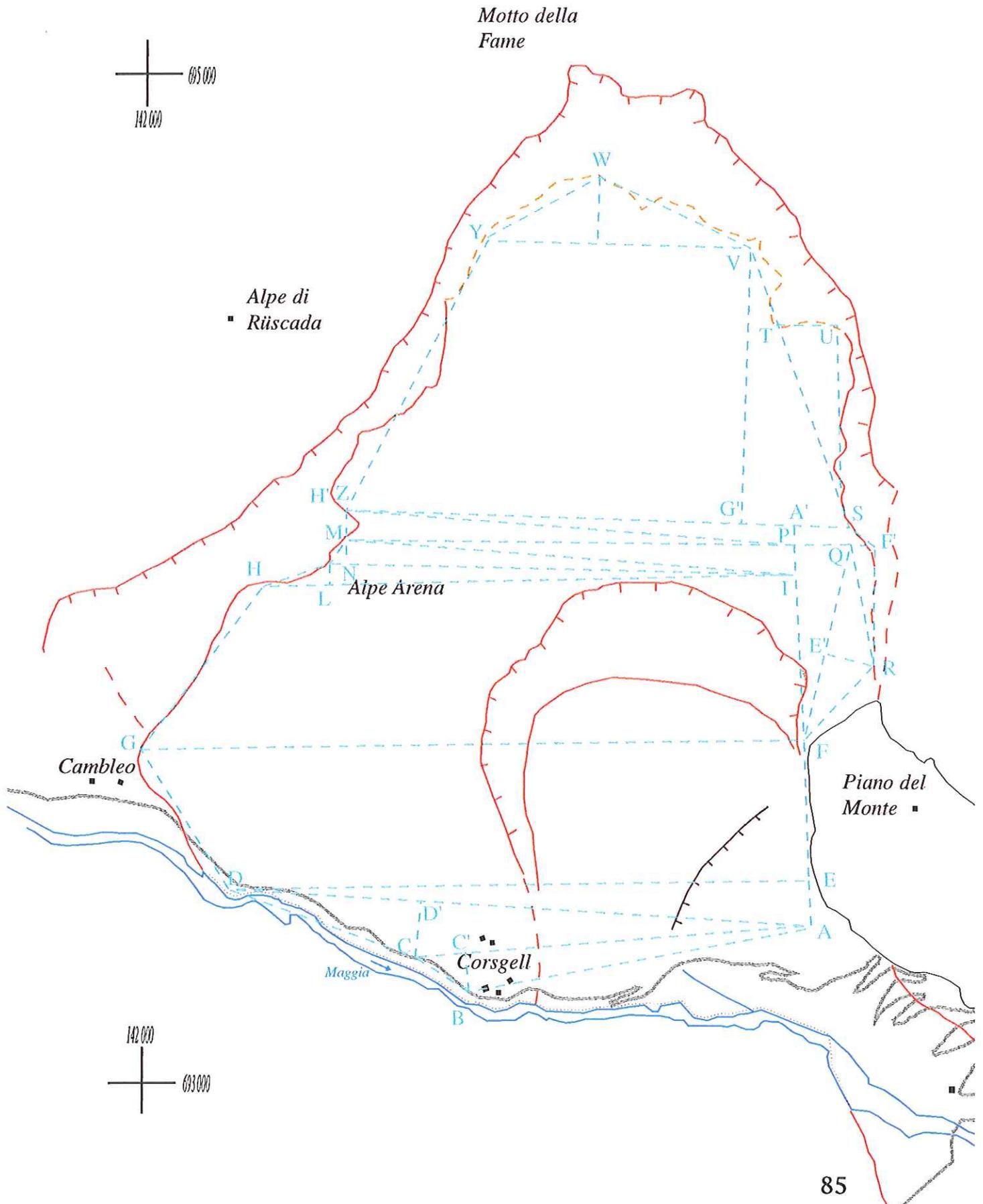
Abbildung 33B: Das Gebiet der sich bewegenden Masse des Bergsturzes wurde in verschiedene Polygone unterteilt, um seine Fläche berechnen zu können.



Volumenberechnung des heutigen Abbruchgebietes des Bergsturzes									
AD	660	BD	570	AD	660	AM	680	OM	390
CB	270	FE	70	LM	270	NO	220	PQ	160
Fläche	89100	Fläche	19950	Fläche	89100	Fläche	74800	Fläche	31200
ES	300	BS	300						
BR	200	HI	140						
		GH	110						
Fläche	30000	Fläche	24200						
Fläche Total [m <sup>2</sup> ]:								358350	
Vermutete Tiefe der Gleitfläche [m]:								40	
Volumen der sich bewegenden Masse [m <sup>3</sup> ]:				14334000					

Tabelle 5A: Volumen des heutigen Abbruchgebietes

Abbildung 34: Die sich bewegende Masse der Sackung wurde in verschiedene Polygone unterteilt, um seine Fläche berechnen zu können.





## 7. ANALYSE DER KLÜFTE UND DER STÖRUNGEN

### 7.1. EINFÜHRUNG

Die Dynamik der Sackung kann anhand der Beschreibung und der Analyse der Klüften besser erklärt werden.

In diesem Kapitel werden die strukturellen Merkmale beschrieben von:

- Klüftenfamilien,
- Störungen (siehe auch Beilage 6: Karte der Störungen),
- Schieferung im Sackungsbereich, die oft bruchartig und nicht mehr mit der alpine Orogenese korrelierbar ist (vgl. Beilage 3: Schieferungskarte).

### 7.2. KLÜFTENFAMILIEN

Es gibt drei verschiedene Familien:

- Steile NS verlaufende Brüche,
- Steile EW verlaufende Brüche,
- Flache NS verlaufende Brüche, mit westlicher Einfallrichtung,

#### 7.2.1 Steile NS verlaufende Brüche

Es handelt sich hauptsächlich um offene und glatte Bruchflächen, deren Einfallswinkel grösser als  $70^\circ$  ist und die insbesondere an den Rändern der Sackungen auftreten. Ihre Öffnung beträgt einige cm bis einige dm. Selten sind rutschharnische Strukturen sichtbar, so dass es vermutbar wird, die Bewegung sei wegen Rotation der einzelnen Felspartien entstanden.

#### 7.2.2 Steile EW verlaufende Brüche

Es handelt sich um glatte Brüche, die normalerweise offen im cm- bis dm- Bereich sind. Ihrem Aussehen gleicht also denjenigen von Gruppe 1; während die Orientierung senkrecht ist. Das Vorhandensein von Kristallwachstum auf ihren Flächen deutet an einen alten Ursprung (Abbildung 35).

Man kann oft einen gemeinsamen Auftritt dieser zwei Familien beobachten, wie im Beispiel von Abbildung 35. Sie wurde am nördlichen Rand, um 1650 m Kote aufgenommen.

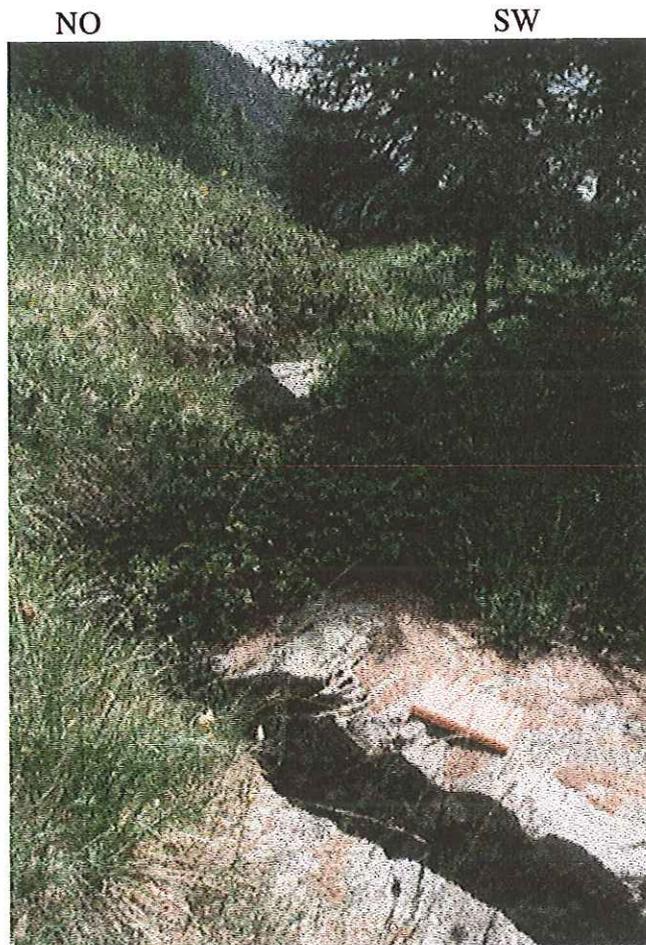
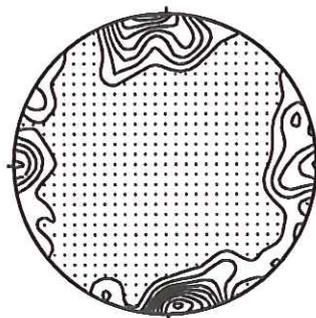


Abbildung 35: Vorhandensein von offenen, glatten Klüften am Nordrand der Sackung, bei 1600 m Kote. Die Richtungen deuten auf eine NS und eine EW Orientierung.

Das Stereoplot zeigt ausserdem die ausgeprägte Verteilung der Klüfte in zwei Familien.

NS und EW verlaufende Brüche

Abbildung 36



40 Messungen, Flächenpole

### 7.2.3 Flache NS verlaufende Brüche

Ihre Orientierung entspricht denjenigen der zweiten Kluffamilie - NS - doch ist der Einfallswinkel relativ gering und entspricht quasi der Hangneigung. Als Folge bilden sich oberflächennahe Brüche, die den Hang in Platten schneiden. Die unterstehende Abbildung 37 stellt diese Klüfte dar.



Abbildung 37: Entlastungsklüfte bei den Straßenkehren von Peccia.  
(693 200/140 400)

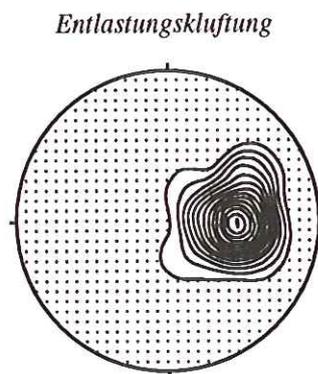


Abbildung 38

28 Messungen

Man erkennt, sie sind glatt und offen<sup>1</sup>, als ob eine Entlastung stattgefunden hätte. Diese Klüfte werden also als Entlastungsbrüche bezeichnet und sind vermutlich beim

---

<sup>1</sup>Vermutlich sind sie im Untergrund abwesend, wobei der Bodendruck die Entlastung übersteigen soll.

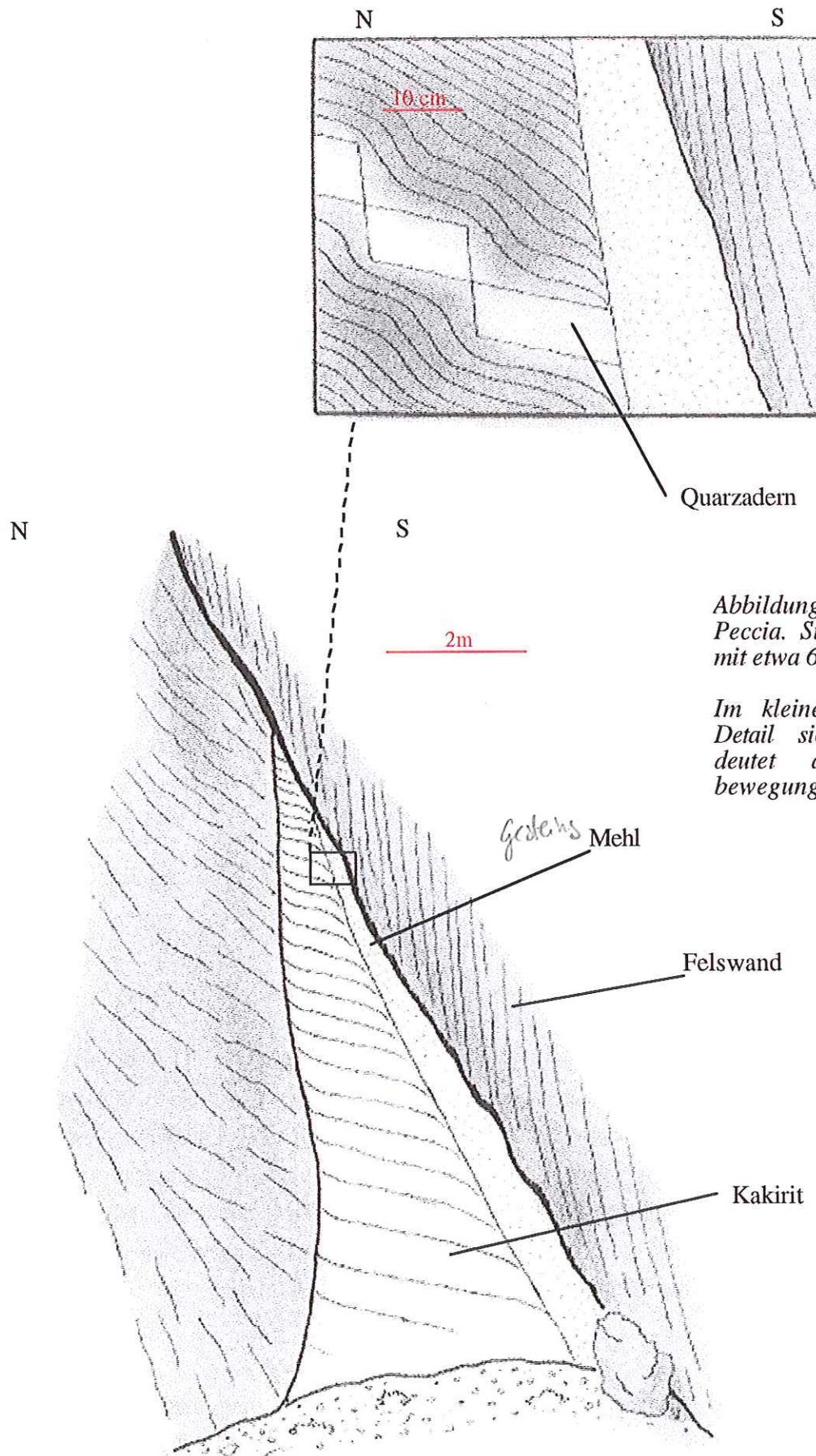


Abbildung 39: Die Störung bei Peccia. Sie taucht nach Süden mit etwa 60° Einfallwinkel ab.

Im kleinen Abschnitt ist ein Detail sichtbar: die Störung deutet auf eine Sinistralbewegung

Abbildung 29, p. 70). Ihre Entstehung soll ähnlich zu denjenigen, welchen bei der Alpe Arena beobachtet wurden: die von der Sackung verursachten Entlastung.

### 7.3.4 Andere vorhandene Störungen

Anhand der Luftbilder erkennt man, dass das Gebiet von verschiedenen parallelen Störungen - Achse NO-SW - geschnitten wird.

Am bestens erkennbar ist der Riazö (694 200/140 250). Dieses Nackentälchen findet seine oberen Ende bei 1900 m Kote. Anhand Luftbilder wurde aber beobachtet, dass es den Rand der Sackung entlang verläuft und nach NO bis dem Sattel bei Motto Fornale (695 500/141 600) verfolgbar ist, wie es in der Panoramische Abbildung 41 zu sehen ist. Ihr unterstes Ende entspricht dem Lavizzara Talboden, aber es wird auf der rechten Seite des Tales wieder verfolgbar und geht weiter in SW Richtung bis zum Piz da Brüesch (690 600/137 120).

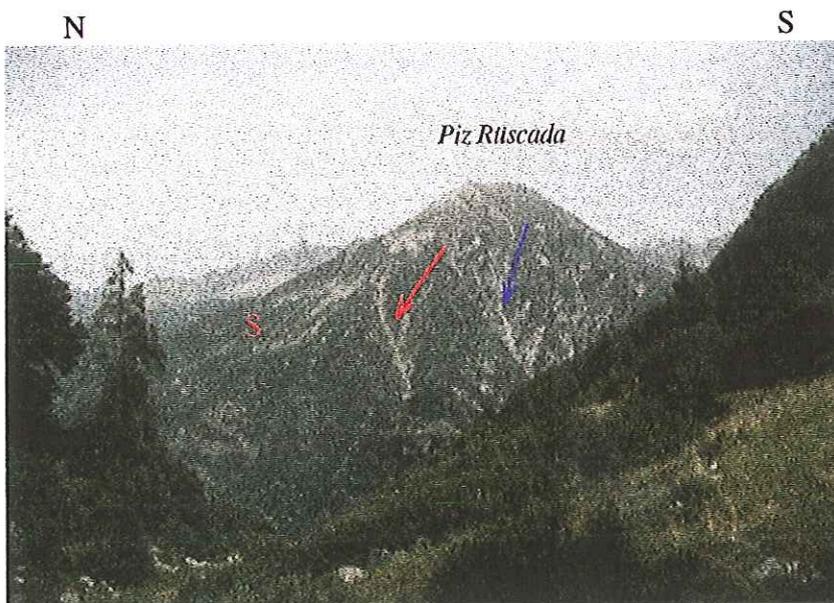


Abbildung 41: Die Riazö Störung (roter Pfeil) verläuft in NO-SW Richtung dem Sackungsgebiet (in S) entlang. Man erkennt daneben die Störung dem Ri Scudau entlang (blauer Pfeil), parallel dazu.

Auf der rechten Seite des Lavizzara Tals wurde schon eine Sackung im Anfangsstadium erkannt [G. Valenti, mündliche Mitteilung]. Man erkennt auf der Abbildung 42 die Sackung im Bereich von Monti di Rima, die im anfangsstadium ist. Andere Störungen verlaufen parallel zum Riazö (siehe z.B. Ri Scudau, 694 560/139 950). Ihre wahre Orientierung wurde aber im Feld nicht festgestellt.

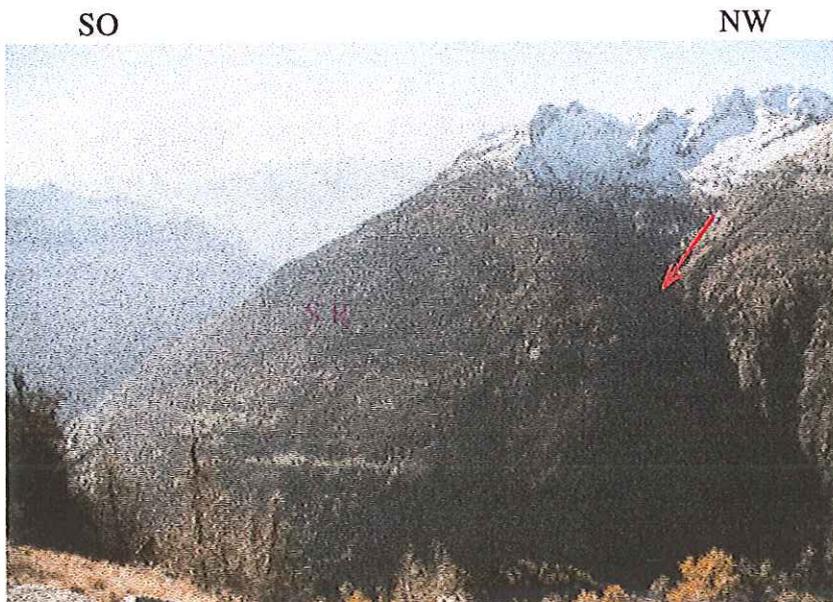


Abbildung 42: Man erkennt die Fortsetzung der Riazstö Störung (roter Pfeil), die quasi im Kontakt der Sackung von Rima bei SR liegt.

#### 7.4. ANALYSE DER SCHIEFERUNGEN IM SACKUNGSBEREICH

Wie im struktureologischen Teil schon erwähnt, fällt normalerweise die Schieferung - im Anstehenden - mit etwa  $45^\circ$  nach Osten. Das ist nicht der Fall weder für das Sackungsbereich noch für einige Zonen im Anstehenden selbst – Kronenbereich -.

Ein Vergleich der Schieferungsorientierung in den verschiedenen Zonen erlaubt Aussagen über die Verkipfung der Sackung zu machen; die unterstehenden Stereoplots (Abbildung 43) zeigen die verschiedenen Messungen.

Man sieht, dass die Schieferungen im Anstehenden eine kompakte Wolke bilden, während diejenigen in der Sackung gestreut sind. Tendentiell liegen diese letzten flacher, um etwa  $20^\circ$  Neigungswinkel, doch weisen einige Punkte auch eine nach Westen einfallenden Schieferung.

Die Schieferungen in der Krone weisen einige flächere Werte. Solche Orientierungen wurden im Gebiet oberhalb der Sackung nachgewiesen, etwa um 2200 m Kote. Man vermutet, dass die Abwesenheit des grossen Sackungsbereich sich bis in den oberen Bereich des Anstehenden widerschlägt.

## 7.5 ZUSAMMENFASSUNG

Als Zusammenfassung werden den folgenden Blockdiagramme (Abbildung 45) dargestellt, die das Verhalten der verschiedenen Klüftenfamilien und der Schieferung deutlich darstellen. Der Verlauf der Störungen wird besser anhand der Karte *Störungen* (Beilage 6) sichtbar.

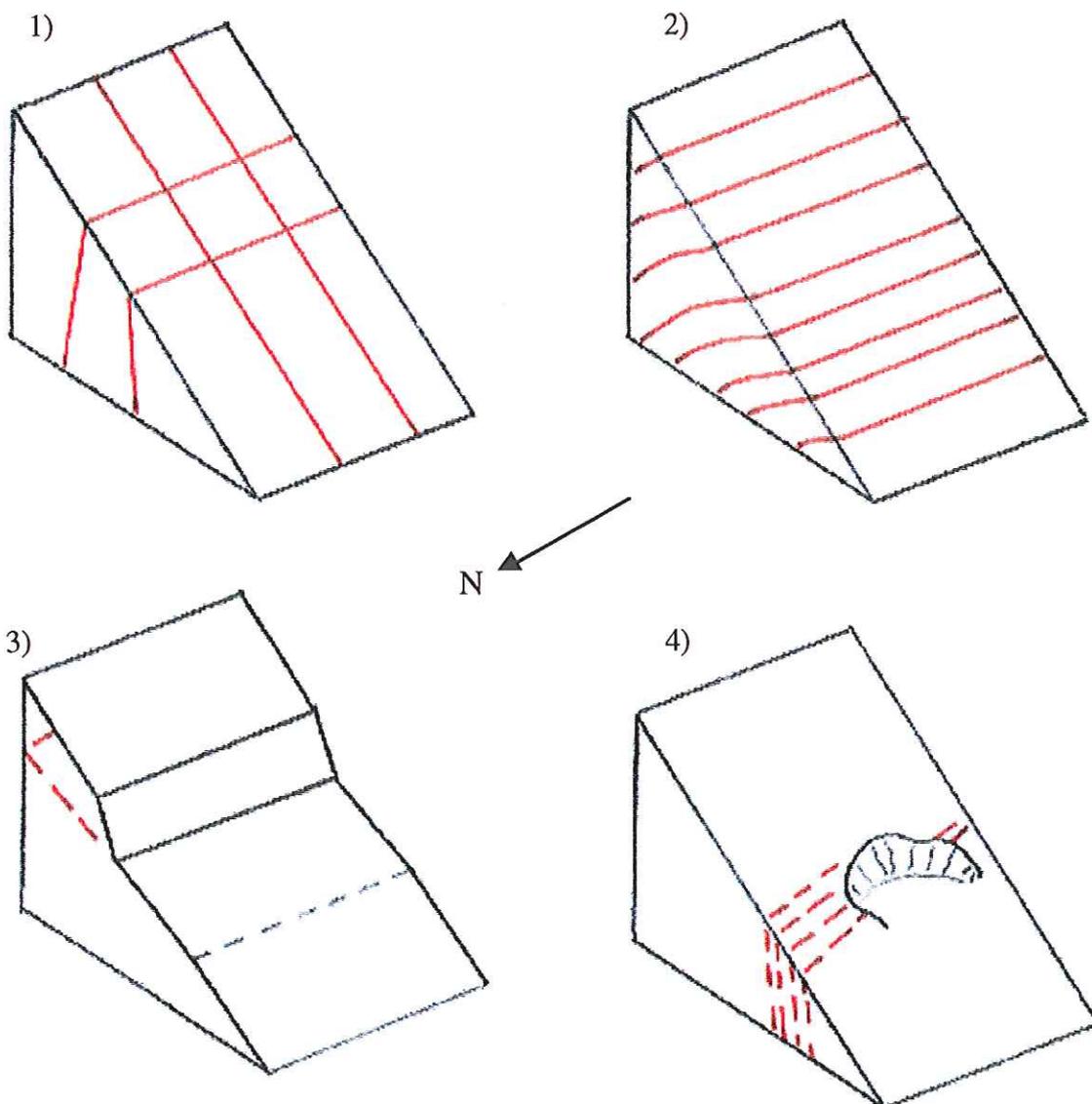


Abbildung 45:

- 1) Steile NS und EW verlaufende Brüche
- 2) Schieferung
- 3) Entlastungsbrüche
- 4) Störungen bei der Alpe Arena

## 8. GPS MESSUNGEN

### 8.1. EINFÜHRUNG

Um die Dynamik der Sackung besser zu verstehen, wurde entschieden, eine Messung der Bewegungen der Sackung durchzuführen.

Theodolitmessungen werden vom Geologischen Institut des Kantons Tessin (IGC) jährlich seit 1993 gemacht. Wegen der steilen Hänge des Pizzo Mascarpino (genau der Alpe Arena gegenüber) kann die Referenzstation leider nur um 1750 m Kote gelegt werden. Diese Lage erlaubt keine Messung im Sackungsbereich unterhalb der Alpe Arena. Ausserdem beträgt der Abstand Referenz-Messpunkte von etwa 2 Km, was zu Messfehler führen könnte.

Nach den folgenden Überlegungen fiel die Wahl der Geräte auf GPS statt Theodolit:

- keine Sichtverbindung im Gebiet zwischen den zu messenden Punkten ist möglich
- schnellerer Messvorgang mit GPS als mit Theodolit
- der unterste Teil der Sackung konnte auch gemessen werden
- die Genauigkeit von GPS ist etwa gleich wie diejenige von Theodolit
- die Referenzstation konnte im Sackungsbereich gelegt werden
- Vergleiche mit den Theodolitmessungen vom IGC sind möglich

### 8.2. MESSMETHODE

Verschiedene Messmodus sind mit dem GPS – *Global Positioning System* - möglich; hier wird die verbreiteste Messmethode - *Rapid static* - beschrieben.

Es wurden 2 verschiedene Messkampagnen durchgeführt: eine im Mai 1998 – Nullmessung - und eine im November 1998 –um die Bewegung festzustellen -. Pro Kampagne wurden Messpunkte und Fixpunkte zweimal gemessen, um die Qualität der Messungen zu überprüfen. Jedes erhaltene Wertepaar wurde dann gemittelt, um einen Wert pro Messkampagnen zu erhalten. Am Ende wurden die Lagen- bzw. Höhenunterschiede Mai-November 1998 ermittelt, die der Rutschhangbewegung während diesem Zeitintervall entsprechen sollten.

Die Ausrüstung jeder Messkampagne bestand aus 3 GPS Geräte - davon 2 für die Messung der Punkte (*Rover*) und einer für die Referenzstation – (Abbildung 45).

Die Referenzstation wurde aufgrund von der guten Himmelsichtbarkeit und wegen Bequemheit an der Alpe Arena gelegt. Sie war während jeder Kampagne immer eingeschaltet und mit einem stabilen Holzstativ an einen beliebigen Ort fixiert.

Dank der Referenzstation konnten dann Fixpunkte und Messpunkte nur während einem kurzen Intervall - d.h. etwa 20 min. pro Punkt – mit einer Messfrequenz von 15 Sekunden gemessen werden. Aus dem Vergleich der Referenzstation- und der Messpunktenmessungen konnte die genaue Lage jedes Messpunktes abgeleitet werden.

Es wurden 3 Fixpunkte – d.h. in der Lage und Höhe bekannten Punkten - (minimale notwendige Anzahl) auch gemessen, um die Umwandlung von GPS Koordinaten in schweizerische Koordinaten zu erlauben.

Sowohl die Korrektur als auch die Umwandlung der Koordinaten wurde von Dipl. Ing. Adrian Ryf an dem geodätischen Institut der ETHZ durchgeführt.



Abbildung 46: Gps Gerät auf dem Messpunkt 4.

Die Lagenunterschiede werden auf der *GPS-Karte: Lagenunterschiede* (Beilage 7) dargestellt und die Höhenunterschiede auf der *GPS-Karte: Höhenunterschiede* (Beilage 8). Sie liegen im Fehlerbereich des Apparates und sind dazu nicht signifikativ. Nur der Punkt 10 weist eine Bewegung im Dezimeterbereich, was an einen Messfehler denken lässt (Siehe Tabelle 7).

## 8.5. EVIDENZEN UND INTERPRETATION

Zwei Erklärungen sind in diesem Fall möglich:

- Die Sackung ist ganz stabil.
- Die Sackung weist langsame Bewegungen auf, die im betrachteten Zeitintervall (etwa sechs Monaten) nicht messbar sind.

Offensichtlich ist die zweite Erklärung die plausibelste, da die Messungen von IGC Bewegungen im cm Bereich pro Jahr zeigen.

Die Werte wurden trotzdem dargestellt, um festzustellen, ob eine allgemeine Tendenz beobachtbar ist.

### 8.5.1 Sackungsgebiet

#### 1) *Lagenunterschiede*

Oberhalb von 1500 m sind an den Punkten 2, 3 und 4 Bewegungen in südwestlicher Richtung erkennbar. Interessant ist der talwärtsige Trend für alle Punkte, der im untersten Bereich verschwindet. Der unterste Teil der Sackung bewegt sich nämlich mit einem bergswärtigen Trend (Punkte 4 fix, 5, 6 und 8; Ausnahme: Punkt 7).

Verglichen mit der Morphologie hat man den Eindruck, dass sich eine scharfe Grenze oberhalb der Alpe Arena Ebene befindet. Der obere Teil rutscht als Keil unter der Tiefgelegenen.

## **II) Höhenunterschiede**

Der Punkt 2 - der Höchstgelegene - weist eine Depression auf, während alle anderen Punkte eine Erhebung. Das Depressionsbereich würde dann praktisch zu einem sehr kleinen Teil beschränkt sein, was nicht realistisch ist.

## **III) Schlussbemerkungen**

Das vorgestellte Modell weist leider einige Lücken auf, wenn man Höhen und Lagenunterschiede zusammen betrachtet.

Wie ist es möglich, dass der unterliegende Teil eine bergswärtige Erhebung erleidet, ohne dass sie von einer nach Osten gerichteten Kraft geschoben wird? Eine Erklärung kann in einer rotationalen Bewegung des Hanges liegen (Abbildung 46). Die Unsicherheiten bleiben doch hoch und diese Hypothese ist mit grosser Vorsicht zu behandeln.

## **8.5.2 Bergsturz 1834**

### **I) Einführung**

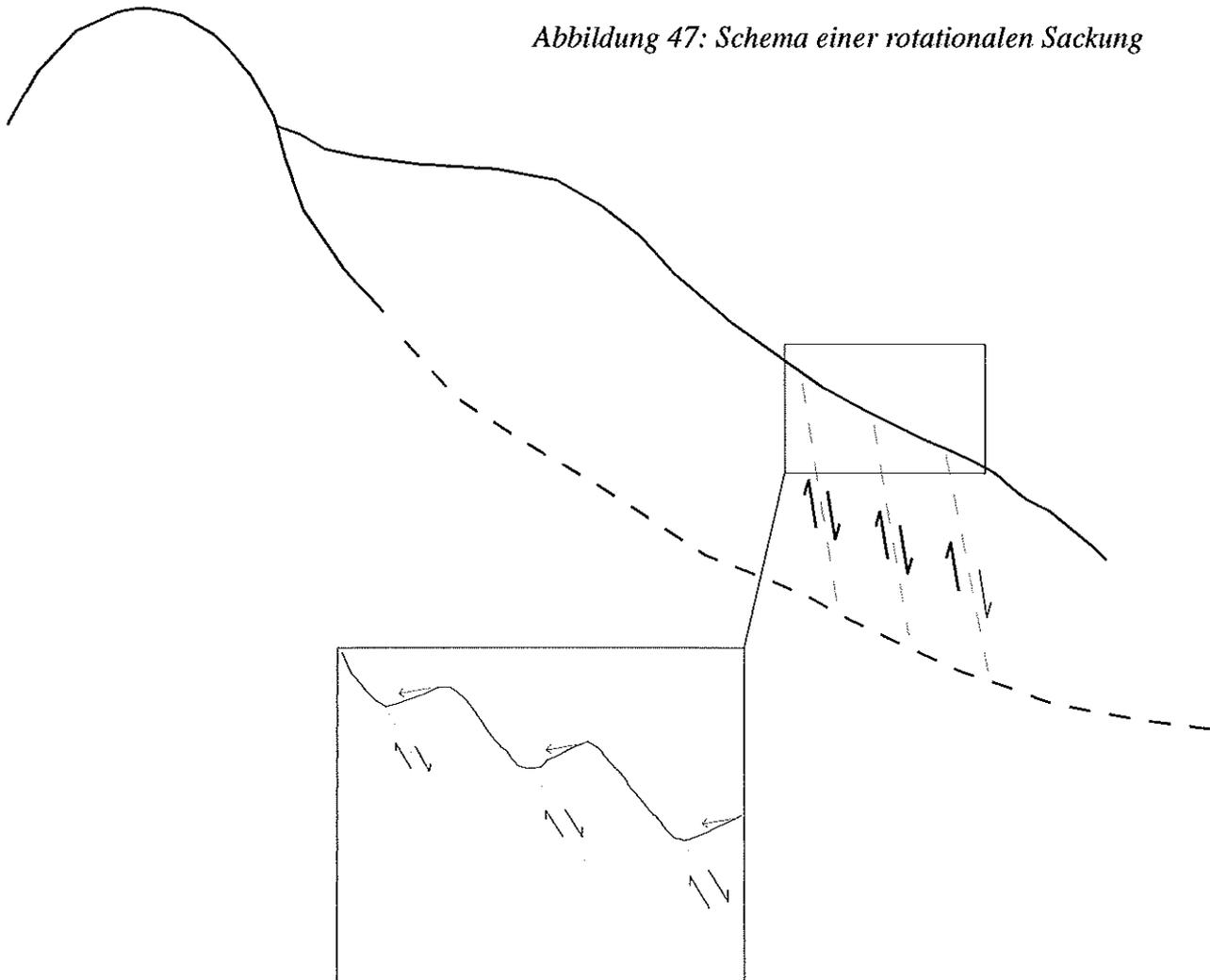
Die dichte Bewaldung erlaubte die Verlegung von nur 3 Punkten. Wegen einer Messfehler zeigt der Punkt 10 eine Bewegung von etwa einen halben Meter! Es bleiben also nur 2 Punkte zur Verfügung. Die Interpretation wird einerseits sehr einfach, andererseits werden die Interpretationsfehler noch grösser.

### **II) Lagenunterschied**

Die Bewegungen der Punkte zeigen eine westliche bis nordwestliche Richtung, das heisst immer talwärts. Morphologisch stimmen beide Richtungen überein, weil sie die maximale Steigung folgen.

Merkwürdig ist die kleine Verschiebung von Punkt 9 in Bezug auf die riesige von Punkt 11.

Abbildung 47: Schema einer rotationalen Sackung



typische UD scarps, wie bei der Alpe Arena.  
Die Messungen weisen auf eine bergwärtige Bewegung (roter Pfeil)

### **III) Höhenunterschiede**

Die Werte weisen eine Depression für Punkt 9 (Höchstgelegener) und eine Erhebung für Punkt 11 (tiefgelegener). Die typische Sackungsdynamik wird in diesem Bereich wiedergespiegelt.

### **IV) Schlussfolgerungen**

- Die Dynamik dieses Gebietes weist ein Sackungsverhalten. Diese Beobachtung wird auch morphologisch unterstützt.
- Der ehemaligen Bergsturz scheint, sich auf einer eigenen diskreten Gleitfläche zu bewegen. Im gegenteiligen Fall hätte die Bewegung bergwärts stattgefunden, wie im untersten Teil der Sackung.
- Die minimale Lagenverschiebung von Punkt 9 kann so erklärt werden, dass er einen Einfluss vom grösseren Sackungsbereich - der einen gegenteiligen Trend aufweist - erhält. Darum kann man sich vorstellen, dass unterhalb der Gleitfläche des Bergsturzes 1834 auch die Gleitfläche des grösseren Sackungsbereichs vorhanden ist.

Im Gebiet von Punkt 11 scheint die Sackungsbewegung eine kleinere Rolle zu spielen. Die Möglichkeit, dass die Gleitfläche der grösseren Sackung nicht vorhanden ist, sieht sehr unwahrscheinlich aus. Die Morphologie lässt nämlich an eine Gleitfläche denken, die im Talboden endet.

## **8.6. VERGLEICH MIT DEN THEODOLITMESSUNGEN VOM IGCT**

Die Theodolitpunkte liegen gestreut im Depressionsbereich der Sackung, d.h. oberhalb der Alpe Arena. Aus den Werten in Tabelle 8 scheint, dass das erfasste Gebiet gleitet.

Punkt	Gesamtverschiebung 1993-97		Bemerkung
	X	H	
	cm	cm	
1	0.00	-3.90	
2	2.20	-2.90	
3	19.70	-21.90	
4			Kaputt
5	4.00	-9.00	1994*
6	7.20	-14.70	
7	0.00	0.00	1996*
8	9.40	-23.00	
9	7.30	-8.30	
10	6.20	-6.00	
11	4.00	-6.10	1996*
12	4.40	-11.30	
13	7.40	-8.30	
14	10.10	-13.16	
15	0.00	0.00	1994*

Tabelle 8

\* Es handelt sich um die letzte Bestmessung

Diese Tatsache stimmt nicht ganz mit den Werten von GPS: obwohl die Lagenverschiebung immer eine talwärts gerichtete Komponente aufweist, deuten die meisten Höhenverschiebungen an einer kleine Erhebung an.

Man muss nicht vergessen, dass alle GPS Werte im Fehlerbereich des Apparates lagen. Aus dieser Sicht stellen die Theodolitmessungen eine realistischere Lage, die ebenfalls von der Morphologie unterstützt wird.

## 8.7. BEMERKUNGEN

Die Daten können nicht als absolute Werten betrachtet werden - Sie liegen nämlich im Fehlerbereich des Apparates -, trotzdem wurde einen Bewegungstrend erkannt, der nicht zufällig scheint. Oft werden nämlich die beobachteten Bewegungen von morphologischen Formenschatzen unterstützt.

Meiner Meinung nach können also weitere Messungen eine Quantifizierung der Bewegungen erlauben, sowie die Gültigkeit der obigen Hypothesen überprüfen.

Ausserdem kann das gemessene Profil verbessert werden, indem man mehrere Punkte im Bereich vom Bergsturz 1834 und im südlichen Bereich der Sackung - zwischen 1400 und 1500 m Kote – verlegt: das sollte die bergswärtige Bewegung des Hanges prüfen.

## 9. ANALYSE DER QUELLEN

### 9.1. EINFÜHRUNG

Mit der Wasseranalyse der Quellen will man einige Aussagen über die Beschaffenheiten sowohl der Aquiferen als auch der Lithologien im Untergrund bekommen.

Der südliche Teil der Mogno-Fusio Mulde verschwindet an der Grenze mit dem Sackungsgebiet um etwa 1550 m ü.M. im Untergrund. Weiter nach Süden, um 2000 m. (Ri Scudau, 694 900/139 400) kommt die Pertusio Zone - auch aus Trias Sedimente bestehend - an die Oberfläche. Diese Zone wurde von einigen Autoren als mögliche Fortsetzung der Mogno-Fusio Mulde interpretiert. Hat die Sackung beide Zonen voneinander getrennt? Gibt es Trias Sedimente weiter im Untergrund? Das wäre sicher eine plausible Möglichkeit, da man auch Aufschlüsse im Sackungsbereich beobachtet hat, die Karbonatlinsen enthalten. Diese Frage kann anhand der Quellenanalyse beantwortet werden, da die Karbonataquiferen eine höhere Leitfähigkeit und einen hohen Anteil an  $\text{Ca}^{2+}$  bzw.  $\text{HCO}_3^-$  Ionen aufweisen.

Eine weitere mögliche Aussage, besteht in der Betrachtung der Quellen vom Sackungsgebiet alleine. Anhand der Interpretation der Quellen der Sackung und derjenigen des Bergsturzes von 1834 sollte man feststellen, ob zwei getrennte Gleitflächen vorhanden sind.

### 9.2. MESSUNGEN

Für jede Quelle wurde im Feld die elektrische Leitfähigkeit und die Wassertemperatur gemessen. Ausserdem hat man Wasserproben (auch eine pro Quelle) in geeignete Plastik-Flaschen genommen, die ins Labor von Ingenieurgeologie am ETH Zürich gebracht wurden. Dort hat man eine chemische Analyse der verschiedenen Quellen anhand die Ionenchromatographie durchgeführt. Weiter wurde auch der m-Wert [mmol/l] gemessen, um den Anteil an  $\text{HCO}_3^-$  bestimmen zu können.

Zu diesem Zweck wurde die Formel:

$$m\text{-Wert [mmol/l]} \times \text{Molekulargewicht } \text{HCO}_3^- \text{ [mg/mmol]} = \text{Konzentration } \text{HCO}_3^- \text{ [mg/l]}$$

gebraucht.

Ausserdem wurden dieselben Messungen sowohl für den Maggia-Fluss als auch für den Ofima Tunnel gemacht.

### 9.3. ERWARTUNGEN

Das Vorhandensein von Trias sedimente lässt also an hohen Leitfähigkeit und hohe Karbonationenanteile denken.

Ausserdem erwartet man zwei getrennte Gleitflächen, da die Morphologie an so etwas denken lässt.

### 9.4. LOKALISIERUNG DER QUELLEN

Im kartierten Gebiet befinden sich 14 Quellen, davon 9 im untersten Teil des Sackungsgebietes, 4 ausserhalb. Für Details kann die spezifische Karte *Quellen* (Beilage 9) angeschaut werden.

#### 9.4.1 Beschreibung der Quellen im Sackungsgebiet.

Diese Quellen wurden im untersten Teil der Sackung - zwischen 890 und 1200 m - beobachtet, nahe des Talbodens wo auch die Ende der Gleitfläche vermutet wird. Sie treten oft in kleine Gruppen von drei-vier Quellen zusammen, je 5 bis 20 m voneinander entfernt. Dieser Trend zeigt ganz klar, dass der Quellenaustritt genau dem Ende einer Gleitfläche entspricht.

Die einzige Ausnahme wird von Quelle 9 dargestellt, die sich nahe der Ende der Mogno-Fusio Mulde um 1450 m. befindet. Obwohl sie weit vom Talboden austritt, liegt sie auch genau am Kontakt zwischen Sackung und Fels.

Das Wasser sprudelt hier auch aus einem Felssturz und fliesst auf Felsboden. Es versickert fast sofort und kommt dann etwa 100 m unten nochmals im Ri da Rüsçada hervor. Sie weist immer einen grossen Abfluss.

Während dieser letzten Jahren hat sie sich aber etwa 150 m Richtung West verschoben [mündliche Mitteilung eines Jägers]. Ursprünglich befand sie sich nämlich östlich der Mulde. An dieser alten Stelle sind heutzutage schmale Kanäle noch sichtbar, was an sporadische Wasseraustritte denken lässt.

## **9.5. ERGEBNISSE UND INTERPRETATION**

Die Werte der Leitfähigkeit sind in der Tabelle 9 dargestellt, die Werte der Ionenchromatographie und die m-Werte in der Tabelle 10.

### **9.5.1 Leitfähigkeit**

Die Ergebnisse zeigen Werte zwischen 75 und 120  $\mu\text{s}/\text{cm}$  für die Quellen im Sackungsgebiet. Ausserhalb liegen die Werte zwischen 9.1 und 148  $\mu\text{s}/\text{cm}$ .

Diese Ergebnisse deuten auf wenig gelöste Stoffe im Untergrund. Das Vorhandensein von Trias Sedimente im Untergrund scheint, ziemlich beschränkt zu sein: Aus der Literatur bekommt man Werte für Karbonataquiferen, die im Bereich von 300 bis 600  $\mu\text{s}/\text{cm}$  liegen [2].

Insbesondere Quelle 9, die sehr nahe der Mogno-Fusio Mulde liegt, weist ein Wert von etwa 75  $\mu\text{s}/\text{cm}$ .

Man konnte darum denken, dass die Quellen im Sackungsbereich aus oberflächennahen Aquiferen stammen und dass sie kaum in Kontakt mit Karbonaten kommen.

Also kommen die Quellen wahrscheinlich in Kontakt mit Linsen oder Kissen von Trias Sedimenten, was auch anhand der Kartographie sehr möglich ist.

Quelle	Koord.	Höhe [m ü. M.]	Temp. [°C]	L.F. [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	Zeit	Datum	Bemerkungen
0	693 060//140 500	890	7.7	87	9.45	8-7-98	gefasst
1	693 060//140 500	890	10.9	109	10.00	8-7-98	
2	693 060//140 500	890	8.7	120	9.30	8-7-98	
3	693 060//140 500	890	8.5	88	9.15	8-7-98	gefasst
4	693 250//140 900	1060	6.4	104	11.00	8-7-98	
5	693 250//140 900	1060	6.4	105	11.05	8-7-98	
6	693 250//140 900	1060	5.8	104	11.10	8-7-98	
7	693 410//141 880	1115	7.1	94	10.30	8-7-98	
8	693 620//142 060	1221					
9	694 050//142 620	1440	8.5	75	10.10	8-7-98	fast trocken
10	693 410//140 000	1000	8.0	90	12.30	8-7-98	gefasst
11	693 350//140 270	1060	11.8	28	12.00	8-7-98	
12	693 910//139 800	1300	12.3	40	13.30	8-7-98	fast trocken
13	693 900//140 120	1300	12.1	148	14.00	9-7-98	gefasst
14	695 150//141 400	1950	4.8	9.1	12.10	9-7-98	
FM	693 520//142 250	1220	8.8	97	11.10	7-10-98	Maggia Fluss
OF	693 620//142 060	1221	8.7	150	10.40	8-7-98	Ofima Tunnel

Tabelle 9: Leitfähigkeitswerten und Lage der Quellen

Quelle	Anionen		Kationen		Quelle	Anionen		Kationen		Quelle	Anionen		Kationen		
	Peak	ppm	peak	ppm		Peak	ppm	peak	ppm		Peak	ppm	Peak	ppm	peak
0	Chlorid	2.12	Ammonium	0.38	4	Chlorid	1.43	Calcium	12.29	9	Chlorid	1.44	Calcium	8.61	
	Fluorid	0.34	Calcium	8.77		Fluorid	0.38	Kalium	2.30		Fluorid	0.53	Kalium	2.42	
	Nitrat	2.96	Kalium	1.93		Nitrat	2.40	Magnesium	1.04		Nitrat	3.40	Magnesium	1.29	
	Sulfat	1.11	Magnesium	0.90		Sulfat	16.94	Natrium	1.23		Sulfat	33.73	Natrium	1.76	
Karbon.	14.63	Natrium	2.11	Karbon.	63.00	Karbon.	63.00								
1	Chlorid	5.43	Calcium	8.98	5	Chlorid	1.42	Ammonium	0.21	10	Chlorid	1.52	Calcium	10.90	
	Fluorid	0.34	Kalium	2.73		Fluorid	0.38	Calcium	11.45		Fluorid	0.38	Calcium	0.21	
	Nitrat	6.17	Magnesium	2.43		Nitrat	3.28	Kalium	2.44		Nitrat	2.97	Magnesium	0.92	
	Sulfat	16.76	Natrium	2.71		Sulfat	16.78	Magnesium	1.48		Sulfat	20.58	Natrium	1.66	
Karbon.	56.70	Natrium	56.70	Karbon.	75.60	Natrium	1.46	Karbon.	63.00	Karbon.	25.20				
2	Chlorid	6.93	Calcium	12.25	6	Chlorid	1.40	Calcium	14.41	11	Chlorid	1.48	Ammonium	4.48	
	Fluorid	0.33	Kalium	3.53		Fluorid	0.38	Kalium	2.68		Fluorid	0.31	Calcium	1.05	
	Nitrat	5.91	Magnesium	1.20		Nitrat	3.46	Magnesium	0.96		Nitrat	2.38	Kalium	0.64	
	Sulfat	15.40	Natrium	3.80		Sulfat	15.51	Natrium	1.32		Sulfat	8.54	Magnesium	0.27	
Karbon.	56.70	Natrium	56.70	Karbon.	56.70	Karbon.	56.70								
3	Chlorid	2.12	Calcium	10.41	7	Chlorid	2.09	Calcium	11.46	12	Chlorid	1.51	Calcium	3.25	
	Fluorid	0.33	Kalium	1.90		Fluorid	0.39	Kalium	1.15		Fluorid	0.40	Kalium	1.17	
	Nitrat	3.49	Magnesium	1.30		Sulfat	16.12	Magnesium	1.96		Nitrat	3.03	Magnesium	2.48	
	Sulfat	13.63	Natrium	1.53		Karbon.	50.40	Natrium	1.80		Sulfat	19.04	Natrium	1.25	
Karbon.	63.00	Natrium	63.00	Karbon.	63.00	Karbon.	63.00								

Tabelle 10: Ergebnisse der Ionenchromatographie und m-Wert

## 9.5.2 Ionenchromatographie und m-Wert

Das Chemismus der Quellen widerspiegelt die gemessene Leitfähigkeit: hohe Ionenkonzentrationen entsprechen hohen Leitfähigkeiten.

Calcium, Sulfat und Karbonat sind die dominierenden Ionen, was die Hypothese von Linsen im Untergrund wieder unterstützt. Nur Quelle 14 weist Nitrat und Natrium als herrschende Ionen. Diese Letzte befindet sich nämlich oberhalb der kartierten Karbonate.

Für ein besseres Verständnis wurden ein  $\text{Ca}^{2+}$  vs.  $\text{SO}_4^{2-}$ , ein  $\text{Ca}^{2+}$  vs.  $\text{HCO}_3^-$  sowie ein Schöllerdiagramm hergestellt.

### Calcium-Sulfat Diagramm (Abbildung 49)

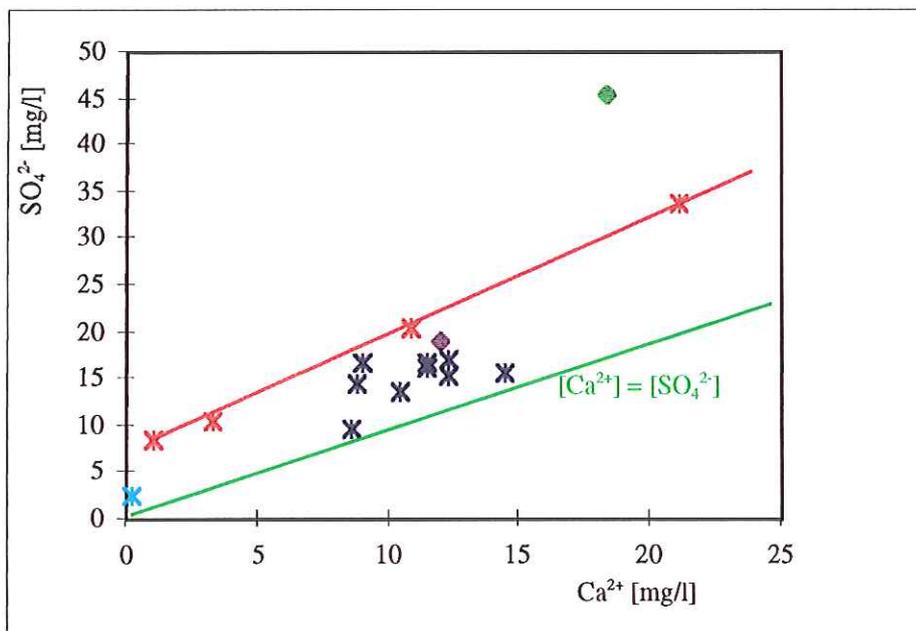
Die Werte zeigen deutlich, dass alle Quellen reich an Sulfat sind: alle Messungen liegen oberhalb der  $[\text{Ca}^{2+}] = [\text{SO}_4^{2-}]$  Gerade.

Weiter kann man drei verschiedene Wassertypen unterscheiden.

Dem Ersten –Wasser 1 - gehören die Quellen im Sackungsgebiet, die eine Wolke nahe der Gleichgewichtsgerade bilden. Die Werte der verschiedenen Gruppen sind nämlich ziemlich verschieden. Im vergleich mit dem Wert des Maggia Flusses stimmen die Werte der Quellen im Talboden gut überein.

Die zweite Gruppe – Wasser 2 - zählt die Quellen, die im südlichen Bereich liegen. Diese Quellen sind nämlich reicher an Sulfat und liegen dazu auf derselben Gerade.

Die Quelle 14 liegt allein nahe dem Ursprung und gehört zu einem dritten, ionenarmen Wasser – Wasser 3 -.



#### Kreuze

blau: Wasser 1

rot: Wasser 2

hellblau: Wasser 3

#### Rhomböeder

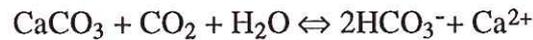
Grün: Ofima Tunnel

Violett: Maggia Fluss

### Karbonat-Calcium Diagramm (Abbildung 50)

Die Werte zeigen keine deutliche Korrelation, darum wurde eine Korrektur durchgeführt [23]. Der Ursprung von Karbonation abhängt nämlich von:

- Auflösung von Karbonat, nach der Reaktion:



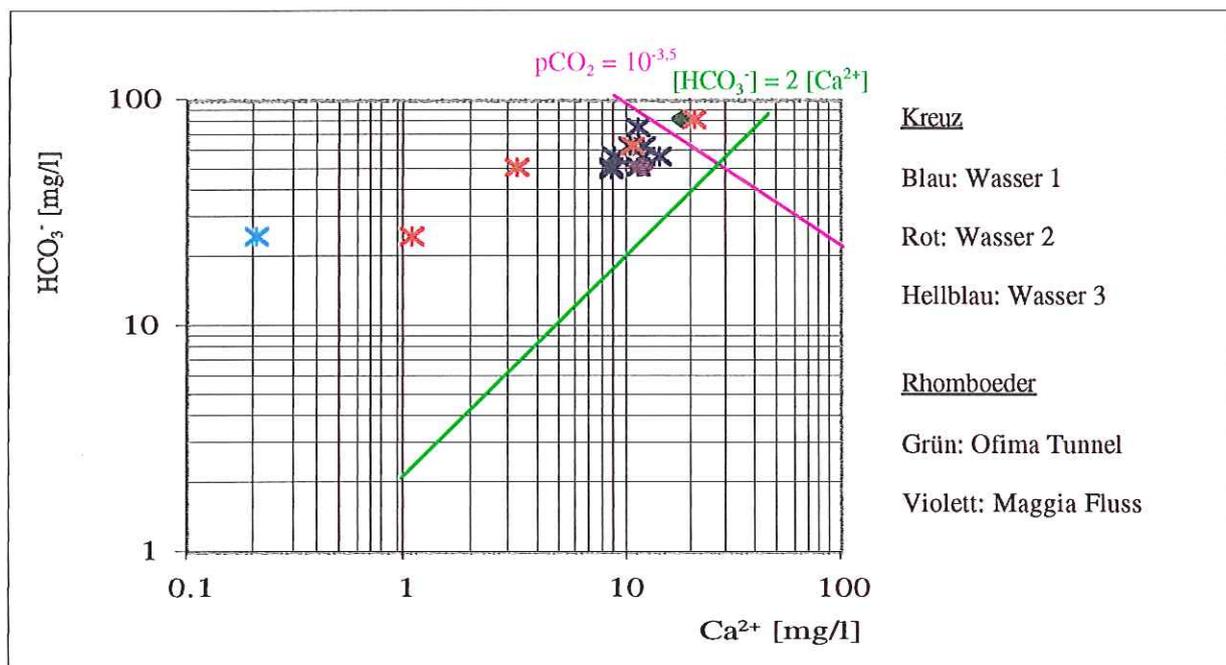
Das bedeutet, dass für jedes gebildete  $\text{Ca}^{2+}$  Partikel, werden 2 Partikel von  $\text{HCO}_3^-$  entstehen. Um ein Gleichgewicht zu betrachten, muss:

$$[\text{HCO}_3^-] = 2[\text{Ca}^{2+}]$$

- Auflösung von  $\text{CO}_2$  im Wasser, abhängig vom Partialdruck von  $\text{CO}_2$  Atmosphärisch.

Im Diagramm wurden also die  $[\text{HCO}_3^-] = 2[\text{Ca}^{2+}]$  Gerade und die Gleichgewichtsgerade von  $[\text{HCO}_3^-]$  bei  $p\text{CO}_2 = 10^{-3.5}$  atm und  $T = 25^\circ\text{C}$  - d.h. bei STP Bedingungen - eingetragen.

Diese zwei Geraden erlauben eine Aussage über den Einfluss der beiden Prozessen bei der Bildung von Karbonation.



Obwohl die Unterteilung wie für das Calcium-Sulfat Diagramm gemacht wurde, ist eine deutlich Unterteilung in drei Wässer nicht möglich. Auf jedem Fall kann man beobachten, dass alle Quellen an  $\text{HCO}_3^-$  übersättigt sind, da alle Werte oberhalb der  $[\text{HCO}_3^-] = 2[\text{Ca}^{2+}]$  Gerade sind.

Ausserdem zeigen die Werten des Ofima Tunnels und der Quelle 13 eine Übersättigung an gelöstem  $\text{CO}_2$ . Das stimmt für die Wasserprobe vom Ofima Tunnel, die im Kontakt mit freier Luft steht. Das Wasser von Quelle 13 reichert sich an  $\text{CO}_2$  vielleicht unter der Schuttablagerung an.

Die anderen Quellen sind an gelösten  $\text{CO}_2$  untersättigt, d.h. die Quellen stammen aus tiefen Aquiferen.

#### Schöller Diagramm (Abbildung 51)

Die Quellen im Sackungsbereich weisen mehr oder wenig ein ähnliches Chemismus auf, obwohl kleine Schwankungen von 0,1 mval/l bei der  $\Sigma\text{Na,K}$  und bei der Cl Konzentration nachgewiesen werden. Quellen 1 und 2 weisen nämlich höhere Werte als durchschnittlich, Quelle 9 Kleinere – vgl Diagramm 1 -. Der Maggia Fluss scheint auch gut mit diesen Werten einzupassen und insbesondere bei der Quelle 7, die direkt im Maggia Fluss mündet, sind die Chemisme dieselben – Diagramm 3 -.

Die anderen Quellen, ausserhalb des Sackungsgebiets, weisen deutliche Unterschiede auf, trotzdem sind sie auch reicher an  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  und  $\text{HCO}_3^-$ . Die einzige Ausnahme wird von Quelle 14 dargestellt, bei der eine kleinere Konzentrationen, insbesondere an  $\text{Ca}^{2+}$  - vgl. Diagramm 2 - gemessen wurde. Eine weitere Gliederung kann zwischen dem Ofima Tunnel und der Quelle 13 gemacht werden. Man kann sich schwierig ein Verhältnis vorstellen, weil sie stammen aus zwei ganz verschiedenen Orten – vgl. Diagramm 4 -.

Die Unterteilung in drei Wässern ist auch in diesem Fall nicht deutlich, weil die Quellen 10 und 13, die zum Wasser 2 gehören sollten, weisen ähnlichen Werten wie diejenigen vom Wasser 1. Quellen 11 und 12, dagegen, weisen verschiedene Werten. Diese Unterschied kann wahrscheinlich zum Vorhandensein von Kalklinsen im Untergrund korreliert werden.

Abbildung 51

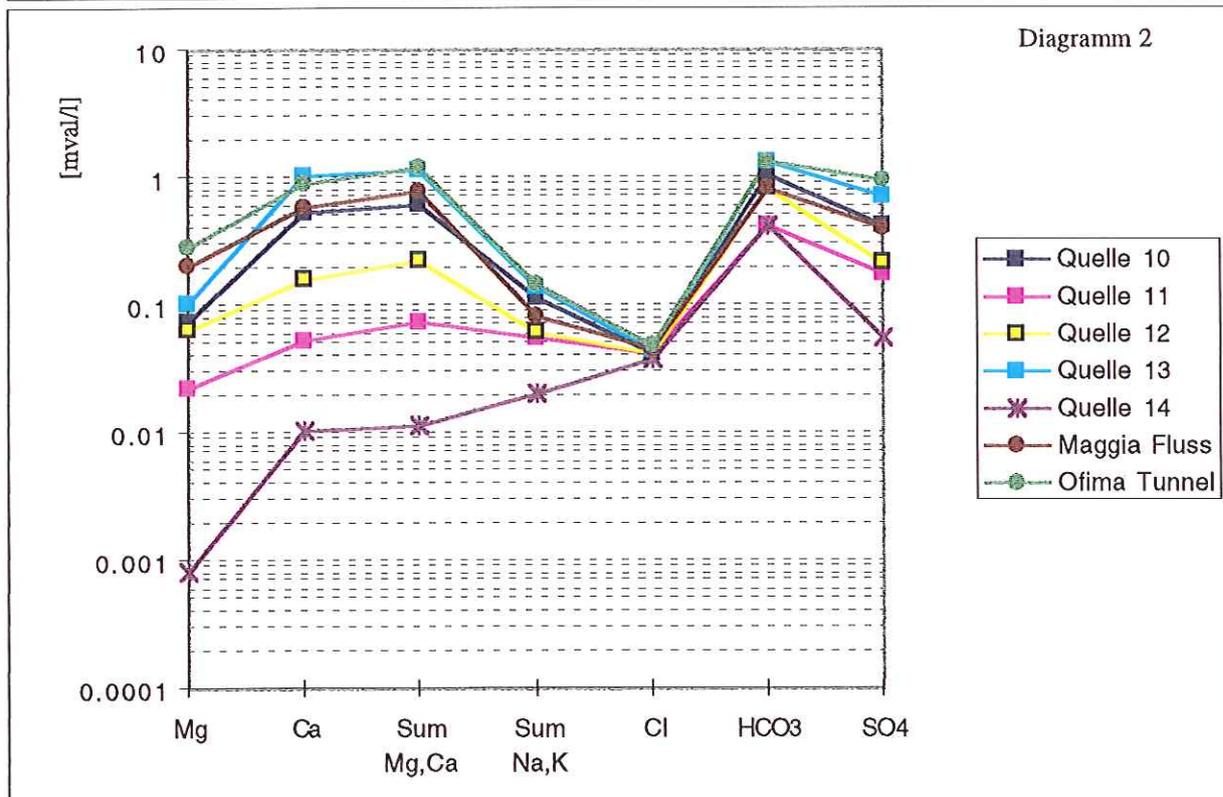
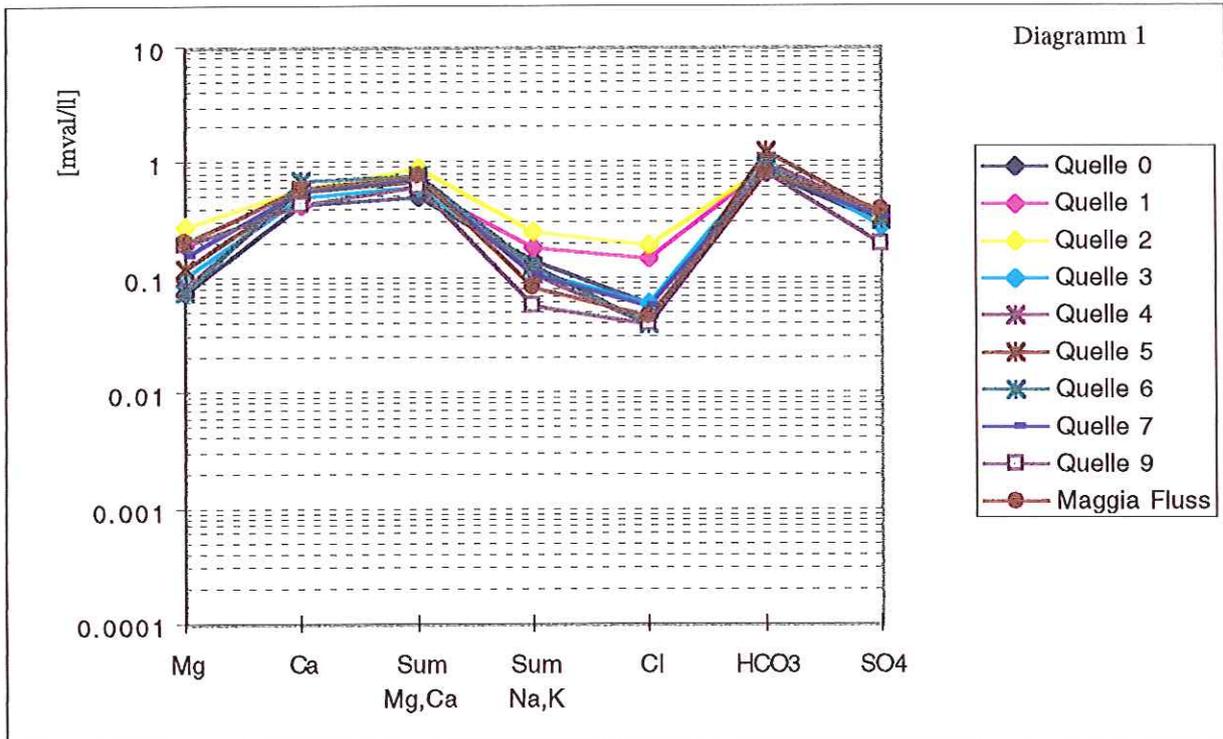


Diagramm 1: Quellen im Sackungsgebiet (Aquifer 1)

Diagramm 2: Quellen ausserhalb des Sackungsgebietes (Aquifer 2)

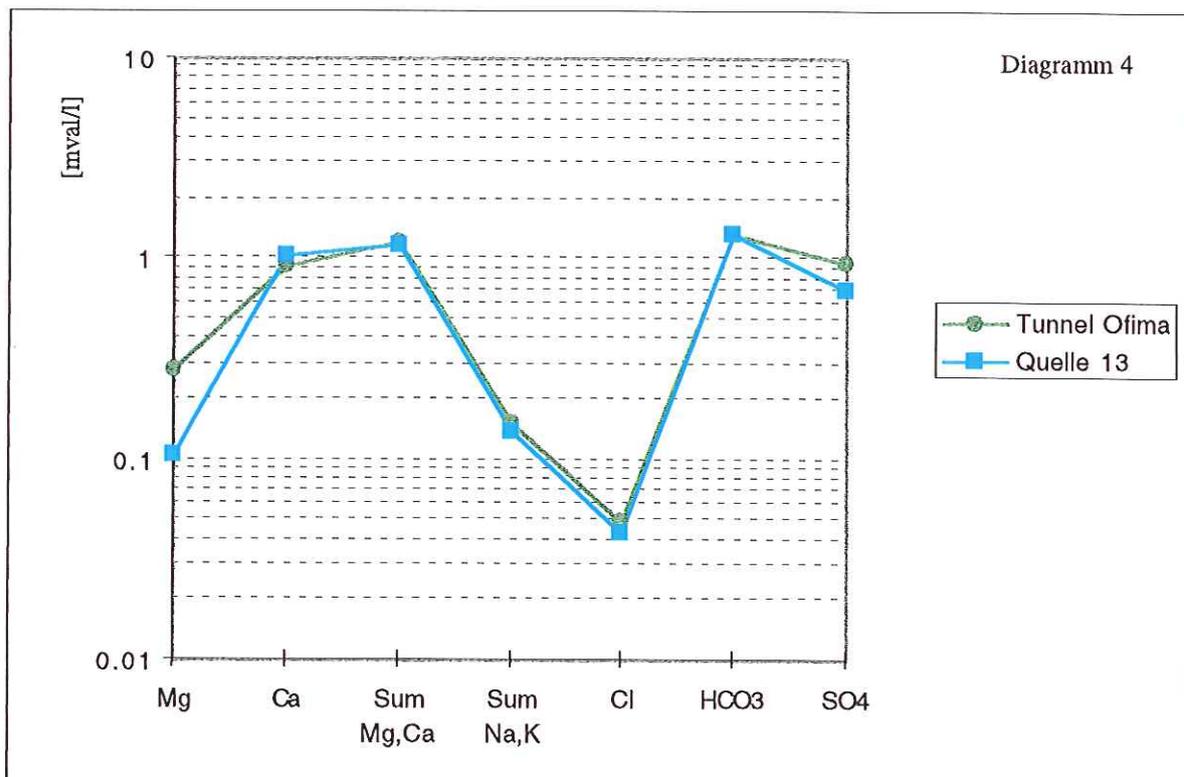
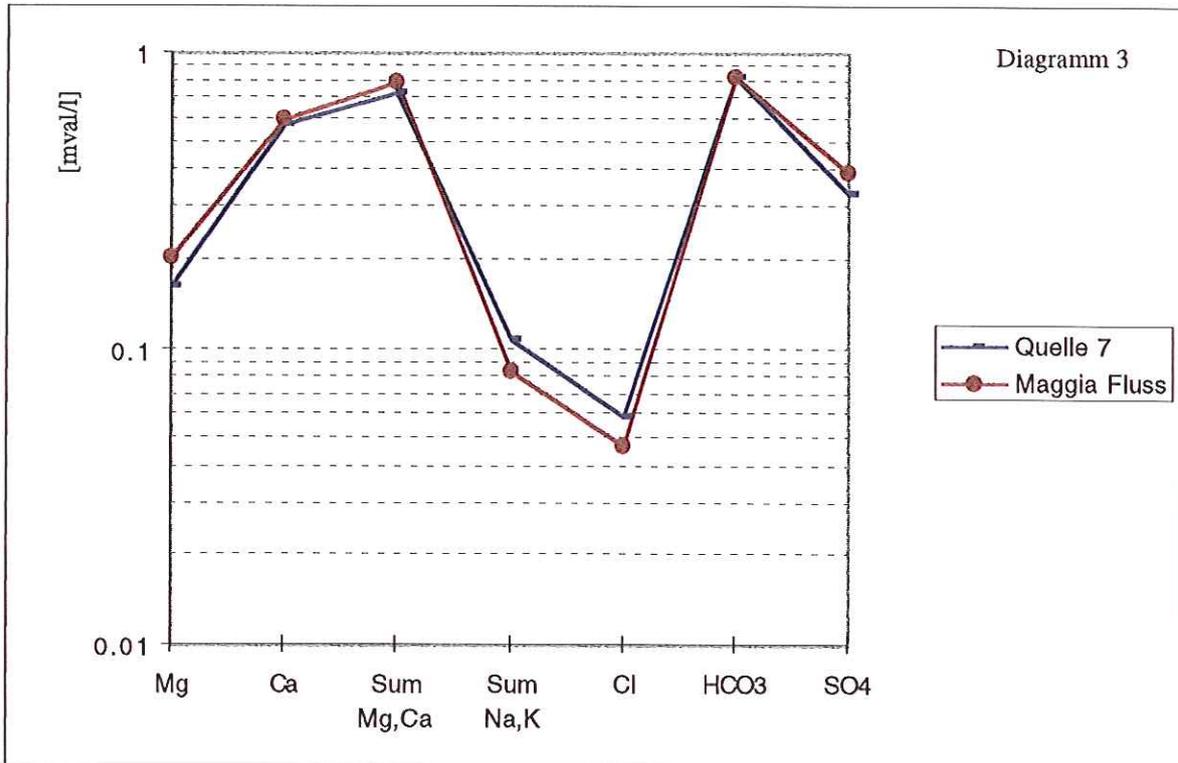


Diagramm 3: Die Quelle 7 wird vom Maggia Fluss stark beeinflusst

Diagramm 4: Die merkwürdige Übereinstimmung zwischen Quelle 13 und Ofima Tunnel

## 9.6 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Quellen sehen an Sulfat und Karbonat übersättigt aus. Ein Teil kann von  $\text{CaCO}_3$  bzw.  $\text{CaSO}_4$  (im Feld nie nachgewiesen) Auflösung stammen. Der Rest kann für Sulfat die Auflösung von Pyrit ein Grund sein, die manchmal als kleine Kristalle im Feld auftritt. Für Karbonat ist die Anreicherung von  $\text{CO}_2$  eine Möglichkeit.

Obwohl die Werte nicht spektakulär sind, wird eine Dominanz von Calcium, Sulfat und Karbonationen beobachtet, was tatsächlich an Vorhandensein von Trias Sedimenten im Untergrund denken lassen.

## 9.7. ZUSAMMENFASSUNG

- Die Quellen weisen Leitfähigkeitswerte, die nicht an reine Karbonataquiferen denken lassen.
- Das Vorhandensein von Kalklinsen oder Kissen ist nicht auszuschliessen aus folgenden Gründen:
  - A) Calcium, Sulfat und Karbonat dominieren
  - B) Kartographie deutet auf Karbonatlinsen im Sackungsbereich.
- Gruppierung der Quellen:

Die Quellen in der Sackung weisen ein ähnliches Chemismus. Ausserdem scheint Quelle 7, vom Maggia Fluss stark beeinflusst zu sein.

## 10. INTERPRETATION UND DISKUSSION

### 10.1 Zusammenfassung

Die Sackung von Peccia kann also in verschiedene Zonen getrennt werden, die unterschiedliche morphologische Charakteristika aufweisen. Zusammenfassend ein EW Profil – d.h. vom obersten bis zum untersten Ende -, das folgende Merkmale zeigt:

- die Krone: ein versacktes Gebiet, das extensionale Bewegungen andeutet. Die verschiedenen tiefgründigen Gegensteigungen und Escarpements sprechen klar für eine solche Tendenz - vgl Kap. 6.6 -.
- Der Rand: deutet an eine riesige Bewegung der Sackungsmasse. Das Auftreten von Nackentälchen ist meistens mit Gegensteigungen in der Kronenzone korrelierbar, also handelt es sich um grosse Störungen, die einen talwärtigen Trend aufweisen – vgl. Kap. 6.5 -  
Oft spielen Felsstürze und Blockschläge eine wichtige Rolle.
- Das Depressionsgebiet: deutet auf eine talwärtige Bewegung: die Schieferungen sind verkippt und Theodolit- sowie GPS- Messungen sprechen klar dafür – vgl. Kap. 7 und 8 -. In der Aufschlusszone bei 1600 m sind Gegensteigungen ziemlich flach. Die Wände dieser Aufschlüsse deuten auf DD-scarps [6]. Ein extensionales Regime dominiert in dieser oberen Zone.  
Die Nackentälchen sind lang und ausgeprägt. Eines davon deutet an eine sinistrale Relativbewegung mit etwa 20 m Versatz, was auf verschiedene Bewegungsgeschwindigkeiten deuten sollte. Es bleibt trotzdem schwierig zu sagen, ob diese Tendenz heutzutage noch gültig ist. Theodolitmessungen zeigen nämlich eine schnellere Bewegung an beiden Rändern der Sackung als im Kern.
- Die Aufwölbungszone: Gegensteigungen und Nackentälchen treten besonders ausgeprägt in der Nähe des Randes des Bergsturzes 1834 auf und deuten auf eine Extensionalbewegung. Ihre Fortsetzung als Nackentälchen (Störungen) im Bereich des Randes 1834 deutet ein tiefes Eindringen im Felsuntergrund an. Es handelt sich vermutlich um UD-scarps -vgl. Kap. 6.4.4 und 7.3.3 -, die als Folge der Bergsturzentlastung entstanden. Unterhalb der Alpe Arena treten

Gegensteigungen und Nackentälchen spärlich auf, was typisch für das Aufwölbungsgebiet ist [21], [30].

Die Quellen treten unterhalb der 1450 m Kote am nördlichen Rand auf, sonst nur im Lavizzara Talboden. Sie entsprechen darum dem Ende der potentiellen Gleitfläche der Sackung und deuten wegen ihrem Chemismus auf das Vorhandensein von Kalklinsen im Untergrund -Kapitel 9 -.

GPS Messungen dokumentieren eine allgemeine Erhebung des Gebietes, die bergwärts gerichtet ist. Diese Komponente kann anhand der Figur 46 - Kap.8 - mit der anhand morphologischer Merkmale festgestellten Extensionalbewegung übereinstimmen.

- Der Bergsturz 1834 wird in zwei weitere Zonen unterteilt: eine mit ausgeprägter Sackungsmorphologie und eine andere, steilere, die keine Merkmale zeigt. Die Gleitfläche schneidet trotzdem beide Zonen, wie die Bewegungen 1993 gezeigt haben. Das unterste Ende der Gleitfläche soll dem Quellenaustritt im Talboden bei 1050 m und weiter südlich bei 890 m entsprechen. Der ähnliche Chemismus mit den Quellen des Sackungsbereichs lassen entweder an eine Wasserdurchmischung oder an gleiche lithologische Eigenschaften des Untergrunds denken.

GPS Messungen deuten eine eigene Gleitfläche an, wobei die Bewegungen einen eigenen Trend – Depression oben und Aufwölbung unten - aufweisen.

Die vorgestellten morphologischen Daten deuten an eine rotationale Sackung [6] - vgl. Kapitel 6.1 - bei einem fortgeschrittenen Stadium [10] - vgl. Kapitel 6.1 und 6.5.2 -. Das Vorhandensein von einer Gleitfläche im Sackungsgebiet ist sehr wahrscheinlich: das grosse Amphitheater bei den Rändern ist Zeuge eines riesigen Absatzes.

## 10.2 Hypothesen über die Genese der Sackung

### 10.2.1 Beeinflussende Faktoren und Ursachen bei der Entstehung der Sackung

Die Anwesenheit von verschiedenen zusammenwirkenden Faktoren [1] – vgl. Kap. 6.1 - hat die Stabilität des westlichen Hanges des Piz Ruscada stark betroffen. Einerseits die schwachen Lithologien, die von den vermuteten Kalklinsen - vgl. Kap. 5, 6 und 9 - und den stark verwitternden Glimmerschiefern dargestellt sind – vgl. Kap. 5 -, begleitet von einer steilen Morphologie - vgl. Kap. 6 - und das Vorhandensein von einer mächtigen, langen Störung am Kontakt Rand-Krone - Kap. 7.3.4 -, bilden einen instabilen Gebirgsbau.

Andererseits die mächtige Erosion beim Gletschervorstoss, der Rückstoss von Gletschern und seine bedingte Entlastungsklüfte - vgl. Kap. 7.2.3 -, die weitere Erosion wegen des Maggia Flusses im unteren Talboden können als zusätzliche Auslöser gewirkt haben, so dass eine langsame und tiefgründige Bewegung begann.

### 10.2.2 Hypothesen über die Evolutionsgeschichte der Sackung

Die Entstehung des Sackungsprozess hat wahrscheinlich postglazial angefangen: der beanspruchte Bereich wird nicht von Moränen oder Gletscherablagerungen überprägt. Die Bewegung erreichte dann den kritischen Punkt, vielleicht unter Mitwirkung von starken Regenfällen, und löste sich als mächtiger Bergsturz - oder vielleicht verschiedenen Bergstürzen - aus. Wegen der noch heute vorhandenen Aktivität bleibt es schwierig, genaue Aussagen über die Datierung dieses Ereignisses zu machen. Man kann aber vermuten, dass die Geschichte sich wiederholte und dass also verschiedene Phasen von Ruhe bzw. Bewegung sich alternierten.

Im Jahr 1834 entstand der grosse Bergsturz, der sich wahrscheinlich wegen der grossen und instabilen Aufwölbung bei der Alpe Arena bildete. Auch in diesem Fall haben die starken Niederschläge eine wichtige Rolle gespielt [18]. Als Folge dieser riesigen Entlastung entstanden die perfekten Gegensteigungen um seinen Rand, die als Störung verlaufen.

Ein Teil der sich bewegenden Masse (etwa 14 Mio. m<sup>3</sup>) wurden vom Gegenhang des Pizzo Mascarpino zurückgehalten, während ein kleinerer Teil (etwa 4 Mio. m<sup>3</sup>) als Schuttkegel im unteren Talboden bei Peccia abgelagert wurde - vgl. Kap. 6.8 -.

unter Mitwirkung von starken Niederschlägen: die Geschichte der Sackung ist von verschiedenen mächtigeren Bewegungen charakterisiert – vgl. Kap. 5 -.

## **10.5 WEITERES VERFAHREN**

Die während meiner Forschung untersuchte Sackung kann als langsame Bewegung eines instabilen Hanges betrachtet werden; die Möglichkeit von plötzlichen Einbrüchen kann aber nicht ausgeschlossen werden.

In anbetracht der erhaltenen Daten und der erwähnten - teilweise nachgewiesenen - Hypothesen, empfehle ich im folgenden weitere Forschungsmöglichkeiten, die:

I- heutigen Kenntnissen verbessern

II- eine fundierte Überprüfung des Gebietes erlauben sollten.

### **I) Weitere Untersuchungen**

Obwohl zwei Jahre die Herstellung einer geologischen und morphologischen Karte zur Verfügung standen, bleibt sicher noch viel zu tun, um die Kenntnisse zu verbessern.

Um die durchgeführten Analysen zu verbessern, sollte das Gebiet regelmässig kartiert werden. Die morphologische Karte stellt etwas nicht definitives dar, weil die Sackung eine konstante Bewegung aufweist.

Ohne Zweifel würden neue Theodolit und GPS Messungen ein besseres Bild der Sackungsdynamik und der Bewegungsquantifizierung entwickeln. Die Verlegung von neuen Messpunkten im Bereich oberhalb den Ri del Pizzone könnten ausserdem eine gute Einrahmung darstellen, um das dynamische Verhalten der Gegensteigungen bei der Alpe Arena zu verstehen.

Ausserdem können neue mögliche Untersuchungen vorgeschlagen werden:

- Zum Thema Quellen wäre es sicher interessant, Isotopenbestimmungen und/oder Tracer Tests durchzuführen, so dass die Evidenz von einer oder mehreren potentiellen Gleitflächen klarer würde.
- Um das tiefgründige Verhalten der Sackung zu bestimmen, könnten seismische Profile entlang der maximalen Steilheit des Hanges durchgeführt werden. Auch die Verlegung von einigen Inklinometern könnte zu einem besseren Verständnis führen. Wenn man weiss, dass die grösste Gefahr im südlichen

Teil besteht – oberhalb von Peccia –, dann können sie um 1600 m (bei den grossen Aufschlüssen der Sackung), am Rand des Bergsturzes (bei der Alpe Arena), sowie beim Hang, der die zwei Zonen der Bergsturz trennt, verlegt werden. Zusätzlich zu den Bewegungen wird auch das Verhalten der vermuteten Gleitfläche oder der Gleitflächen sichtbar.

## II) Weitere mögliche Vorgehensweisen

Obwohl meine Aufgabe nicht die instabilen Punkte der Sackung untersuchen sollte, möchte ich noch - aus Dankbarkeit gegenüber den Leuten, welche mir die Möglichkeit gegeben haben, diese Arbeit durchzuführen - einige prekäre Zonen erwähnen, die nach den erfassten Daten eine dringende Sanierung benötigen.

Zuerst würde man eine Kontrolle - Verfestigung, Stabilisierung - der instabilen Aufschlüsse, die sich in der unmittelbaren Nähe der Strasse befinden durchführen -vgl Kap 6 -. Sie stellen nämlich eine grosse Gefahr für den Verkehr dar - einerseits wegen der grossen Verklüftung, andererseits wegen der beträchtlichen gemessenen Bewegung (vgl. GPS-Punkt 11: 2 cm Lagen- bzw. 4 cm Höhenverschiebung) -.

Andere grössere Ereignisse könnten in den oberen Teilen der Sackung entstehen - Ränder, Krone und Depressionsgebiet -, doch könnten die entstandenen Felsschläge den Talboden erreichen? Um eine plausible Schlussfolgerung zu ziehen wäre eine mathematische Modellierung notwendig. Persönlich traue ich mir eine genauen Antwort nicht zu, trotzdem kann aus morphologischen Evidenzen eine treffende Untersuchung der Aufwölbung bei der Alpe Arena durchgeführt werden. Insbesondere die steilen Felswände südlich der Alpe Arena, die den Rand des Bergsturzes bilden, sollten regelmässig kontrolliert werden. Einerseits erhöht ihre bruchhafte Struktur die Wahrscheinlichkeit von grossen Felsstürzen, andererseits könnte die Summe der langsamen Bewegungen der Sackung zu einen neuen grossen und katastrophalen Bergsturz führen. Wie schon oben und im Kapitel 8 angedeutet, geben die GPS und die Theodolit Messungen die Möglichkeit, eine quantitative Aussage der Bewegungen durchzuführen. Die Wiederholung der Messungen ist notwendig weil:

- die Sackung kann sich sprunghaft bewegen (ruhende Sackung).
- die zweite Hypothese ist nicht a priori auszuschliessen.

---

**BIBLIOGRAPHIE****LITERATUR**

- [1] Abele G.; Bergstürze in den Alpen; Wissenschaftliche Alpenvereinshefte 25; München, 1934
- [2] Balderer W., Allgemeine Hydrogeologie - Vorlesungsunterlagen, Geol. Institut ETH – Ingenieurgeologie, Zürich
- [3] Berchtold P.; Petrographie und Strukturgeologie um Fusio; Teil 4: Cima di Sassalto; Diplomarbeit ETHZ, 1990
- [4] Bianconi F.; Geologia e Petrografia nella regione del Campolungo; Beitr. geol. Karte der Schweiz 142 (1971)
- [5] Bianconi G.; Vallemaggia; Dadò Editore; Locarno 1988
- [6] Brunsten D., Dickau R., Schrott L., Ibsen M.L.; Landslide recognition: identification, movement and causes, John Wiley & Sons, Chichester 1996
- [7] Buchmann H.; Geologie und Petrographie des oberen Maggia Tales zwischen Fusio und Broglio im NW-Tessin; Diss.; Uni. Basel, 1954
- [8] Clague J.J. , Eisbacher G.H.; Destructives mass movements in high mountains: hazard and management; Geological Survey of Canada; paper 16 (1984), p. 84
- [9] Clark I.D., Fritz P. Environmental Isotopes in Hydrogeology; Lewis 1997
- [10] Forlati F.; La deformazione Gravitativa Profonda di Rosone; Acta Geologica 68; p. 71 - 108
- [11] Häberli W.; Grundzüge der Geomorphologie: Vorlesungsunterlagen; UNI Zürich, 1998; p. 52 - 62
- [12] Heim A.; Bergsturz und Menschenleben; Zürich 1932

- [13] Hohl A.F.; Petrografia e Geologia strutturale nella regione di Fusio, Valle Maggia, 1.Parte: Alpe d'Alpigia; Diplomarbeit ETHZ; 1990
- [14] Huber M., Ramsay J. & Simpson C.; Deformation in the Maggia and Antigorio Nappes, Lepontine Alps; *Eclogae geol. Helv.* 73 (1980); p.593 - 606
- [15] Huber M.I.; Geologisch strukturelle Untersuchungen im Oberen Maggiagebiet (Tessin,Schweiz); Diss.; ETH & Uni Zürich 1981
- [16] Keller F.; Mineralparagenese und Geologie der Campo Tencia - Pizzo Forno-Gebirgsgruppe; Kümmerly und Frey AG; 1968
- [17] Labhart T.; Geologie der Schweiz; Ott Verlag; Thun; 1992
- [18] Landholt E.; Rapport au Conseil Fédéral sur les torrents des Alpes suisses inspectés en 1858, 1859, 1860 et 1863; p.14 - 17; imprimerie L. Corbaz & comp.; Lausanne 1865
- [19] Löw S., Wyss R.; Grundzüge der Ingenieurgeologie: Vorlesungsunterlagen; ETHZ; 1998; Kapitel 10: Massenbewegungen
- [20] Manktelow N.; The Simplon Line: a major displacement zone in the western Lepontine Alps; *Eclogae geol. Helv.* 78 (1985); p.73 - 96
- [21] Noverraz F.;Sagging or deep-seated creep: Fiction or reality?;
- [22] Preiswerk H.; Exkursion im Maggiatal; *Eclogae geol. Helv.* 15 (1919); p509 - 522
- [23] Sigg L. und Stumm W; Aquatische Chemie, Eine Einführung in die Chemie wässriger Lösungen und natürlicher Gewässer; V.D.F.; 1996
- [24] Signorelli Martino; Storia della Vallemaggia; Tipografia Stazione; Locarno 1972
- [25] Trümpy R.; Geology of Switzerland, Part A; Schweizerische Geologische Kommission; 1980
- [26] Valenti G.; Sicurezza del territorio: La stabilità dei versanti; Ascona 1996
- [27] Valenti G.; Zone esposte a pericolo geologico e Idrologico in Valle di Peccia; 1994

- [28] Wenk E.; Eine Strukturkarte der Tessineralpen; SMPM 35; p. 311 - 319
- [29] Zischinsky U.; Über Bergzerreissung und Talzus Schub; Geologische Rundschau 58 (1969); p. 974 - 983
- [30] Zischinsky U.; Über Sackungen; Rock Mechanics 1; p. 30 - 52

## **KARTEN**

Oberes Tessin und Maggiagebiet (1918); Geologische Spezialkarte 1:50000; Nr. 81; Preiswerk H.

Oberes Tessin und Maggiagebiet – Profiltafel - (1918); Geologische Spezialkarte 1:50000; Nr. 81a; Preiswerk H.

P.Campo Tencia (1980); Geologischer Atlas der Schweiz 1:25000, Nr. 73; Keller F., Wenk E., Bianconi F., Hasler P.

Landeskarte der Schweiz 1:25000, Blatt 1272, P. Campo Tencia.