

Geologische Untersuchungen
komplexer Hanginstabilitäten
in der Val Schais bei
Sta. Maria, Val Müstair

Masterarbeit

der Philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät

der Universität Bern

vorgelegt von

Dorian Gaar

von Domat/Ems

2008

Leiter der Arbeit:

Prof. Dr. Christian Schlüchter, Institut für Geologie

Zusammenfassung

Blickt man von der Ofenpasshöhe aus in die Val Müstair, fällt einem oberhalb Sta. Maria eine klaffende Wunde in der Landschaft auf. Es sind die Lockergesteine der Val Schais, die sich durch ihre helle Farbe deutlich von der Umgebung abheben.

In dieser Arbeit wird die Geologie in und rund um die Val Schais beschrieben. Bodenmechanische Parameter einer seit über einem Jahrzehnt geodätisch überwachten, komplexen Hanginstabilität werden mittels Laboruntersuchungen ermittelt und die Gründe für die Instabilität werden diskutiert. Es wird aufgezeigt, welche Rolle die Gesteinstypen und die tektonische Geschichte des Gebiets für die Instabilität spielen.

Ausserdem werden die hydrogeologischen Verhältnisse unter Verwendung ionenchromatographischer Analysen aufgezeigt. Eine Niederschlagsanalyse der Jahre 1999 bis 2007 gibt einen Einblick in den Wasserhaushalt der Val Müstair und des Unterengadins.

Ein weiteres Kapitel befasst sich damit, wie hangpflegerische Massnahmen die Mobilisierung von Murgängen in der Val Schais eindämmen können.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	I
Inhaltsverzeichnis	II
Abbildungsverzeichnis	IV
1. Einleitung	1
1.1. Geographischer Überblick	1
1.2. Involvierte Organisationen	2
1.2.1. Schweizerischer Nationalpark (SNP)	2
1.2.2. Biosfera Val Müstair - Parc Naziunal	2
1.2.3. Amt für Wald Graubünden	3
2. Wasserhaushalt	4
2.1. Niederschlagsanalyse 1999 bis 2007	4
2.2. Abflussmenge Il Rom 1999 bis 2007	6
3.1. Die ostalpinen Decken	8
3.2. Die Engadiner Dolomiten	8
3. Der geologische Rahmen – Tektonik	8
3.2.1. Das Münstertaler Kristallin	10
3.2.2. Die S-charl-Decke	10
3.3. Die Gallo-Linie	11
3.2.3. Die Umbrail-Chavalatsch-Schuppenzone	11
3.4. Geologisches Profil des westlichen Untersuchungsgebiets	12
4. Der geologische Rahmen - Gesteine	13
4.1. Die Basis: die kristalline Quetschzone	13
4.1.1. Der dunkelgrüne Chloritschiefer	15
4.1.2. Der Biotitgneis	16
4.2. Der Verruccano	16
4.3. Die triadischen Gesteine	17
4.3.1. Der Dolomit	17
4.3.2. Der Gips	18
4.3.3. Die Rauhucke	19
4.4.1. Der Chlorit-Sericit-Schiefer	20
4.4. Die Gesteine der Umbrail-Chavalatsch-Schuppenzone	20
4.4.2. Der Augengneis	21
4.4.3. Zwei-Glimmer-Gneis	21
4.5. Abschätzung des Metamorphosegrades	22
5. Hydrogeologie	24
5.1. Sulfatkarst	24

5.2. Wasseranalysen	26
5.2.1. Methode: Ionenchromatographie	26
5.2.2. Proben, Laborarbeiten und Ergebnisse	32
6. Geotechnik und bodenmechanische Parameter	37
6.1. Kornverteilung	38
6.1.1. Methoden	38
6.1.2. Graphische Darstellung der Kornverteilung	41
6.1.3. Beschreibung der Proben und Ergebnisse	41
6.2. Plastizitätsgrenzen	43
6.2.1. Methoden	44
6.2.2. Diskussion der Ergebnisse	46
6.3. Scherfestigkeit	48
6.3.1. Methode	49
6.3.2. Ergebnisse	52
7. Kartierung	54
7.1. Hilfsmittel im Feld	54
7.2. Luftbildauswertung	55
7.3. Digitalisierung der Karte	55
8.1. Steinschlag und Felsstürze	56
8. Naturgefahren in der Val Schais	56
8.2. Rutschung und Hangkriechen	57
8.2.1. Die Hangstabilität beeinflussende Parameter	60
8.2.2. Berechnung der Hangstabilität	62
8.2.3. Hangbewegungen ausserhalb der Val Schais	65
8.3. Murgänge	66
8.3.1. Murgangaktivität der Val Schais	67
8.4. Zusammenfassung zu den Massenbewegungen in der Val Schais	68
9. Hangpflege	69
9.1. Tiefenerosion von Bächen	69
9.2. Massnahmen gegen Rutschungen	70
9.3. Massnahmen gegen von Murgängen verursachte Schäden	73
10. Literaturverzeichnis	75
Dank	78
11. Anhang	79

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1.	Ansicht des Untersuchungsgebiets von WNW.	1
Abbildung 2.1.	Übersichtskarte der Niederschlagsmessstationen	4
Abbildung 2.2.	Jährliche Niederschlagssummen ausgewählter Messstationen	5
Abbildung 2.3.	Jährliche Niederschlagssummen in Relation zur Norm	6
Abbildung 2.4.	Jahresmittel der Jahre 1999 bis 2007 der Abflussmenge des Rom	7
Abbildung 3.1.	Tektonische Skizze der Engadiner Dolomiten.	9
Abbildung 3.2.	Profil der östlichen Talseite der Val Muraunza	12
Abbildung 4.1.	karbonat-führende Füllung der Brüche in der Quetschzone	14
Abbildung 4.2.	Zerrissener Kalifeldspat (gefärbt) mit Quarz als Gangfüllung	14
Abbildung 4.3.	Calcitader (blau eingefärbt) im Chloritschiefer	15
Abbildung 4.4.	Verruccano mit Quarzitgeröllen (hell) nahe der Alp Marangun	17
Abbildung 4.5.	Dolomitbruchstücke in Calcitader (Massstab: mm-Teilung)	18
Abbildung 4.6.	Gipsblock mit zerfallender Schichtung (rechts)	18
Abbildung 4.7.	Detailansicht frisch angeschlagener Rauhwanke (Massstab: cm-Teilung)	19
Abbildung 4.8.	Kleine Höhlung infolge Verkarstung an der Rauhwanke	20
Abbildung 4.9.	verfaltete Muskovite im Zwei-Glimmer-gneis	22
Abbildung 4.10.	charakteristische Mikrostrukturen von rekristallisiertem Quarz	23
Abbildung 5.1.	grosse Doline im Gebiet Chalderas	24
Abbildung 5.2.	Ansicht einer lateral angeschnittenen Doline mit verfülltem Schlot	25
Abbildung 5.3.	Schema der Fliesswege im DX-120	28
Abbildung 5.4.	Schematische Darstellung der zwei Modi des Injektionsventils	29
Abbildung 5.5.	Schematisches Chromatogramm für eine Kationenanalyse	30
Abbildung 5.6.	Effekt des Suppressors : Links ohne Suppression, rechts mit Suppression	31
Abbildung 5.7.	Übersichtskarte der beprobten Stellen	33
Abbildung 6.1.	Übersichtskarte der Bodenproben	37
Abbildung 6.2.	Beispiel einer Kornsummenkurve	41
Abbildung 6.3.	Ausgefällte Schwebefracht eines Hochwassers	42
Abbildung 6.4.	Klopfapparat nach Casagrande. Davor liegt der Furchenzieher.	44
Abbildung 6.5.	Plastizitätsdiagramm mit Kennzeichnung der Materialbereiche nach USCS	45
Abbildung 6.6.	Mohr-Coulombscher Spannungskreis	48
Abbildung 6.7.	Schersinn an einer kreisringförmigen Probe	51
Abbildung 8.1.	Oberer Anrissrand mit rückschreitender Erosion.	57
Abbildung 8.2.	Karte der Val Schais mit Prozessen und Verschiebungsvektoren	58
Abbildung 8.3.	schematisches Blockdiagramm einer Rutschung	59
Abbildung 8.4.	Abkiprender Rauhwankeblock im Osten der Val Schais	60
Abbildung 8.5.	Modell einer unendlich langen Böschung	63
Abbildung 8.6.	Sicherheitsfaktoren in Abhängigkeit von Hangwasserspiegel und Hangneigung	64

Abbildung 8.7.	Doppelgratbildung (links) und Gratbildung am Hang	65
Abbildung 9.1.	Schematische Darstellung der Tiefenerosion im Bachbett	69
Abbildung 9.2.	Holzkanal in der Val Schais	70
Abbildung 9.3.	Mehrere Faschinen; am unteren Bildrand verschüttet	71
Abbildung 11.1.	Stratigraphisches Sammelprofil der S-Charl-Decke	90
Abbildung 11.2.	Profil der östlichen Talseite der Val Muraunza	91
Abbildung 11.3.	Übersichtskarte der geoelektrischen Profile von CAVIGILLI (1997)	116

1. Einleitung

1.1. Geographischer Überblick

Das Untersuchungsgebiet liegt ganz im Osten Graubündens in der Val Müstair südlich von Sta. Maria. Es wird im Westen durch die Muranzina und die Umbrailpasstrasse begrenzt, im Osten etwa durch die Gemeindegrenze zu Müstair. Höchster Punkt des Kartiergebiets ist der Gipfel des Piz Chalderas (2782 m ü. M.).



*Abbildung 1.1.
Ansicht des Untersuchungsgebiets
von WNW. Die helle Fläche in der
Bildmitte sind die Lockergesteine der
Val Schais, der darüberliegende Gipfel
ist der Piz Chalderas, rechts führt die
Strasse in Richtung Umbrailpass.*

Das Gebiet umfasst die weitere Umgebung der Val Schais. Der Begriff stammt vom lokalen romanischen Wort für «Gips», dem vorherrschenden Gestein in der oberen Val Schais.

1.2. Involvierte Organisationen

Diese Arbeit ist am Institut für Geologie der Universität der Bern und am Geozentrum in Burgdorf (gemeinsames Erdbaulabor der Berner Fachhochschule, Abteilung Architektur, Bau und Holz und dem Institut für Geologie) entstanden. Daneben sind aber noch weitere Organisationen an diesem Projekt in irgendeiner Form beteiligt:

1.2.1. Schweizerischer Nationalpark (SNP)

Der Schweizerische Nationalpark (SNP), 1914 gegründet, ist ein Nationalpark höchster Schutzstufe. Die höchste Schutzstufe schliesst Prozessschutz mit ein. Das heisst, auch geomorphologische Prozesse wie Murgänge und Felsstürze werden sich selbst überlassen. Im Gegensatz zu anderen als Naturschutzgebiet bezeichneten Zonen, die meist nur Pflanzen- und Tierschutzgebiete sind, ist der SNP ein echtes Naturschutzgebiet, wo wirklich fast alle natürlichen Prozesse ohne anthropogene Eingriffe stattfinden können. Nach IUCN (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources) gehört der SNP in die Kategorie Ib, er ist also eine «Wilderness Area».

Weil gemäss Nationalparkgesetz ein Forschungsgebot herrscht (es muss geforscht werden!), weist die Organisation SNP ein hohes Know-how im Bereich alpiner Forschung auf. Obwohl das Untersuchungsgebiet der vorliegenden Arbeit nicht im Kerngebiet des SNP liegt, laufen Bewilligungs- und Koordinationsverfahren über die Forschungskommission des SNP.

1.2.2. Biosfera Val Müstair - Parc Naziunal

«Biosfera Val Müstair - Parc Naziunal» ist ein Projekt zur Schaffung eines Naturschutzgebietes mit verschiedenen Schutzstufen in der Val Müstair und in der Umgebung des bestehenden SNP. Es wird eine Anerkennung als UNESCO-Biosphärenreservat angestrebt. Von der Biosfera soll auch der SNP profitieren, weil seine heutige Organisation mit einer Naturschutzzone höchster Schutzstufe ohne Umgebungszone nicht mehr als zeitgemäss angesehen wird. Innerhalb der Biosfera soll der SNP zum Kerngebiet werden, die Val Müstair eine erweiterte, abgestufte Schutzzone um den SNP. Die Ziele der Biosfera umfassen nicht nur den Naturschutz, sondern auch andere Ziele in den Bereichen Kultur, Gesellschaft und Wirtschaft (nach BIOSFERA, 2005).

1.2.3. Amt für Wald Graubünden

Der Anstoss für die vorliegende Arbeit kam von Hansjörg Weber. Er ist als Regionalforstingenieur des Amtes für Wald Graubünden zuständig für Südbünden.

Es sind zwei Hauptgründe, weshalb sich das Amt für Wald für geologische Arbeiten interessiert. Zum einen wurden in der Val Schais seit Jahrzehnten aufwändige Sanierungsmassnahmen getroffen, die Hangprozesse eindämmen sollten. Zum anderen ist das Amt für Wald beauftragt, Gefahrenkarten für alle Siedlungsgebiete des Kantons zu erstellen. In beiden Punkten sind detaillierte Informationen über die Geologie von grosser Wichtigkeit.

2. Wasserhaushalt

2.1. Niederschlagsanalyse 1999 bis 2007

Die Val Müstair ist, wie auch das Engadin, praktisch allseitig von Gebirgszügen umgeben und dadurch vom allgemeinen Wettergeschehen weitgehend abgeschirmt. Täler in solchen Lagen bezeichnet man als inneralpine Trockentäler. Aus diesem Grund sind die jährlichen Niederschlagsmengen, die in der Val Müstair fallen geringer, als beispielsweise im Schweizer Mittelland, wo Wetterfronten praktisch ungehindert über das flache Land ziehen können.

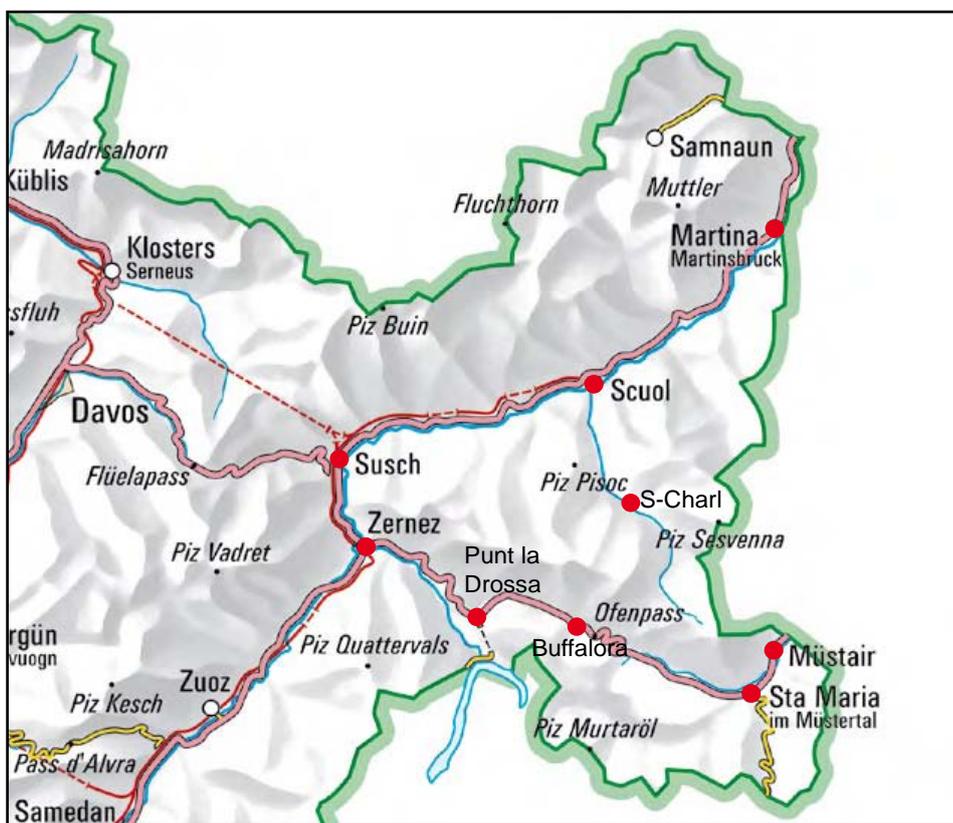


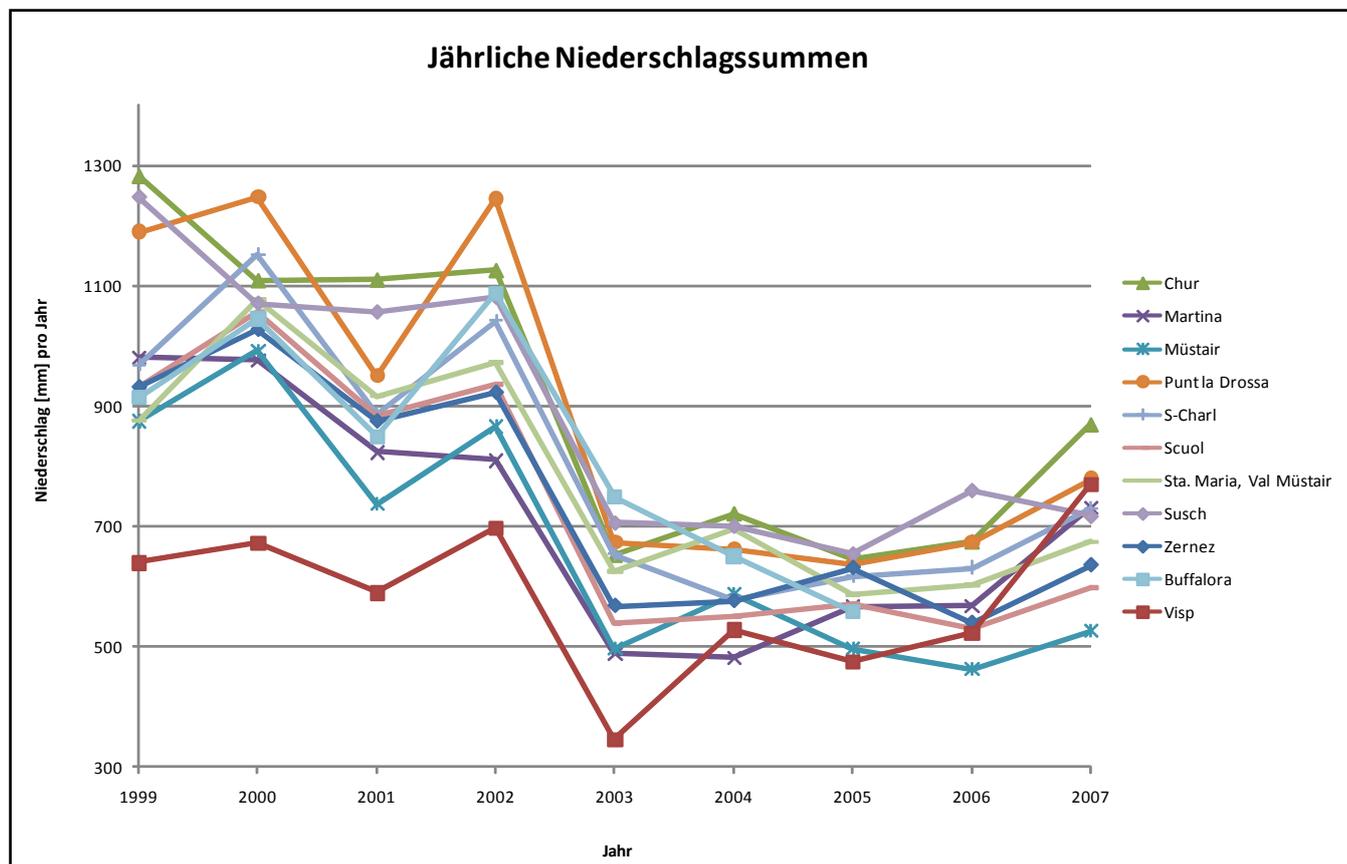
Abbildung 2.1.
Übersichtskarte der Niederschlagsmessstationen (rote Punkte) im Unterengadin und in der Val Müstair
KARTENGRUNDLAGE: © SWISSTOPO

Betrachtet man die Niederschlagsmengen der Jahre 1999 bis 2007 kann man noch andere Phänomene erkennen. Zu diesem Zweck wurden die Aufzeichnungen verschiedener Niederschlagsmessstationen in der Val Müstair und im Unterengadin ausgewertet. Abbildung 2.1. zeigt die geografische Lage der Stationen.

Bereits STEINER (2005) hat die jährlichen Niederschlagssummen in der Nationalparkregion untersucht. Er erkannte einen stark abnehmenden Trend aller Stationen. Für die vorliegende Arbeit wurden zusätzliche Stationen bei-

gezogen, darunter auch die Stationen Chur und Visp. Diese beiden Stationen liegen nicht in der Untersuchungsregion, haben aber ähnliche klimatische Bedingungen; sie sollen den Aussagen einen allgemeineren Charakter geben.

In Abbildung 2.2. sind die Niederschlagssummen der Stationen in mm pro Jahr aufgetragen. Die genauen Werte sind im Anhang 11.1. beigefügt.



Auffällig ist die Abnahme der Jahresniederschläge bei allen Stationen zwischen den Jahren 2002 und 2003. Dies mag nicht weiter erstaunen; ist doch der November 2002 wegen seiner Starkniederschläge, die grosse Schäden verursachten, vielen in Erinnerung. Der Sommer 2003 hingegen, ging als Rekord-Hitzesommer in die Annalen ein. Auffällig ist, dass die darauf folgenden Jahre 2004 und 2005 kaum einen Anstieg der Niederschläge zeigen und die Station Buffalora ab 2003 sogar noch weitere zwei Jahre Abnahmen verzeichnet. Ab 2006, spätestens aber im Jahr 2007 tritt bei allen Stationen eine «Entspannung» ein.

Betrachtet man die in Abbildung 2.3. dargestellten jährlich anfallenden Niederschlagsmengen in Relation zu ihrem Normwert (1961 bis 1990) zeigt sich, dass die im Osten Graubündens gelegenen Stationen seit 2002 nie mehr ihren Normwert erreicht haben.

Abbildung 2.2.
 Jährliche Niederschlagssummen
 ausgewählter Messstationen
 NIEDERSCHLAGSDATEN
 ©METEOSCHWEIZ

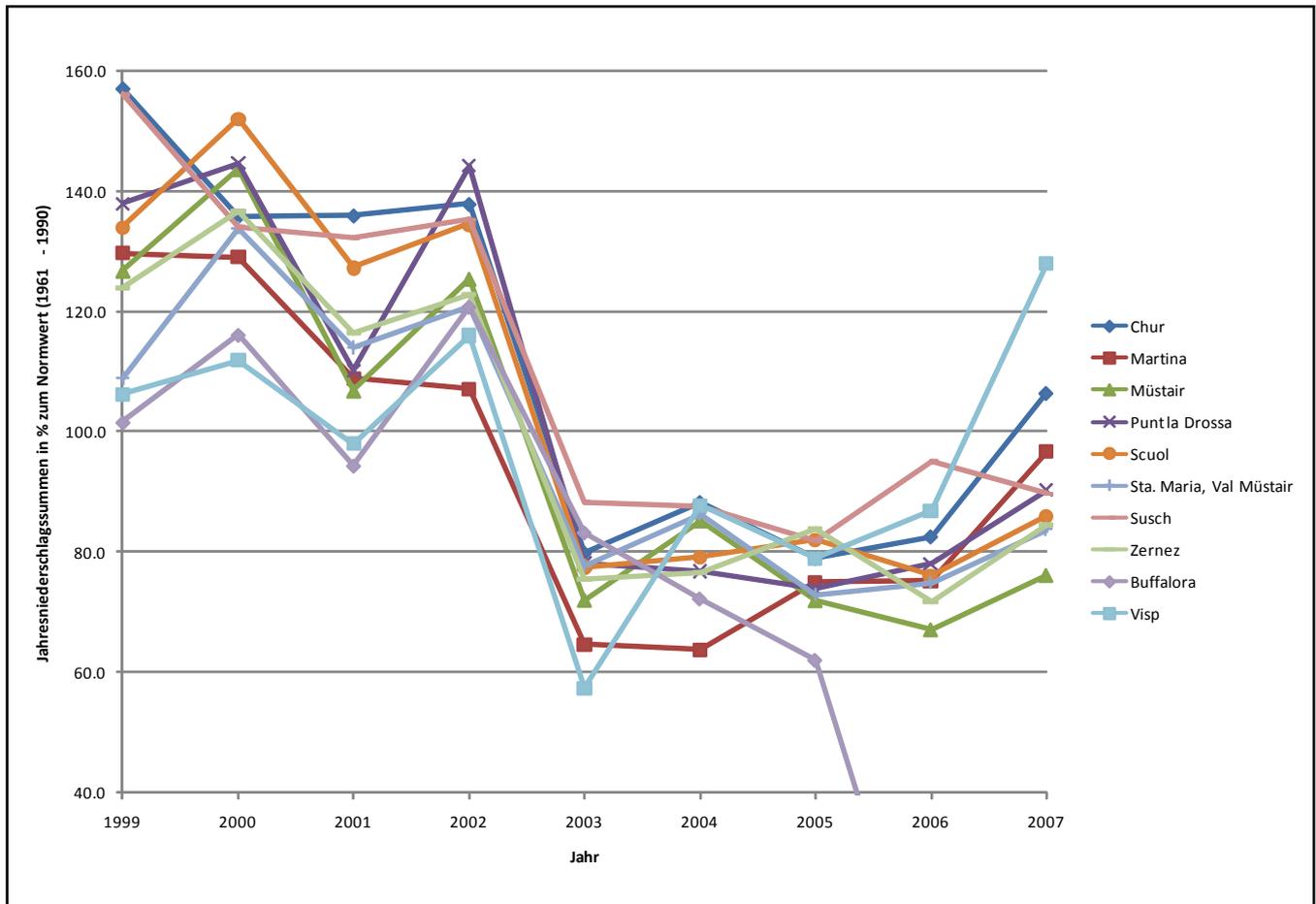


Abbildung 2.3.
 Jährliche Niederschlagssummen in
 Relation zur Norm
 NIEDERSCHLAGSDATEN
 ©METEOSCHWEIZ

2.2. Abflussmenge Il Rom 1999 bis 2007

Die Abflussmenge des Rom wird mit einer Messstation bei Müstair aufgezeichnet. Zusammenstellungen von Aufzeichnungen dieser Station sind im Anhang 11.1. beigefügt. Vergleicht man die durchschnittlichen jährlichen Abflussmengen (Abbildung 2.4.) mit den jährlichen Niederschlagssummen zeigt sich ein interessantes Bild.

Der allgemeine Trend zeigt in Richtung abnehmender Abflussmenge. Interessant ist, dass im Jahr 2007, während dem allgemein mehr Niederschlag fiel, die Abflussmenge gegenüber dem trockenerem Jahr 2006 abnimmt. Es gibt offensichtlich neben dem Niederschlag noch andere Mechanismen, welche die Abflussmenge beeinflussen. Eine Möglichkeit wäre, dass der Niederschlag irgendwo gespeichert wird. Natürliche Wasserspeicher sind beispielsweise Gletscher; gemäss Bundesamt für Umwelt, Abteilung Hydrologie (BAFU, 2008) sind 1.2% des Einzugsgebietes des Rom vergletschert. Dieser geringe Anteil und der Umstand, dass alle Gletscher in der Region im Jahr 2007 Längenschwund aufweisen (SCNAT und VAW, 2008) lässt diese Möglichkeit aber

unwahrscheinlich erscheinen.

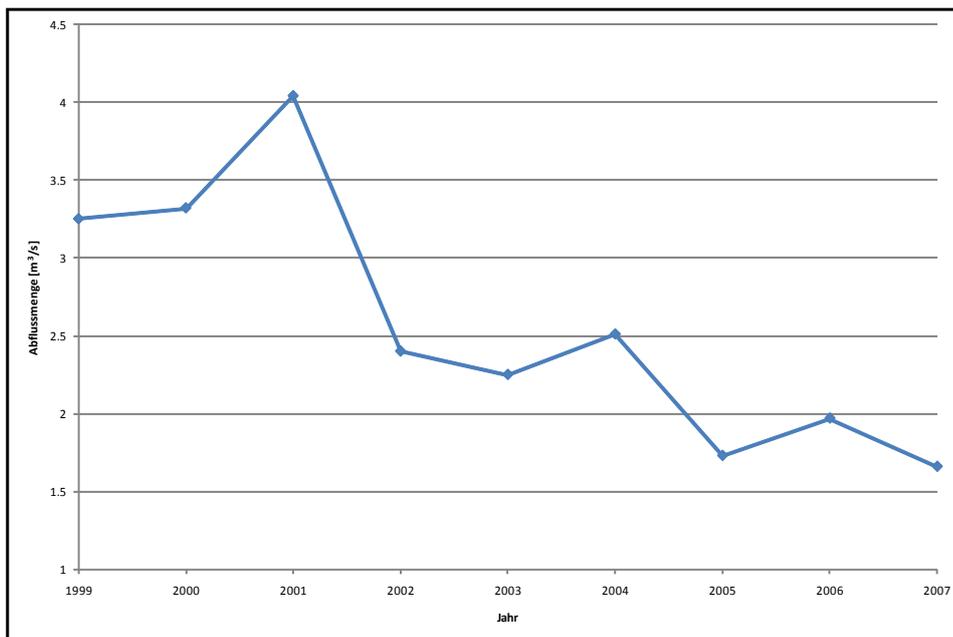


Abbildung 2.4.
Jahresmittel der Jahre 1999 bis 2007
der Abflussmenge des Rom
ABFLUSSDATEN ©BAFU

Eine weitere Möglichkeit, die für die starke Verringerung der Abflussmenge des Rom verantwortlich sein könnte, ist die Nutzung von Wasser für die Landwirtschaft. Wasser wird aus oberirdischen Gewässern oberhalb der Messstation oder Grundwasserspeichern entnommen und zur Bewässerung der Felder benutzt. Ein Grossteil dieses Wassers wird bei dieser Nutzung über Pflanzen verdunstet und gelangt nicht mehr in den Vorfluter.

3. Der geologische Rahmen – Tektonik

3.1. Die ostalpinen Decken

Das untersuchte Gebiet wird tektonisch zu den ostalpinen Decken gezählt. Die ostalpinen Decken bilden den grössten Deckenkomplex der Alpen (STAUB, 1971), wobei sie in der Schweiz eine geringe Verbreitung haben. Im alpinen Deckenstapel machen die ostalpinen Decken den höchstgelegenen Teil aus, wobei Relikte wie die Dt. Blanche- und Mont-Mary-Decken im Wallis davon zeugen, dass das Ostalpin einst einen noch viel grösseren Teil des Alpenbogens bedeckte (LABHART, 1997).

Die ostalpinen Decken werden üblicherweise in Unter- und Oberostalpin geteilt. Das Unterostalpin weist in seiner Schichtreihe eine nicht sehr mächtige Trias, Lias-Dogger-Brekzien und Tiefwassersedimente von Dogger bis zur unteren Oberkreide auf. In der oberostalpinen Schichtreihe ist die Trias um einiges mächtiger als im Unterostalpin. Weiter finden sich Tiefseesedimente deren Alter von Dogger bis zur Unterkreide reicht. Das Ostalpin ist Teil des adriatischen Sporns der afrikanischen Kontinentalplatte. Die Sedimente wurden auf dem ab Lias absinkenden Kontinentalrand abgelagert (nach PFIFFNER, 2004).

3.2. Die Engadiner Dolomiten

Der Begriff «Engadiner Dolomiten» beschreibt nicht eine einzelne tektonische Einheit, sondern mehrere Decken im westlichen Teil des Oberostalpins. Die Engadiner Dolomiten bedecken geographisch etwa das Dreieck zwischen S-chanf im Westen, dem Reschenpass im Nordosten und dem Ortler im Südosten. Abbildung 3.1. gibt einen Überblick über die Engadiner Dolomiten (SCHMID, 1973).

Ihr Aufbau mit den wichtigsten Einheiten sieht wie folgt aus: Im Süden erstreckt sich der Ortler-Komplex als schmales E-W verlaufendes Band; dieser Komplex besteht vor allem aus Sedimenten der Obertrias bis Kreide, enthält aber stellenweise auch noch Kristallinscherben. Im Osten stösst die aus Dolomiten aufgebaute Quaternalsdecke an den Ortler-Komplex, während im Westen die Umbrail-Chavalatsch-Schuppenzone die nördliche Begrenzung des Ortler-Komplexes bildet. Die Umbrail-Chavalatsch-Schuppenzone hat im Gegensatz zur Quaternalsdecke eine kristalline Basis (nach TRÜMPY ET AL.

1997 und SCHMID, 1973).

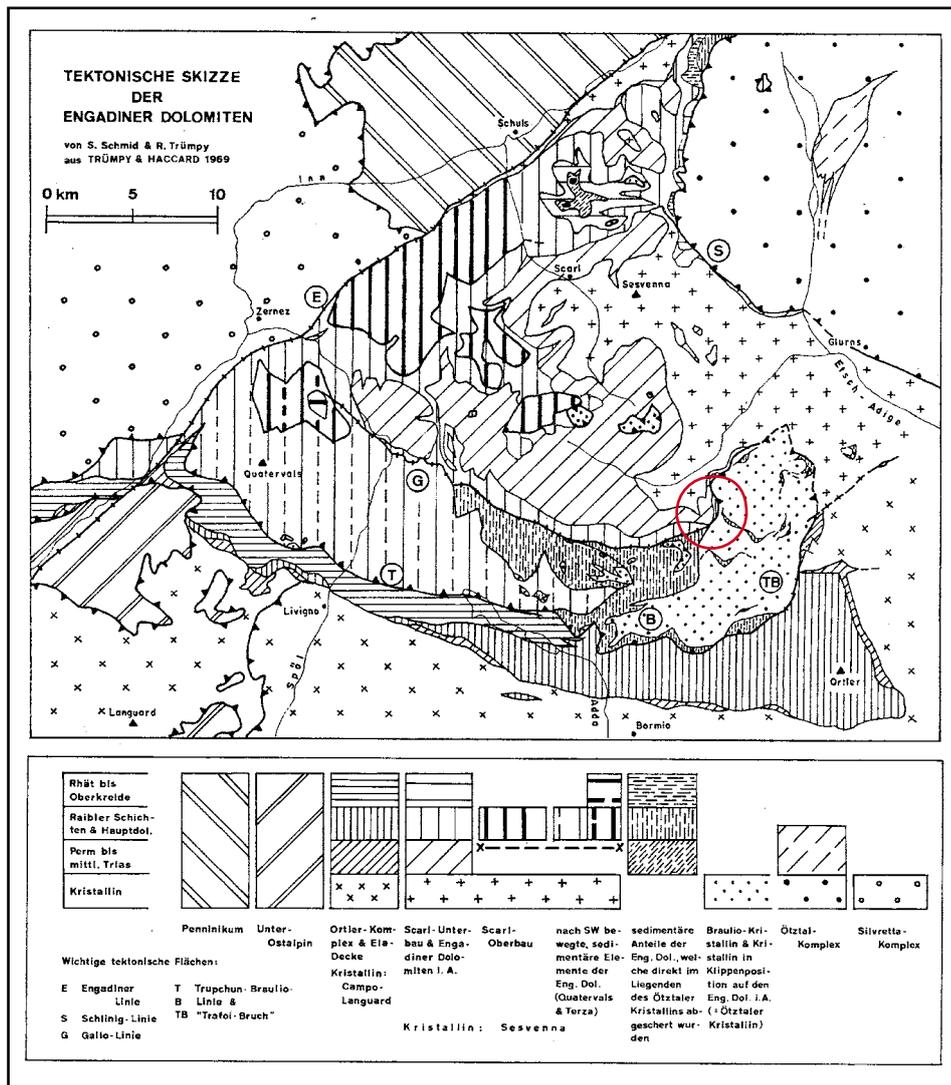


Abbildung 3.1. Tektonische Skizze der Engadiner Dolomiten. Der Kreis markiert das engere Untersuchungsgebiet. QUELLE: SCHMID (1973)

Das «Herz» der Engadiner Dolomiten ist die S-charl-Decke, welche im Nordwesten an die Engadiner-Linie stösst. Konglomeraten aus dem Perm liegt eine mächtige Unter- und Mitteltrias auf. Der S-charl-Oberbau besteht wiederum aus den Dolomiten der Obertrias. Das Sesvenna-Kristallin bildet den kristallinen Sockel der S-Charl-Decke. Aufgeschlossen ist das Sesvenna-Kristallin im östlichen Teil der Engadiner Dolomiten (nach TRÜMPY ET AL. 1997).

Im eigentlichen Untersuchungsgebiet sind die folgenden Einheiten von direkter Bedeutung und werden deshalb nochmals einzeln aufgeführt, wobei für eine genauere Beschreibung der Gesteine auf das Kapitel 4 verwiesen sei.

3.2.1. Das Münstertaler Kristallin

Die sowohl topographisch als auch stratigraphisch niedrigste Einheit des Untersuchungsgebiet ist das Sesvenna-Kristallin, welches im Münstertal wegen seiner eigenen Fazies als Münstertaler Kristallin bezeichnet wird.

Es zeigt südlich von Sta. Maria eine starke tektonische Beanspruchung, weshalb SPITZ UND DYHRENFURTH (1914) den Begriff «kristalline Quetschzone» für das anstehende Grundgebirge einführten. Das Münstertaler Kristallin weist eine Aufwölbung auf, deren Achse in etwa parallel zum Tal der oberen Val Müstair verläuft (SCHMID, 1973). Die Phyllonite dieser Einheit fallen im Untersuchungsgebiet generell nach Süden ein und ihr Gefüge ist in E-W-Richtung gelängt.

3.2.2. Die S-charl-Decke

STAUB führte 1935 den Begriff «S-charl-Decke» (bzw. in der damals üblichen Schreibweise «Scar»-Decke) ein (STAUB, 1971). Ein stratigraphisches Sammelprofil der S-charl-Decke ist im Anhang 11.3. zu finden. Der Kontakt zum darunterliegenden Kristallin liegt sehr flach und zieht auf einer konstanten Höhe von 1700 – 1800 m ü. M von der Val Schais bis in die westlich des Kartiergebietes gelegene Val Vau (SCHMID, 1973). Im engeren Untersuchungsgebiet ist das Gefüge des basalen S-charl-Verruccanos dasselbe, wie das des Münstertaler Kristallins, also eine starke nach Süden einfallende Schieferung und Längung in E-W-Richtung. Ausserdem ist der Verruccano aus Verwitterungsschutt des variszischen Grundgebirges entstanden (vgl. den Abschnitt über Verruccano im Kapitel 4). Dies hat eine starke Ähnlichkeit von Münstertaler Kristallin und Verruccano zur Folge und macht die Abgrenzung der beiden Einheiten schwierig, was auch SPITZ UND DYHRENFURTH (1914), sowie SCHMID (1973) erwähnen. Der Verruccano wird erdgeschichtlich dem Perm bis zur unteren Trias zugeordnet (DYHRENFURTH, 1913); er ist also ca. 250 bis 300 Millionen Jahre alt.

Die stratigraphisch nächst höhere Einheit im Untersuchungsgebiet ist die Raibler Formation, welche sich vor allem in dem mächtigen Gipslager der Val Schais zeigt. Die Mitteltrias, wie sie im Sammelprofil in TRÜMPY ET AL. (1997) (im Anhang) dargestellt ist, fehlt hier.

Die höchste Einheit der S-charl-Decke im Untersuchungsgebiet besteht aus Dolomiten der Hauptdolomit-Gruppe, welche das Dach des S-charl-Unterbaus bilden (vgl. stratigraphisches Sammelprofil im Anhang). Der Oberbau

im Sinne von TRÜMPY ET AL. (1997) fehlt ebenfalls.

3.2.3. Die Umbrail-Chavalatsch-Schuppenzone

Über der S-charl-Decke liegen, durch eine tektonische Fläche (die Gallo-Linie) getrennt, die Gneise der Umbrail-Chavalatsch-Schuppenzone. Die Gallo-Linie wird im folgenden Kapitel 3.3. näher beschrieben.

Nach SCHMID (1973) wurde die Umbrail-Chavalatsch-Schuppenzone in einer spätalpinen Phase in südlicher bis südwestlicher Richtung abgeschert. Im Allgemeinen zeigt sie einen Schuppenbau von obertriadischen Sedimenten der Engadiner Dolomiten und einem tektonisch höheren Kristallin; im engeren Untersuchungsgebiet dieser Arbeit wurde die Obertrias jedoch nur an einer Stelle angetroffen, wobei die Zuordnung jenes Vorkommens zur Umbrail-Chavalatsch-Zone nicht gesichert ist. SCHMID (1973) leitet das Kristallin der Umbrail-Chavalatsch-Schuppenzone vom Kristallin des Ortler-Komplexes her.

3.3. Die Gallo-Linie

Die Gallo-Linie ist das wichtigste tektonische Element im Untersuchungsgebiet. Sie streicht vom Schweizerischen Nationalpark herkommend südlich der oberen Val Müstair in E-W-Richtung, biegt am Piz Lad in nordöstliche Richtung um und streicht schliesslich östlich der Val Muraunza N-S. Im Westen fällt die Fläche mit etwa 45° nach Süden ein. Am Piz Lad flacht sie deutlich ab, steht aber bei Punt Teal (an der Umbrailpassstrasse) plötzlich fast senkrecht. Östlich Punt Teal wird die Gallo-Linie wieder deutlich flacher und ist in der oberen Val Schais verantwortlich für die dort mächtige Trias (nach SCHMID, 1973).

Die Gallo-Linie weist eine «Doppelnatur» auf: ganz im Westen, im Schweizerischen Nationalpark, sehen sie TRÜMPY ET AL. (1997) als Abschiebungsfläche der Quattervals-Decke von der S-charl-Decke und kommen in ihrer Interpretation zum Schluss, dass die Quattervals-Decke nur ein sekundär dislozierter Teil der S-charl-Decke sei. SCHMID (1973) sieht die Gallo-Linie im Osten, also im Untersuchungsgebiet der vorliegenden Arbeit als Überschiebungsbahn der Umbrail-Chavalatsch-Schuppenzone auf die S-charl-Decke.

3.4. Geologisches Profil des westlichen Untersuchungsgebiets

SCHMID (1973) hat in seiner Publikation ein geologisches Profil (Abbildung 3.2. und grösser im Anhang) durch die östliche Talseite der Val Muraunza gezeichnet. Dieses Profil schneidet das Untersuchungsgebiet zwischen der Talsohle der Val Müstair und Punt Teal. In diesem Profil ist das generelle Einfallen der Gesteinseinheiten nach Süden gut zu erkennen.

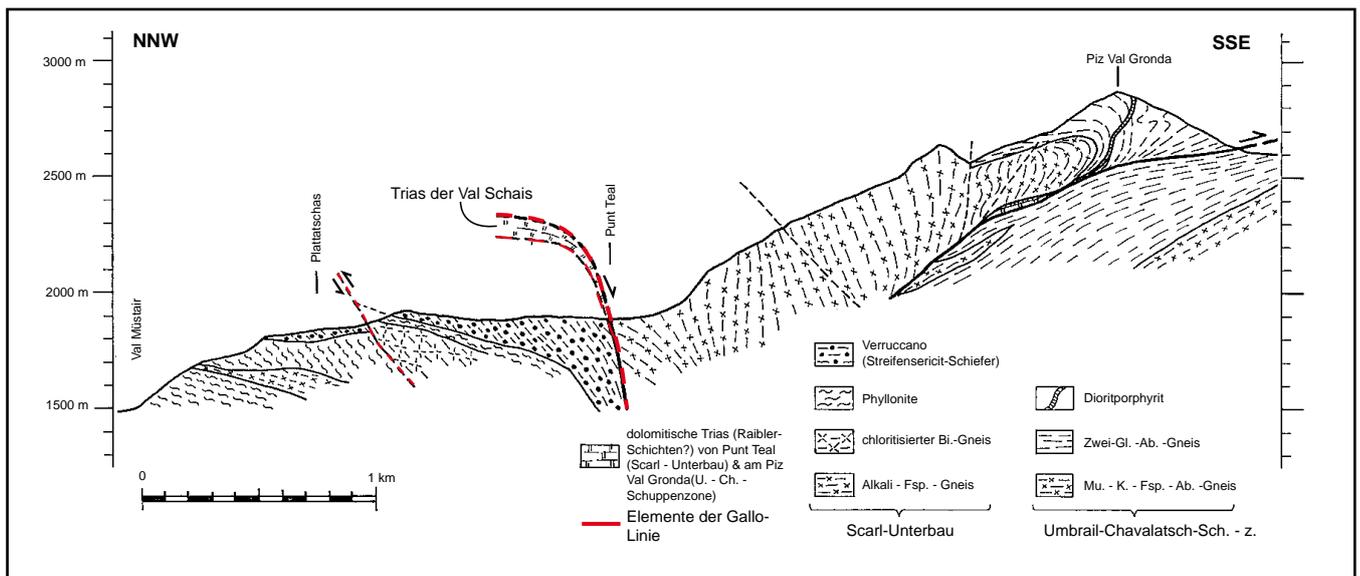


Abbildung 3.2.
 Profil der östlichen Talseite der Val
 Muraunza
 MODIFIZIERT NACH SCHMID (1973)

Die Grafik zeigt schön, wie die Gallo-Linie sich auffächert und etwas oberhalb von Plattatschas eine parasitäre Überschiebungsfläche ausbildet. Die Val Schais wird zwar vom Profil nicht angeschnitten; die tektonische Lage der Trias ist aber «in der Luft» angedeutet. SCHMID (1973) beschreibt die Situation folgendermassen: «Die an der Umbrailstrasse nahezu senkrecht stehende Gallo-Linie zieht vorerst steil ins östliche Talgehänge der Val Muraunza, um plötzlich auf gleicher Höhe verbleibend in die obere Val Schais abzdrehen. Zugleich verbreitert sich der Triaskeil von Punt Teal etwas und nimmt das mächtige Gipslager der Val Schais auf. Diese Raibler Schichten von Punt Teal und der Val Schais stellen die östliche Fortsetzung des S-charl-Unterbaus und nicht etwa der Umbrailtrias in tektonisch reduzierter Mächtigkeit dar, was durch [...] die ebenfalls in die Val Schais weiterziehende Verrucanoformation gesichert wird.»

4. Der geologische Rahmen - Gesteine

Die Gesteine des untersuchten Gebiets weisen intensive tektonische Beanspruchung auf. Aus diesem Grund ist das Gefüge der meisten Gesteine gneisig bis schieferig. Die Zuteilung der anstehenden Gesteine zu den kartierten Einheiten erfolgt nach deren mineralogischer Zusammensetzung. Im Folgenden werden die Gesteine gruppiert nach tektonischer Lage und Alter makro- und mikroskopisch beschrieben. Zur mikroskopischen Beschreibung dienen Dünnschliffe der Gesteine, die unter dem Polarisationsmikroskop untersucht wurden. Die Prozentangaben der mikroskopischen Beschreibung sind geschätzt, nur ungefähre Angaben. Einige Dünnschliffe wurden auf Kalifeldspat und Karbonate gefärbt.

Als Sericit wird ein feinkörniges Hellglimmeraggregat bezeichnet, während Muskovit alle grösseren als Hellglimmer bestimmbaren Mineralien bezeichnet.

Am Ende dieses Kapitels wird eine Abschätzung des Metamorphosegrades der kristallinen Einheiten anhand von Quarzgefügen versucht.

4.1. Die Basis: die kristalline Quetschzone

Das Münstertaler Kristallin bei Sta. Maria ist, wie bereits im Kapitel über die Tektonik erwähnt, von SPITZ UND DYHRENFURTH (1914) treffend als «kristalline Quetschzone» bezeichnet worden; die Bezeichnung bezieht sich auf die gegen Mylonitisierung gehende Verformung der Gesteine.

In diesem Kapitel werden die Hauptlithologien der kristallinen Quetschzone beschrieben. Die Unterkapitel 4.1.1. und 4.1.2 befassen sich mit anderen Gesteinstypen dieser Zone.

Die Farbe variiert von dunklem grau-grün bis hin zu helleren Varietäten, z. T. mit leichtem Blaustich.

Deutliche Streckungslineation in E-W-Richtung schliesst alle Mineralien mit ein. Beim Gestein selbst handelt sich um einen Gneis, der vielerorts in einen feinen Schiefer übergeht. SCHMID (1973) spricht von Phylloniten, also Phylliten mit teilweise mylonitischer Struktur. Das Gestein ist im Bereich mehrerer Millimeter gebändert, wobei einzig der Quarz noch eine schwache Flaserung zeigt; die anderen Mineralien sind komplett gestreckt und weisen makroskopisch keine Anzeichen ihrer ursprünglicher Form mehr auf. Eine Fältelung, deren Faltenachse in N-S-Richtung streicht, erfasst das komplette Gestein vom dm bis mm Bereich (Krenulation).



Abbildung 4.1.
karbonat-führende Füllung der Brüche
in der Quetschzone (belles, senkrechtes
Band)

Die Gesteine der kristallinen Quetschzone zeigen keine Reaktion mit HCl (6 %). Entlang einiger Brüche ist aber eine karbonatische Phase injiziert worden, die heute als helles Gesteinsmehl vorliegt (Abbildung 4.1.); diese Bruchfüllungen reagieren mit HCl (6 %). Das Gestein um die Brüche herum ist in bis zu einem Meter Distanz zum Bruch vollständig zerrieben. Beispiele dafür finden sich entlang der Strasse nach Taunter Portas.

Beim Anfassen fühlt sich das Gestein speckig an — ein Effekt, der durch hohen Sericit-Anteil hervorgerufen wird. Makroskopisch lassen sich fast nur Quarz (bis 7 mm grosse Porphyroblasten) und Hellglimmer bestimmen.



Abbildung 4.2.
Zerrissener Kalifeldspat (gefärbt) mit
Quarz als Gangfüllung

Im Mikroskop beherrschen bei der quarzitären Fazies Quarz (50 %), Muskovit (25 %) und Sericit (20 %) das Bild. Bei einigen kleinen, dunkelroten, z. T. nadeligen Mineralien (5 %) könnte es sich um Rutil handeln. An anderer Stelle kommen auch langgestreckte Kalifeldspatporphyroblasten vor, die je-

doch in kleinere, max. 4 mm grosse Stücke mit unterschiedlicher Auslöschungsrichtung zerschert sind. In die Zwischenräume sind Hellglimmer oder Quarz eingedrungen (Abbildung 4.2.). Teilweise ist der Kalifeldspat auch mit polysynthetischem Plagioklas verwachsen. Einige Kalifeldspäte weisen Mikroklitterung auf. Diese Fazies weist etwa granitische Zusammensetzung auf.

4.1.1. Der dunkelgrüne Chloritschiefer

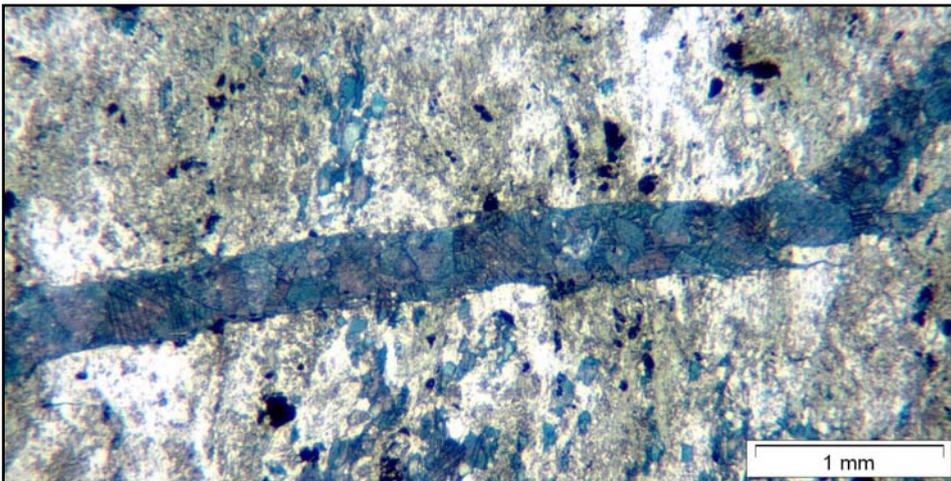
Ein im Feld gut erkennbares Gestein der kristallinen Quetschzone ist der dunkelgrüne Chloritschiefer. Er steht an der Umbrailpassstrasse im Gebiet Votas (unterhalb des Sendemastens) an. Sein Vorkommen ist relativ kleinräumig.

Die Bezeichnung «Chloritschiefer» ist von den Vorgängern übernommen, trifft aber auf die Aufschlüsse von Votas nicht ganz zu; es handelt sich makroskopisch eher um ein massiges Gestein, als um einen Schiefer. Hauptmerkmal zur Unterscheidung von den anderen Lithologien ist die dunkelgrüne Farbe und die feinkörnige Textur.

Im Dünnschliff zeigt sich der Chlorit als hellgrünes, schwach pleochroitisches Mineral, das in blätterigen Aggregaten vorkommt.

Die Zusammensetzung ist etwa folgendermassen:

Chlorit 40 %, Quarz 30 %, eisenhaltiger Calcit 25 %, nicht näher bestimmte opake Mineralien 5 %.



Der Calcit liegt teilweise in Adern (0.4 mm breit) vor, die das Gestein durchschlagen; er muss also jünger sein, als das Umgebungsgestein (Abbildung 4.3.).

Amphibolit oder Chloritschiefer?

In der Karte von SPITZ UND DYHRENFURTH (1914) ist diese Lithologie als Amphibolit eingezeichnet, was von SCHMID (1973) widerlegt wird. Tatsächlich handelt es sich beim anstehenden Gestein nicht um Amphibolit. Mit grosser Wahrscheinlichkeit liegt der Fehler jedoch nicht bei Spitz und Dyhrenfurth, sondern ist beim Druck der Karte passiert; die Signaturen für die beiden Karten unterscheiden sich kaum, sodass der Unterschied bei der Übertragung in die Druckvorlagen vermutlich nicht beachtet wurde. In der Nähe, bei Valchava ist in gleicher tektonischer Stellung innerhalb der kristallinen Quetschzone Chloritschiefer auf Spitz' und Dyhrenfurths Karte eingezeichnet. Die beiden können wohl rehabilitiert werden.

Abbildung 4.3.
Calcitader (blau eingefärbt) im
Chloritschiefer

4.1.2. Der Biotitgneis

Diese Lithologie ist im Feld durch seine dunklere, grünliche Farbe und die feinkörnigere Textur von den Phylloniten der Quetschzone zu unterscheiden. SCHMID (1973) beschreibt dieses Gestein zudem als «immer wandbildend»; diese Eigenschaft konnte teilweise nachvollzogen werden, ist aber nicht das Charakteristikum, an dem man die Grenze zu den Phylloniten ziehen könnte. Die Strukturelemente dieses Gesteins sind mit den Phylloniten übereinstimmend.

Die Bezeichnung «Biotitgneis» wurde der Kohärenz halber von SCHMID (1973) übernommen. Im Dünnschliff erkennt man wenig Biotit; dieses Mineral macht knapp 10 % des Gesteins aus. Es handelt sich um das einzige Biotitvorkommen in der kristallinen Quetschzone. Insofern ist der Name gerechtfertigt, im Feld lässt sich der Biotit aber kaum erkennen.

Im Mikroskop erkennt man, dass ein Teil des Biotits in Chlorit (7 %) umgewandelt wurde. Daneben kommen Muskovit (20 %), Dolomit (7 %) und eine feinkörnige, mylonitische Grundmasse aus Quarz und Sericit vor (je ca. 30 %).

4.2. Der Verruccano

Der Verruccano hat südlich von Sta. Maria meist eine blau-graue bis leicht violette Farbe. Er ist geschiefert. Häufig sind dunkle Streifen, weshalb SPITZ UND DYHRENFURTH (1914) diesem Gestein die Bezeichnung Streifen-Sericit-Schiefer gaben.

Wie im Kapitel über die Tektonik der S-charl-Decke erwähnt, gehen die Strukturelemente der kristallinen Quetschzone direkt in den Verruccano über, sodass eine klare Trennung der beiden Einheiten häufig unmöglich ist. Ursprungsgesteine dieses Metasediments sind quarzitisches Sandsteine oder Konglomerate (SPITZ UND DYHRENFURTH, 1914). Gemäss Dössegger (in TRÜMPY ET AL., 1997) ist der Verruccano aus der Abtragung des variszischen Grundgebirges hervorgegangen. Dies erklärt die Ähnlichkeit zwischen dem darunterliegenden Kristallin und dem Verruccano, da letzterer aus ersterem entstanden ist.

Nur an ganz wenigen Stellen ist der Verruccano anhand von dm-grossen Quarzitgeröllen und anderen Einsprenglingen deutlich als sedimentär entstandenes Gestein zu erkennen und somit sicher von den Gesteinen der kristallinen Quetschzone zu unterscheiden.



*Abbildung 4.4.
Verrucano mit Quarzgeröllen (hell)
nahe der Alp Marangun*

Nahe der Alp Marangun sind die schönsten Aufschlüsse dieser fast konglomeratischen Fazies des Verrucano gefunden worden. Abbildung 4.4. zeigt ein Beispiel davon. Rechts des Hammers ist ein weiterer Einsprengling eines dunklen Gesteins zu sehen. Der Einsprengling konnte nicht näher identifiziert werden, es handelt sich mit grosser Sicherheit aber nicht um ein Gestein, das in der Nähe vorkommt.

Im untersuchten Dünnschliff schwimmen Quarz-Porphyroblasten (2 bis 3 mm) in einer feinkörnigen Matrix aus kleinen Quarzkristallen (zwischen 5 und 250 μm gross). Daneben kommt nur noch Sericit als gesteinsbildendes Mineral vor (10 bis 20%).

4.3. Die triadischen Gesteine

4.3.1. Der Dolomit

Der Dolomit ist im Feld leicht zu erkennen. Er ist massig und bricht beim Anschlagen in scharfkantige Stücke. Es kommen auch Dolomitbrekzien vor. Charakteristisch ist die hellgraue Verwitterungsfarbe; das frisch angeschlagene Gestein ist dunkelgrau. Der Dolomit der Val Schais ist von einem feinen Netz von Calcitadern durchwachsen, die Dolomitbruchstücke enthalten können (Abbildung 4.5.).



*Abbildung 4.5.
Dolomitbruchstücke in Calcitader
(Massstab: mm-Teilung)*

Nur die Calcitadern zeigen eine deutliche HCl-Reaktion (6 %). Unter der Lupe ist aber auch in den dunkelgrauen Bereichen des Gesteins eine schwache Reaktion sichtbar.

4.3.2. Der Gips

Von Weitem ist der Gips an seiner hellen, weissen Farbe erkennbar. Er ist aufgrund seiner tektonischen Lage weitgehend zerschert und feinkörnig. An wenigen Stellen wurden bis 5 cm grosse idiomorphe Gipskristalle gefunden. Wo grössere Stücke den ursprünglichen Gesteinsverband zeigen, erkennt man eine unregelmässige Schichtung, wobei die einzelnen Schichten kaum mehr Zusammenhalt haben (Abbildung 4.6.).



*Abbildung 4.6.
Gipsblock mit zerfallender Schichtung
(rechts)*

Die niedrige Ritzhärte von 2 auf der Mohs'schen Härteskala ist diagnostisch. Man kann das Gestein mit dem Fingernagel ritzen. Die Oberfläche des

Gipses ist meist angerundet bis gerundet, nie kantig. In der oberen Val Schais zerfallen steile Gipswände in Blöcke mit einem maximalen Durchmesser von einem Meter; meist liegen am Fusse der Felswände schon kleine cm bis dm grosse Stücke. Grössere Blöcke, die vom Wasser transportiert wurden (in der unteren Val Schais), zerfallen beim Anschlagen leicht in cm-grosse Bruchstücke.

Auch morphologisch lässt sich der Gips gut erkennen: er zeigt häufig intensive Verkarstung (Kapitel 5.1.).

4.3.3. Die Rauhacke

Die Rauhacke fällt durch ihre hellbraune bis orange Farbe auf. Die Verwitterungskruste ist aber häufig dunkelgrau. Beim Anschlagen mit dem Hammer erklingt ein dumpfes Geräusch, was im Zweifelsfall die Unterscheidung vom Dolomit erleichtert.



Abbildung 4.7.
Detailansicht frisch angeschlagener
Rauhacke (Massstab: cm-Teilung)

Abbildung 4.7. zeigt eine frisch angeschlagene Stelle der Rauhacke. Deutlich ist der brekzienartige Charakter zu erkennen. Die bräunliche Matrix zeigt eine deutliche Reaktion mit HCl (6 %).

Bei den Komponenten handelt es sich vor allem um Gips und Quarz. Vereinzelt sind auch Dolomit und (mit der Lupe) einige Chlorite zu sehen.

An älteren Oberflächen weist das Gestein grosse Poren auf, was auf die Lösung von Gipskomponenten zurückzuführen ist. Dieses Phänomen erklärt den häufig gebrauchten Begriff «Zellendolomit» für diese Gesteinsart.

Die Zusammensetzung der Matrix offenbart sich erst unter dem Mikroskop. Sie ist mit 5 bis 50 μm Korngrösse feinkörnig und besteht zu $\frac{3}{4}$ aus Calcit und $\frac{1}{4}$ aus Quarz. Die 0.5 mm grossen Quarzklasten sind kantig. Sie

hatten folglich keinen langen Transportweg bis zur Bildung der Rauhacke



*Abbildung 4.8.
Kleine Höhlung infolge Verkarstung an
der Rauhacke*

An dem grossen Felsen in Abbildung 4.8. ist deutlich eine von Karst beeinflusste Oberfläche zu sehen, was die Rauhacke in die Nähe des Sulfatkarstes rückt (Kapitel 5.1.).

4.4. Die Gesteine der Umbrail-Chavalatsch-Schuppenzone

4.4.1. Der Chlorit-Sericit-Schiefer

Dieser Schiefer sticht durch seinen auffälligen Seidenglanz ins Auge. Er ist grün und fühlt sich seifig an, was auf den hohen Sericitanteil zurückzuführen ist. Die Verwitterungsfarbe ist rostbraun; im Normalfall sind jedoch relativ frische Oberflächen zu sehen. Der Chlorit-Sericit-Schiefer wurde nirgends als eindeutig anstehend angetroffen. Die kartierten Flächen im Gebiet Chalderas und am Piz Chalderas markieren Blockfelder, wo ausschliesslich diese Lithologie vorkommt und sie deshalb als anstehend vermutet wird.

Von diesem Gestein wurde kein Dünnschliff angefertigt, die Ergebnisse von SCHMID (1973) sollen der Vollständigkeit halber aber wiedergegeben werden:

Quarz und Plagioklas (Albit-Oligoklas) je 20 - 60 %, Muskovit-Sericit und Chlorit (mit wenig Biotitrelikten) je 5 - 10 %, Akzessorien (Granat, Turmalin, Apatit, Zirkon-Monazit, Epidot, Calcit, Erze) 5 %.

SCHMID (1973) führt den Mineralbestand auf einen stark umgewandelten

Zweiglimmer-Plagioklas-Gneis zurück.

4.4.2. Der Augengneis

Dieser massige Gneis ist meist leicht an seiner Textur zu bestimmen. Er weist grosse (1 bis 5 cm), rosafarbene Kalifeldspat-Augen und -Flasern auf. Die anderen Mineralien, im Feld sind Quarz und weisser Plagioklas zu erkennen, bilden Lagen von 2 bis 5 mm. Vereinzelt ist Muskovit zu entdecken.

SPITZ UND DYHRENFURTH (1914) bezeichneten dieses Gestein als «Muskovit-Granit-Gneis», bei SCHMID (1973) heisst es «Muskovit-Kalifeldspat-Albit-Gneis».

Der Kalifeldspat zeigt unter dem Mikroskop häufig Karlsbader-Zwillinge und Mikroklingitterung. Er kommt sowohl in Form von Porphyroblasten, als auch in kleineren xenomorphen Körnern von 0.5 mm Durchmesser vor. Die Porphyroblasten zeigen zum Teil perthitische Strukturen. Häufig sind sie zerschert und löschen nicht mehr als Einkristall aus. Die Risse im Kristall sind mit Plagioklas und Quarz verfüllt. Der Anteil an Kalifeldspat beträgt etwa 35 %. Die Plagioklase sind einerseits Teil der feinkörnigen Grundmasse, andererseits kommen vereinzelt hypidiomorphe Körner mit ca. 0.7 mm Durchmesser vor. Der Plagioklasanteil liegt bei 20%. Quarz kommt ausschliesslich in der feinkörnigen Grundmasse vor, deren Körner zwischen 40 bis 400 µm gross sind. Wie in allen untersuchten Dünnschliffen ist der Quarz undulös auslöschend. Er macht 30 % des Gesteins aus. Die restlichen 15 % machen Muskovit und Sericit aus. Makroskopisch ist der Sericit aber nicht wie bei den anderen beschriebenen Gesteinen durch ein speckiges oder seifiges Gefühl beim Anfassen feststellbar.

4.4.3. Zwei-Glimmer-Gneis

Im Vergleich zum Augengneis ist der Zweiglimmer-Gneis feinkörniger. Charakteristisch ist die rostfarbene Verwitterungsfarbe, welche die gesamte Gesteinsoberfläche überzieht. Weil die rostbraune Farbe auch den Augengneis erfassen kann, ist das einzig sichere Merkmal zur Unterscheidung der beiden Gesteine das (seltene) Auftreten von Biotit im Zwei-Glimmer-Gneis. Textuell ist das Gestein gebändert; bis zu 2 mm dicke Lagen aus Glimmer wechseln sich mit quarzreicheren Lagen ab. Die Mineralien sind deutlich stärker eingeregelt als im Augengneis.

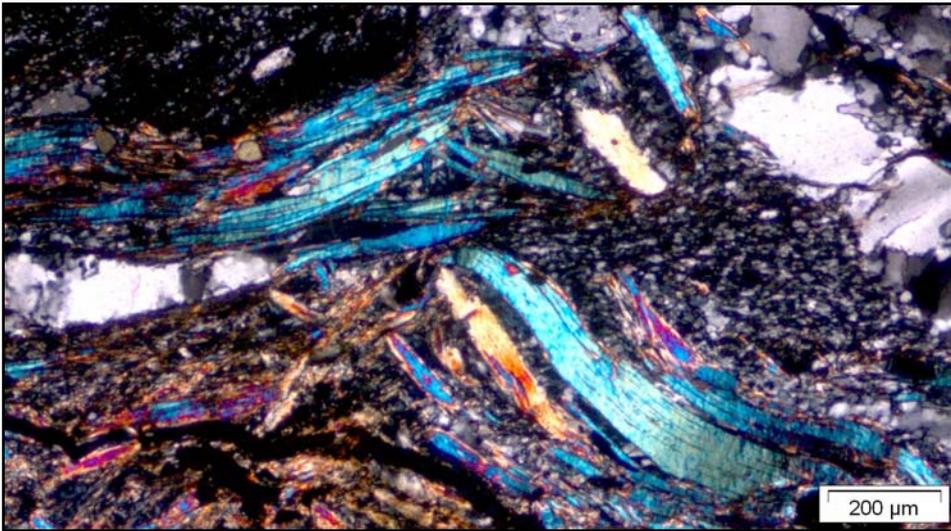


Abbildung 4.9.
verfaltete Muskovite im Zwei-Glimmer-
gneis
FOTO: D. GAAR

Erst unter dem Mikroskop erkennt man, dass die glimmerreichen Lagen starke Umbiegungen aufweisen (Abb. 4.9.). Einige Quarzkörner sind bis 0.8 mm lang, bei einer Breite von 0.1 mm. Normal sind Korngrößen von etwa 20 μm . Quarz macht 35 % dieses Gesteins aus. Plagioklase weisen dieselben Korngrößen auf. Sie kommen zu 20 % vor. Alkalifeldspäte konnten weder bei der Färbung noch unter dem Mikroskop festgestellt werden. Bei den Glimmern handelt es sich vor allem um Muskovit, der in einer feinkörnigen Sericitmasse schwimmt (zusammen 25 %). Biotit ist fast vollständig in Chlorit umgewandelt (SCHMID, 1973) und trägt 20 % zum Aufbau des Gesteins bei.

4.5. Abschätzung des Metamorphosegrades

STIPP ET AL. (2002) stellen eine Methode vor, mit der anhand des Gefüges von Quarzaggregaten die Metamorphosetemperatur abgeschätzt werden kann. Sie verglichen das Gefüge von Quarzadern (Abbildung 4.10.) mit den Temperaturen, die sie aus Reaktionsisograden und synkinematischen Mineralneubildungen im Umgebungsgestein herleiteten. Sie unterscheiden drei Temperaturbereiche:

- ‹bulging recrystallization› (BLG): 280 bis 400° C
- ‹subgrain rotation recrystallization› (SGR): 400 bis 500° C
- ‹grain boundary migration recrystallization› (GBM): 500 bis 700° C

Vergleicht man die Quarzadern in den Gesteinen der Val Schais mit den Gefügen, die Stipp et al. (2002) untersucht haben kommt man zu folgenden Ergebnissen: Die kristalline Quetschzone zeigt GBM-Gefüge, die Temperaturen lagen also bei mindestens 500° C. Der Verruccano weist ein typisches SGR-Muster auf, wurde also etwas weniger erhitzt, als das darunter liegen-

de Kristallin. Die Gesteine der Umbrail-Chavalatsch-Schuppenzone erlitten deutlich weniger Temperatur, als die tektonisch tiefer liegenden Gesteine; sie haben BLG-Gefüge.

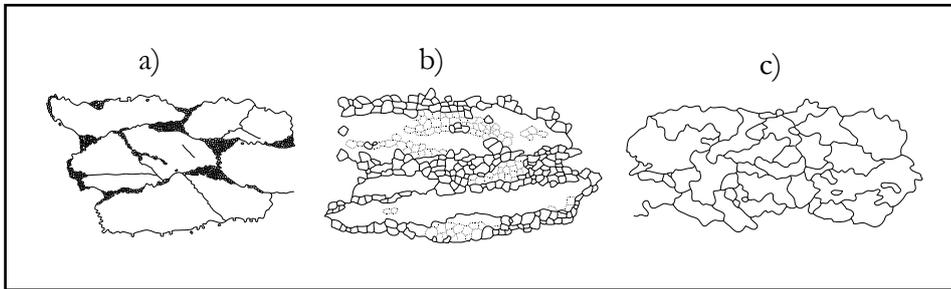


Abbildung 4.10.
charakteristische Mikrostrukturen von
rekristallisiertem Quarz: a) BLG, b)
SGR, c) GBM
QUELLE: STIPP ET AL., 2002

Anders ausgedrückt, liegen die kristalline Basis und der Verruccano klar in der oberen Grünschieferfazies, während die Gneise der Umbrail-Chavalatsch-Schuppenzone diese Fazies am unteren Temperaturbereich knapp streifen.

5. Hydrogeologie

5.1. Sulfatkarst

Die Geomorphologie oberhalb des Geländeanrisses der Val Schais ist auffällig. Im Gebiet Chalderas findet man riesige Trichter im Gelände (Abbildung 5.1.), die Ausmasse bis mehrere Zehnermeter im Durchmesser und in der Tiefe aufweisen. Der romanische Begriff «Chalderas» bedeutet auf Deutsch «Kessel» und wird generell für Eintiefungen und Mulden im Gelände benutzt.



*Abbildung 5.1.
grosse Doline im Gebiet Chalderas*

Geologisch betrachtet handelt es sich um Dolinen, die zum Phänomen des Karsts gehören. Karst ist ein Überbegriff für verschiedene Zusammenhängende Phänomene, die zusammen eine spezielle Hydrologie aufweisen und im Allgemeinen mit der chemischen Lösung von Gesteinen zu tun haben.

Die Typlokalität des Karsts befindet sich in Südwest-Slowenien im Gebirge «Kras». Die dort vorkommenden, z. T. hochreinen Kalksteine weisen grosse unterirdische Höhlensysteme auf, welche die oberflächliche Entwässerung komplett ersetzen können. An der Oberfläche erkennt man Karst z. B. an einer stark gefurchten Felsoberfläche («Karren») oder an mehr oder weniger kreisrunden Eintiefungen im Boden, den erwähnten Dolinen. Das slowenische Wort «dolina» bedeutet ursprünglich einfach «Tal»; heute wird der Begriff für die beschriebene Geomorphologie benutzt.

Oberhalb der Val Schais ist der Gips die verkarstete Gesteinsart. Die Lös-

lichkeit von Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) beträgt bis zu 2 g pro kg Wasser; sind im Wasser zusätzlich Chloride gelöst, kann die Löslichkeit bis auf 10 g pro kg Wasser ansteigen (PRINZ UND STRAUSS, 2006 UND CHANG ET AL., 1998).



Abbildung 5.2.
Ansicht einer lateral angeschnittenen
Doline mit verfülltem Schlot

Der Anriss der Val Schais bietet einen kleinen Einblick in die Genese der erwähnten Dolinen. In Abbildung 5.2. ist eine kleine lateral angeschnittene Doline zu sehen, die mit Gehängeschutt verfüllt wurde. Die Oberflächenmorphologie ist noch gut als Sattel ausgebildet; die etwas dunklere Schlotfüllung markiert den Bereich, der durch Wasserlösung vor der Verfüllung zum Hohlraum wurde.

Für die Kartierung sind zwei Kategorien von Dolinen verwendet worden. Als *inaktiv* wurden Dolinen ausgeschieden, deren Wände stark bewachsen sind und offensichtlich nicht mehr weiter eingetieft werden. Dieser Dolinentyp wurde mit einem blauen Kreis mit Kreuz gezeichnet. *Aktive* Dolinen hingegen weisen unbewachsene Wände mit nachrutschendem Schutt auf, an ihrer Basis finden noch Lösungsprozesse statt, sodass sie kontinuierlich grösser werden. Die Anzahl kartierter aktiver Dolinen beträgt 20, die Anzahl der inaktiven Dolinen 33.

In der räumlichen Verteilung der beiden Dolinentypen lässt sich ein Muster erkennen. Die aktiven Dolinen sind entlang einer Linie angeordnet, die sich mit einer Distanz von etwa 100 m dem aktuellen Anrissrand der Val Schais anschmiegt. Weiter unterhalb, näher zum Anrissrand hin, kommen fast ausschliesslich inaktive Dolinen vor. Dies kann als Zeichen für verschiedene Generationen von Dolinen interpretiert werden. Ältere Dolinen, stürzen ein und wachsen zu, wenn sich der Anrissrand ihnen nähert. Dahinter bildet sich eine neue Generation heute aktiver Dolinen, die mit dem Rückschreiten des Anrissrandes in Zukunft ebenfalls einstürzen werden.

5.2. Wasseranalysen

Mittels ionenchromatographischer Analysen verschiedener Gewässer sollten die vom Wasser durchflossenen geologischen Einheiten eruiert werden. Dieser Prüfung liegt der Gedanke zugrunde, dass das Wasser während seines unterirdischen Fließens Teile des umgebenden Gesteins auflöst und als geladene Teilchen mit sich führt. Die geladenen Teilchen nennt man Ionen, vom griechischen *ίόν*, «wandern». Ionen können aus einem einzelnen Atom oder aus zusammengesetzten Molekülen bestehen.

Ziel ist die simple Aussage, ob eine bestimmte Lithologie durchflossen wurde und eine qualitative Abschätzung, ob das Wasser einen langen Fließweg in der betreffenden Einheit hatte.

5.2.1. Methode: Ionenchromatographie

5.2.1.1. Einführung

Grundprinzip jeder Chromatographie ist die unterschiedliche Wechselwirkung von Bestandteilen einer sogenannten mobilen Phase mit einer stationären Phase. Der Name Chromatographie stammt vom griechischen Wortstamm *χρῶμα*- für «Farbe» und *γραφ-*, was mit «Zeichnung» übersetzt werden kann. Die Bezeichnung rührt daher, dass in einem einfachen Experiment ein Farbpunkt auf einem Filterpapier (= stationäre Phase), das in Lösungsmittel (= mobile Phase) getaucht wird, in seine Farbanteile aufgespalten wird und dabei farbige konzentrische Kreise auf dem Filterpapier entstehen (nach ATKINS UND BERAN, 1998)

Die Ionenaustauschchromatographie, wie sie für diese Arbeit verwendet wurde, ist als analytische Methode 1975 von Small, Stevens und Baumann eingeführt worden (SMALL ET AL. 1975). Heute bezeichnet man dieses Verfahren meist vereinfacht als Ionenchromatographie oder auch nur als IC.

5.2.1.2. Der Anfang

SMALL ET AL. (1975) wollten ein Verfahren entwickeln, das eine automatische Analyse zulässt und verwendeten deshalb als Detektor eine damals schon verbreitete Leitfähigkeitsmesszelle mit automatischer Aufzeichnung. Dies war zuvor schon getestet worden, jedoch mit geringem Erfolg; die zugegebenen Lösungsmittel hatten ein so starkes Eigensignal mitgebracht, dass die eigentlich zu analysierenden Komponenten im Hintergrundrauschen verschwanden.

Die Lösung hatten SMALL ET AL. (1975) mit einem Bauteil, das sie ‚Stripper‘ nannten. Der Stripper löscht das Hintergrundsignal des Lösungsmittels praktisch aus, sodass die eigentlich zu untersuchenden Komponenten messbar werden. Diese Erfindung war der Startschuss für eine breite Anwendung der Ionenchromatographie (SMALL, 1989).

5.2.1.3. Verwendetes Gerät und Funktionsweise

Für diese Arbeit wurden zwei Ionenchromatographen des Typs DX-120 der Firma Dionex verwendet. Sie stehen im Institut für Geologie der Universität Bern im Labor für Ionenchromatographie. Der Vorteil von zwei Geräten ist, dass Anionen (negativ geladene Teilchen) und Kationen (positiv geladene Teilchen) synchron gemessen werden können.

Ihre Funktionsweise wird im folgenden Abschnitt erläutert, Abbildung 5.3. zeigt die Fließwege und einzelnen Bauteile im Überblick:

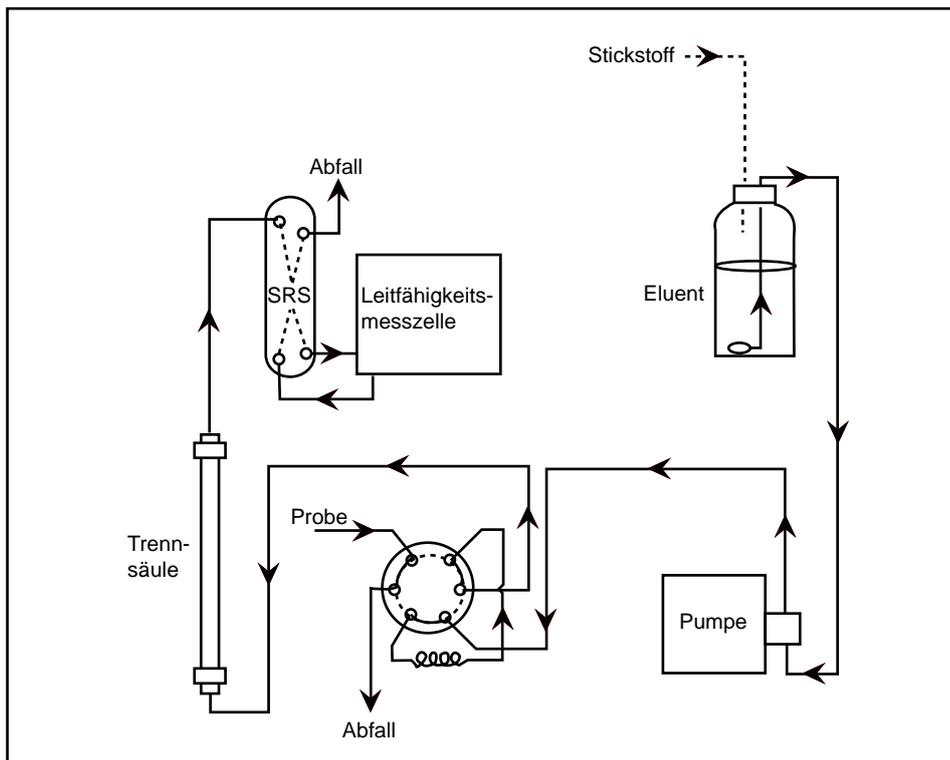


Abbildung 5.3.
 Schema der Fließwege im DX-120
 MODIFIZIERT NACH DIONEX (1998)

Als Trägerflüssigkeit für die mobile Phase dient für Kationen Methansulfonsäure ($\text{CH}_3\text{SO}_3\text{H}$) und für Anionen eine Mischung aus Natriumhydrogencarbonat (NaHCO_3) und Natriumcarbonat (Na_2CO_3) (HAEMMIG UND STRASKY, 2003). Die Trägerflüssigkeit wird Eluent genannt. Bevor der Eluent in die Speicherflasche gegossen wird, wird er während mindestens 15 Minuten unter Hochvakuum evakuiert, um gelöste Luft aus der Flüssigkeit zu entfernen. Die Speicherflasche wird unter Stickstoff-Überdruck gesetzt, um das erneute Aufnehmen von Luft in die Flüssigkeit zu vermeiden; diese könnte bei der Detektion Probleme bereiten.

Eine Einkolbenpumpe saugt den Eluenten an und treibt ihn durch das Injektionsventil, wo er eine kleine Menge der zu analysierenden Flüssigkeit (typischerweise $1 \mu\text{l}$) aufnimmt.

Das Injektionsventil verfügt über zwei Modi, die in Abbildung 5.4 dargestellt sind:

- Die Ladeposition: in dieser Position wird die Probe mit einer sterilen Spritze in eine Probenschlaufe gespritzt. Überschüssige Probenflüssigkeit wird direkt in den Abfallbehälter gedrückt. Die Probenschlaufe, eigentlich eine Art Zwischenreservoir, kann beim Einspritzen einer neuen Probe auf einfache Weise gereinigt werden: man spritzt lediglich eine grössere Menge der neuen Probenflüssigkeit ein und spült damit die vorhergehende Probe aus der Probenschlaufe. Für diese Arbeit wurden 2-3 ml Probenflüssigkeit in die Probenschlaufe gespritzt, wobei bei früheren Arbeiten (z. B. GAAR, 2006)

bereits mit weniger als 1 ml keine Kontamination zwischen einzelnen Proben festgestellt wurde. Von der Probe getrennt fließt der Eluent in dieser Position durch das Ventil direkt in die Trennsäule.

- Die Injektionsposition: in dieser Position wird die Probe mit dem Eluenten aus der Probenschleife in umgekehrter Richtung in die Trennsäule injiziert. Diese Position wird jeweils nur kurz am Anfang einer neuen Analyse eingenommen und das Ventil nachher wieder in die Ladeposition gebracht.

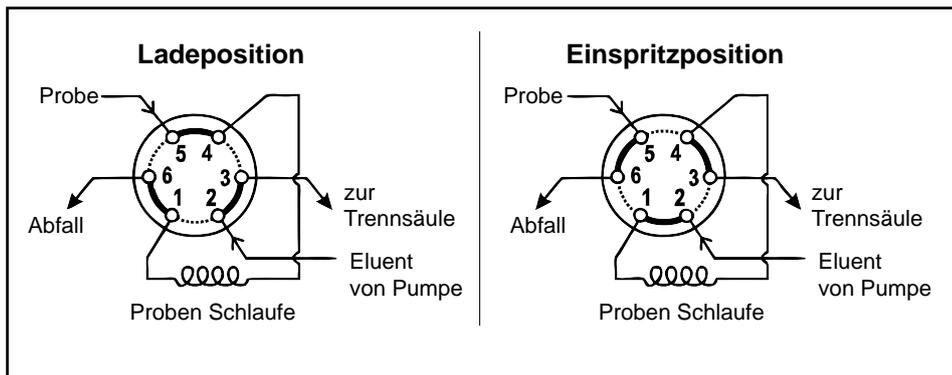


Abbildung 5.4.
Schematische Darstellung der zwei Modi
des Injektionsventils
MODIFIZIERT NACH DIONEX (1998)

In der Trennsäule findet der eigentliche chromatographische Prozess statt. Dort ist ein Harz mit fixierten Ladungen. Diese Ladungen sind denen der zu analysierenden gelösten Stoffe entgegengesetzt. Dies ist der Grund, weshalb Anionen und Kationen nicht in derselben Trennsäule gemessen werden können. Die Ionen gehen beim Durchströmen der Säule mit dem Harz Wechselwirkungen ein. Dabei spielt der Verteilungskoeffizient K_D eine wichtige Rolle. K_D ist definiert als $K_D = C_s/C_m$, wobei C_s und C_m für die Konzentrationen der gelösten Stoffe in der stationären und mobilen Phase stehen. K_D kann man als Maß für die Affinität der gelösten Stoffe zur stationären Phase bezeichnen. Ionen mit kleinem K_D gehen weniger Wechselwirkung mit der stationären Phase ein.

Zusätzlich spielt die Ladungszahl eine Rolle; doppelt negative oder positive Ladung der Ionen bewirken stärkere Wechselwirkungen mit der stationären Phase als einfache Ladungen. Durch den Eluentfluss werden alle gelösten Stoffe aus der Trennsäule getragen. Jedoch treten die Ionen wegen unterschiedlicher K_D oder Ladung zeitlich versetzt aus der Säule aus. Je größer die Wechselwirkungen zwischen einem gelösten Stoff und dem Harz in der Trennsäule, desto länger wird er in der Säule zurückgehalten. Man spricht dabei von Retention. Mit dem zeitlich versetzten Austreten der verschiedenen Spezies ist ein wichtiger Schritt der Analyse erreicht: die gelösten Stoffe wurden getrennt (nach SMALL, 1989).

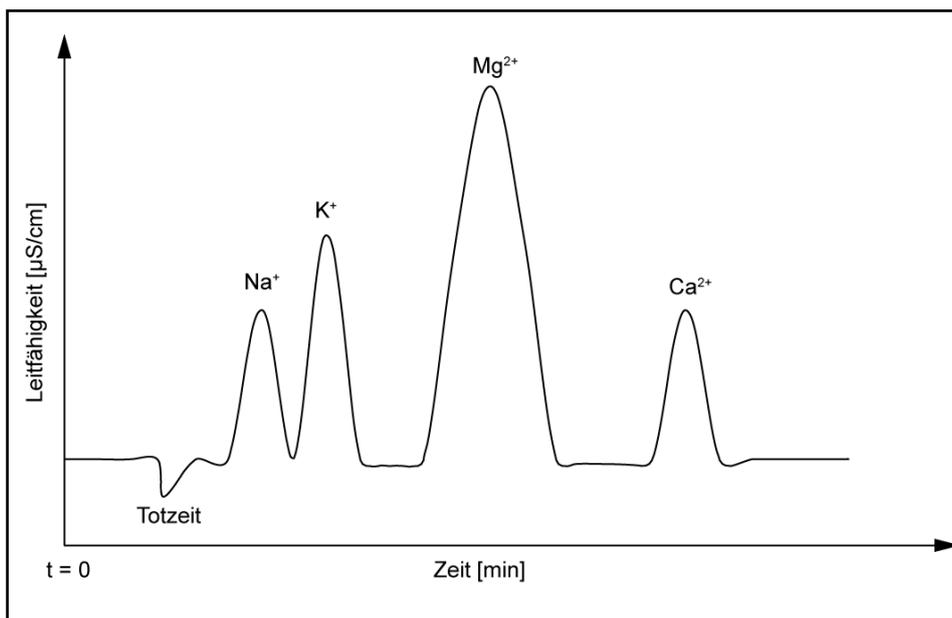


Abbildung 5.5.
Schematisches Chromatogramm für eine
Kationenanalyse
NEU GEZEICHNET NACH
HAEMMIG UND STRASKY (2003)

In Abbildung 5.5. ist die gemessene Leitfähigkeit gegen die Zeit aufgetragen. Der erste negative Ausschlag der Kurve markiert die Zeit, die der Eluent (der im Idealfall keine Wechselwirkung mit der stationären Phase eingeht) braucht, um die Säule zu durchfließen. Diese Zeit wird Totzeit genannt. Danach folgen die «Peaks» der einzelnen Ionen, aufgereiht nach Affinität zum Harz in der Trennsäule und nach Ladung.

Weil der Eluent sich jedoch nicht neutral verhält und schwach konzentrierte Ionen hinter dem Signal des Eluenten verschwinden, muss das «Rauschen» des Eluenten unterdrückt werden. Diese Aufgabe übernahm in den ersten Ionenchromatographen der «Stripper» (vgl. Kapitel 5.2.1.2 über den Anfang der Ionenchromatographie), eine zweite Trennsäule in welcher der Eluent neutralisiert wurde. Nachteil war, dass der «Stripper» regeneriert oder ausgetauscht werden musste (SMALL, 1989). Im DX-120 kommt ein selbstregenerierender Membran-Suppressor (SRS) zum Einsatz. Dieser Suppressor ist praktisch wartungsfrei und hat eine grosse Lebensdauer. Der Effekt der Suppression ist in Abbildung 5.6. deutlich zu sehen.

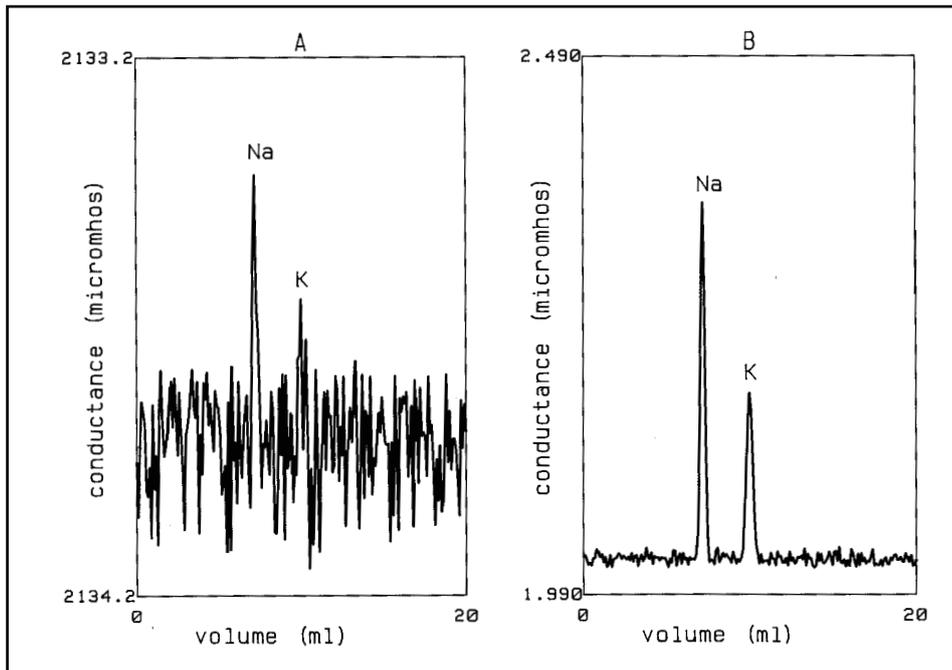


Abbildung 5.6.
 Effekt des Suppressors : Links ohne
 Suppression, rechts mit Suppression
 QUELLE: SMALL (1989)

Nachdem die Ionen getrennt sind und Störsignale unterdrückt werden, kann die eigentliche Detektion stattfinden. Diese findet in der Leitfähigkeitsmesszelle statt, wo an zwei Elektroden eine bekannte Spannung angelegt und die Stromstärke gemessen wird. Über das Gesetz, dass Spannung gleich dem Produkt aus Widerstand mal Stromstärke ($U=R \times I$) ist, kann die Leitfähigkeit berechnet werden (Leitfähigkeit ist die Umkehrfunktion des Widerstands). Die Leitfähigkeit einer Lösung ist direkt proportional zur Konzentration der gelösten Spezies. Weil die Leitfähigkeit temperaturabhängig ist, wird die Temperatur innerhalb der Detektorzelle im DX-120 über einen Thermostaten konstant gehalten (DIONEX, 1998).

Die Leitfähigkeit wird während der gesamten Analysedauer kontinuierlich gemessen und von einem Computer aufgezeichnet. Die Konzentration wird dann aus der Fläche unter den einzelnen «Peaks» berechnet. Die Flächen werden mittels linearer Regression mit denjenigen von Kalibrierstandards verglichen. Die Zuordnung der «Peaks» zu den einzelnen Spezies geschieht ebenfalls durch den Vergleich der Retentionszeiten mit Standards. Es ist also durch Kalibrieren bekannt, welche Ionen in welchem Zeitfenster zu erwarten sind.

Die folgenden Tabellen geben Auskunft über einige Eckdaten der durchgeführten Analysen:

Verwendete Säule: IonPac® AS12A		Eluent: 2.1 mM Na ₂ CO ₃ und 0.7 mM NaHCO ₃	
Gemessene Anionen	Chlorid Cl ⁻	Nitrat NO ₃ ⁻	Sulfat SO ₄ ²⁻
typische Retentionszeit	4 min	9 min	15 min

Tabelle 5.1. Anionen

Verwendete Säule: IonPac® CS12A		Eluent: 20 mM CH ₄ O ₃ S		
Gemessene Kationen	Natrium Na ⁺	Kalium K ⁺	Magnesium Mg ²⁺	Calcium Ca ²⁺
Typische Retentionszeit	3 min	4 min	6 min 40 s	8 min 15 sec

Tabelle 5.2. Kationen

HAEMMIG UND STRASKY (2003) geben als relative Genauigkeit der Analysen 5% an. Die Reproduzierbarkeit liegt im selben Rahmen, wie Mehrfachmessungen derselben Proben gezeigt haben (GAAR, 2006). Die Bestimmungsgrenze ist ionenabhängig und liegt bei ca. 100 bis 200 ppb (µg/l).

5.2.2. Proben, Laborarbeiten und Ergebnisse

Zwischen dem 2. und 4. Oktober 2007 wurden 14 Wasserproben in der Val Schais und deren Umgebung genommen.

Damit die Proben sich bis zur Analyse nicht verändern, z. B. durch bakterielle Aktivitäten, wurden sie während der Probenahme mit einem 0.20 µm-Filter filtriert. Es kamen einzeln verpackte, sterile Spritzen und Filter zum Einsatz; die Probefläschchen waren neu. Zusätzlich wurde darauf geachtet, dass in den gefüllten Probefläschchen keine Luftbläschen sichtbar sind. Es wurden keine zusätzlichen Chemikalien zur Stabilisierung des Sauerstoffs oder ähnliches eingesetzt.

Im November 2007 wurden die Proben analysiert. Die Ionenchromatographen sind für die Analysen neu kalibriert worden; der Eluent wurde mehrmals erneuert. Zur Analyse mussten die stark mineralisierten Proben im Verhältnis 1:5 verdünnt werden, um die Ionenkonzentrationen in den Bereich der Kalibration zu bringen.

Das zur Verdünnung und für den Eluenten verwendete Wasser ist Reinwasser und stammt aus einer Elix-5-UV-Aufbereitungsanlage der Firma Millipore. Diese Anlage reinigt das Wasser mehrstufig mittels Umkehrosmose und Elektroentionisierung. Zwecks Keimabtötung wird das Wasser zusätzlich mit UV-Licht bestrahlt. Der spezifische Widerstand des behandelten Wassers ist grösser als $15 \text{ M}\Omega / \text{cm}$ (normiert auf $25 \text{ }^\circ\text{C}$). Die Ionenkonzentration in diesem Wasser ist mit den verwendeten Ionenchromatographen nicht mehr messbar, wie mehrfache Tests gezeigt haben.

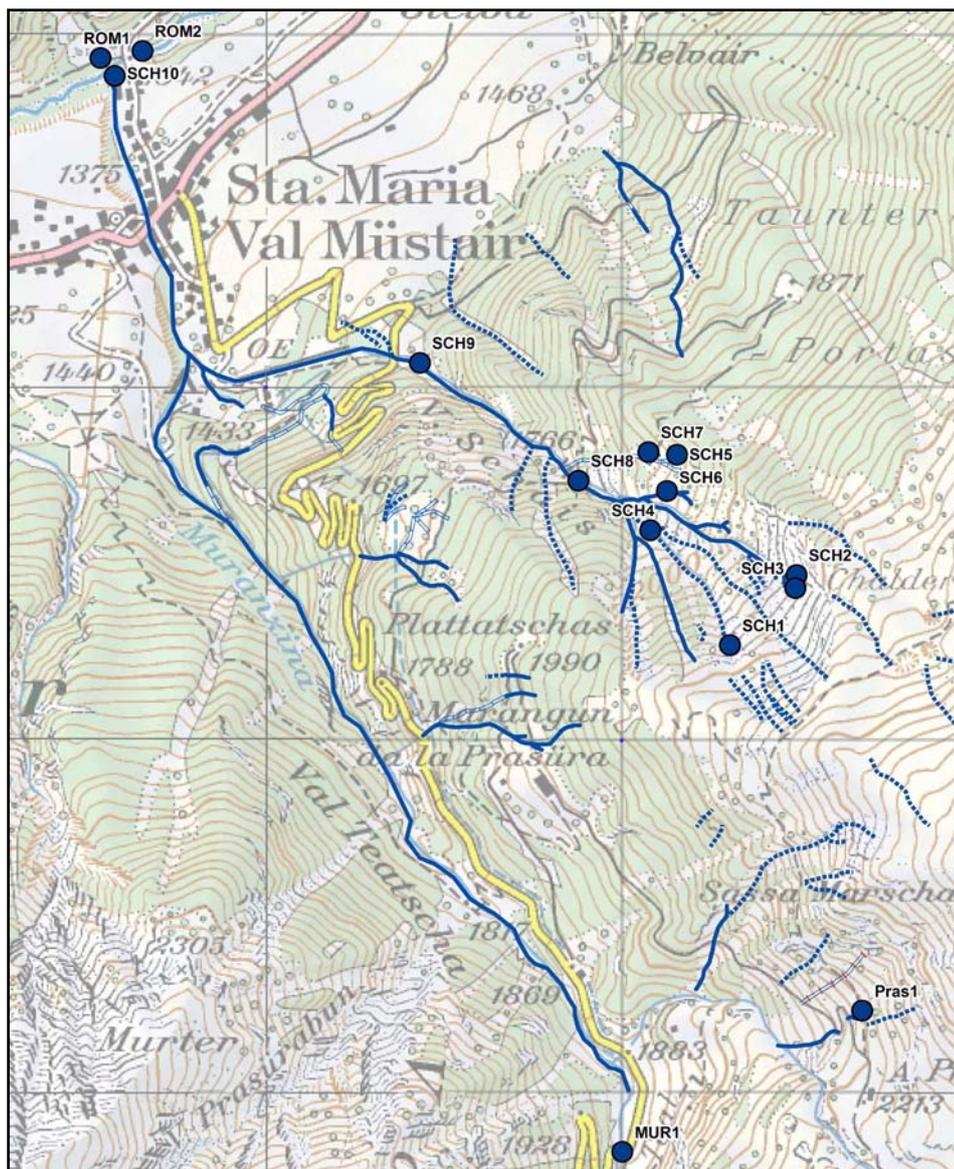


Abbildung 5.7.
Übersichtskarte der beprobten Stellen
KARTENHINTERGRUND:
LANDESKARTE 1:50000
© SWISSTOPO

Die Proben stammen aus der Val Schais (9 Proben), je zwei Proben aus dem Rom und aus der Muranzina und eine Probe stammt aus einer Quelle nahe der Alp Prasüras (Abbildung 5.7.)

In Tabelle 5.3. sind die Resultate der Analysen aufgeführt, weitere Beschreibungen der Proben sind im Anhang abgelegt.

Name	Chlorid	Nitrat	Sulfat	Natrium	Kalium	Magnesium	Calcium
SCH1	0.11	0.58	1319.16	0.65	1.23	52.14	530.13
SCH2	1.31	0.53	1380.74	2.05	0.93	33.36	532.66
SCH3	1.13	0.73	1293.81	1.98	0.69	30.51	509.05
SCH4	1.31	0.92	1313.24	0.88	1.90	39.41	509.89
SCH5	0.49	0.81	1258.56	1.51	0.84	40.56	466.65
SCH6	0.98	0.51	1317.27	1.79	1.59	50.99	518.29
SCH7	0.43	1.22	659.14	0.84	6.18	45.20	263.63
SCH8	0.57	0.80	1267.45	1.27	1.22	34.94	492.22
SCH9	0.52	-	1133.17	1.13	1.16	34.45	456.70
SCH10	0.90	0.91	300.20	0.90	0.61	20.35	132.31
PRAS1	0.14	0.09	14.17	1.44	0.48	1.15	15.61
MUR1	27.26	1.18	25.26	2.38	0.59	6.45	27.05
ROM1	1.09	0.62	212.70	0.53	0.79	23.39	88.82
ROM2	1.14	0.47	213.05	0.65	0.72	22.88	92.93

Tabella 5.3.
 Risultate der Ionenchromatographischen
 Analysen [in ppm]

Auffällig sind die hohen *Sulfat*-Werte mit gut 1.3 g Sulfat pro Liter Wasser in den Proben SCH1 bis SCH6 und SCH8. Erstaunlich ist, dass die Sulfatkonzentration in den erwähnten Proben fast gleich gross ist. Dasselbe Muster zeigen die *Calcium*-Konzentrationen; die höchsten Werte korrelieren mit den hohen Sulfatkonzentrationen. Dies ist ein deutlicher Hinweis auf die Lösung von Gips in grossen Mengen. Die hohen Ca^{2+} - und SO_4^{2-} -Werte sind, neben den Dolinen von Chalderas, ein weiterer Hinweis auf ein Karstsystem. Die Gleichförmigkeit der Konzentrationen deutet auf denselben unterirdischen Ursprung hin und indiziert ein zusammenhängendes System von Grundwasserleitern.

Das Wasser der Probe SCH7 stammt mit grosser Wahrscheinlichkeit aus einem anderen Grundwasserleiter; die oben diskutierten Konzentrationen sind hier geringer. Im Gegensatz dazu ist die *Kalium*-Konzentration deutlich erhöht. Die Quelle aus der die Probe stammt, ist vor allem durch Verruccano-Schutt dominiert. Das Kalium könnte aus der Verwitterung der Glimmer im Verruccano stammen.

In praktisch allen Proben - ausser denjenigen aus der Muranzina und der Alp Prasüras - sind relativ hohe *Magnesium*-Anteile enthalten. Die höchsten Werte stammen aus der Val Schais. Als möglicher Magnesium-Lieferant kommt im untersuchten Gebiet vor allem der Dolomit in Frage. Dafür sprechen auch die Magnesium-Werte im Rom (Proben ROM1 und ROM2); der Gebirgszug des Piz Turettas in der oberen Val Schais ist zu grossen Teilen aus Dolomit aufgebaut. Im Einzugsgebiet der Muranzina (Probe MUR1) sind kristalline

Gesteine dominant; die Magnesium-Werte sind entsprechend niedriger.

Die Probe PRAS1, repräsentiert eine Quelle aus Kristallingesteinen zwischen Sassa Marscha und der Alp Prasüras. Sie ist deshalb interessant, weil sie Hinweise auf die unterirdische Ausdehnung der triadischen Gesteine der Val Schais geben könnte; insbesondere, weil im Gebiet von Sassa Marscha, nahe dem P. 2497 die südlichsten Dolinen des kartierten Gebiets vorkommen. Die Ionenkonzentrationen deuten jedoch nicht auf einen Einfluss der Trias oder gar Verkarstung hin. Ganz ausschliessen kann man eine grössere Ausdehnung der triadischen Gesteine nach Südosten damit jedoch nicht; die Quelle könnte auch nur durch oberflächliche Gesteinsschichten fliessen. Dass die auch nach längeren niederschlagsfreien Perioden noch Wasser führt, spricht aber eher für ein grösseres und tiefer gelegenes Grundwassersystem.

Auffallend sind die niedrigen *Nitrat*-Werte in allen Proben; besonders unter dem Gesichtspunkt, dass das Gebiet Chalderas oberhalb der Val Schais im Sommer und Herbst 2007 als Weideland für Mutterkuhhaltung genutzt wurde. Es wäre zu erwarten, dass wie in anderen landwirtschaftlich genutzten Gebieten der Kuhmist erhöhte Nitratkonzentrationen zur Folge hat (vgl. überdüngte Seen im Mittelland). Man könnte argumentieren, dass die Entwässerung der Nordwestflanke des Piz Chalderas nicht über die Val Schais erfolgt; die Abbildungen 5.1. und 5.2. zeigen aber deutlich, dass der Karst in den Abbruch der Val Schais übergeht. Zudem ist sogar im Wasser des Romkaum Nitrat gelöst. Sind die Böden in der Val Müstair so geringmächtig, dass die Nitrifikation durch Bakterien nicht stattfinden kann? Man müsste dann wenigstens Ammonium oder Nitrit im Wasser gelöst haben (HAIDER, 1996). Nach diesen Ionen wurde zwar nicht gezielt gesucht, mit den verwendeten Ionenchromatographen hätten bei Anwesenheit dieser Ionen aber trotzdem «Peaks» in den Chromatogrammen sichtbar sein müssen. Dies ist nicht der Fall.

Das Nitrat-Problem der Val Schais bleibt ungelöst; für den Rom sind die Nitrat-Werte aber ein Zeugnis guter Wasserqualität. Die Landwirtschaftliche Nutzung der oberen Val Müstair hat keine Überdüngung des Rom zur Folge.

In der Probe MUR1 ist eine ausserordentlich hohe *Chlorid*-Konzentration gemessen worden. Eine einfache Erklärung, die für diese Spezies häufig beigezogen wird, ist Tausalz. Die Probe wurde direkt unterhalb der Strasse genommen; dies spricht für die Tausalz-Hypothese. Das als Tausalz eingesetzte Natrium-Chlorid müsste aber beim Natrium einen ähnlich deutlichen Ausschlag zeigen. Die Natrium-Konzentration ist aber zehn mal geringer als die Chlorid-Konzentration; abgesehen davon ist die Umbrailpassstrasse im Winter nicht unterhalten. Für die hohe Chlorid-Konzentration gibt es keine

natürliche (geologische) Erklärung; vermutlich handelt es sich um eine anthropogene Kontamination unbekannter Herkunft.

6. Geotechnik und bodenmechanische Parameter

Weitere Laborversuche wurden im gemeinsamen Erdbaulabor des Instituts für Geologie der Universität Bern und der Berner Fachhochschule, Abteilung Bau, am Geozentrum in Burgdorf durchgeführt. Dafür wurden über die ganze Val Schais verteilt neun Lockergesteinsproben genommen. Deren genauer Entnahmeort ist in Abbildung 6.1. eingezeichnet und in Tabelle 11.4. im Anhang aufgeführt.

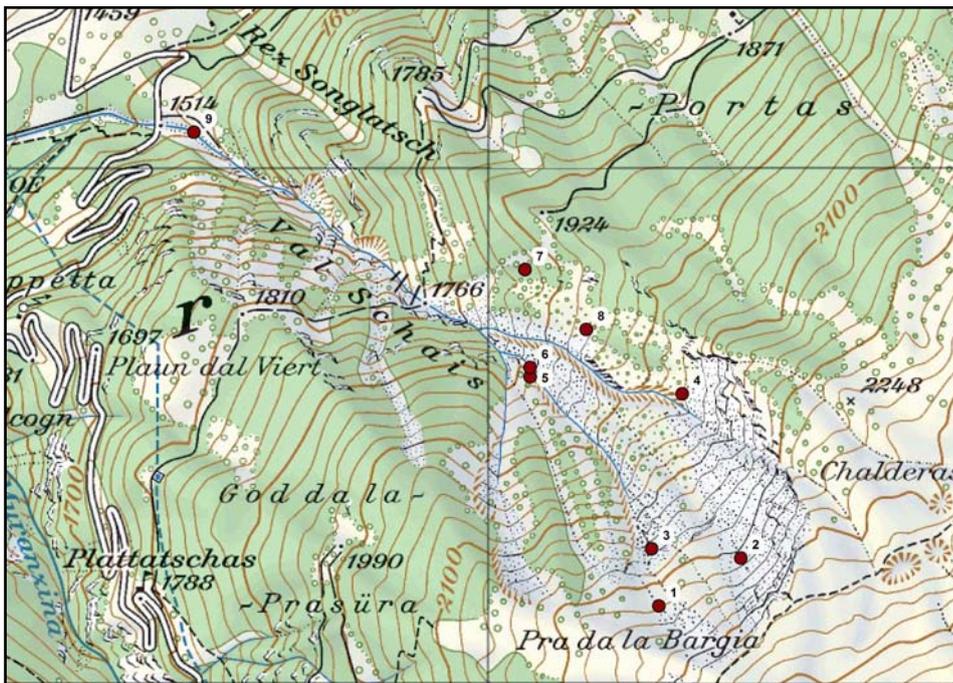


Abbildung 6.1.
Übersichtskarte der Bodenproben
KARTENGRUNDLAGE:
LANDESKARTE 1:25000
© SWISSTOPO

Ziel dieser Versuche war einerseits eine Klassifizierung der Lockergesteine nach dem Unified Soil Classification System (USCS), wie sie die Norm SN 670 004 2a (entspricht der EN ISO 14688 2: 2004) vorschreibt. Andererseits wurden aufwendige Scherversuche durchgeführt, um weitere bodenmechanische Parameter zu bestimmen; in Kapitel 6.3. wird näher darauf eingegangen.

Das Unified Soil Classification System hat zum Ziel, Eigenschaften von Lockergesteinen nach einheitlichen Massstäben zu charakterisieren und zu benennen. Entscheidend sind die Kornverteilung (Kapitel 6.1.), die Plastizitätsgrenzen (Kapitel 6.2.), sowie das Vorhandensein organischer Substanz, welche in den Proben aus der Val Schais jedoch keine Bedeutung hat und deshalb nicht näher untersucht wurde.

Böden (Boden wird hier synonym für Lockergestein verwendet) werden nach USCS mit einem Gruppensymbol, bestehend aus ein bis zwei Doppel-Buchstaben bezeichnet. Die Symbole tragen der Kornverteilung und der

Plastizität der Feinanteile Rechnung. Tabelle 6.1. gibt eine Übersicht über die Gruppensymbole:

Symbol nach USCS	Bedeutung Deutsch (Englisch)	Korngrößen [mm]	
G	Kies (gravel)	2.0 – 60	
S	Sand (sand)	0.06 – 2.0	
M	Silt (silt)	0.002 – 0.06	
C	Ton (clay)	< 0.002	
Weitere Symbole:			
O		Organisch (organic)	
Pt		Torf (peat)	
Zusätzliche Beschreibung der Kornverteilung:		Zusätzliche Beschreibung der Plastizität (für Korngrößen \leq Silt)	
W	Gut abgestuft (well graded)	L	niedrig (low)
P	Schlecht abgestuft (poorly graded)	M	mittel (medium)
		H	hoch (high)

Tabelle 6.1.
Bedeutung der Symbole nach USCS
 QUELLE: SN 670 004 2A UND
 SN 670 008A

Ein Boden mit der Bezeichnung GW-GM ist demnach ein gut abgestufter Kies mit Silt. „Abgestuft“ bedeutet im Zusammenhang mit Kornverteilungen, dass das gesamte Spektrum an Korngrößen innerhalb der Klasse vorkommt. Ein gut abgestufter Kies weist also Körner mit Durchmessern zwischen 2 mm und 60 mm auf; ein schlecht abgestufter Kies würde beispielsweise nur aus Körnern zwischen 10 mm und 15 mm bestehen. Das Gegenteil von „abgestuft“ ist „sortiert“. Der schlecht abgestufte Kies aus dem vorherigen Beispiel kann etwas positiver ausgedrückt als „gut sortiert“ bezeichnet werden.

6.1. Kornverteilung

6.1.1. Methoden

Zur Bestimmung der Kornverteilung kommen drei Methoden zum Einsatz:

- Trockensiebung für Korngrößen zwischen 125 mm und 0.5 mm
- Nasssiebung für Korngrößen zwischen 0.5 mm und 0.063 mm
- Schlämmanalyse für Korngrößen ≤ 0.063 mm

6.1.1.1. Trockensiebung

Das Prinzip der Trockensiebung beruht darauf, dass eine Probe in übereinandergestapelten Sieben mit nach unten abnehmender Maschenweite (im sogenannten Siebturm) in Korngrößenklassen aufgeteilt wird. Die EN 933 1 schreibt das Verfahren dazu vor, die EN 933 2 beschreibt die Siebe. So ist festgelegt, dass die Siebe quadratische Öffnungen haben müssen, Siebe mit Öffnungen ≥ 4 mm aus Lochblechen bestehen und Siebe für Korngrößen < 4 mm aus Metalldrahtgewebe. Die für die Proben aus der Val Schais verwendeten Siebe haben folgende Öffnungen: 63 mm, 31.5 mm, 16 mm, 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm und 0,5 mm. Die Fraktion < 0.5 mm wird aufgefangen und anschliessend mit den weiteren Prüfmethoden analysiert.

Bevor die Probe in den Siebturm geschüttet wird, muss sie bei 110 ± 5 °C im Trockenofen bis zur Massenkonstanz getrocknet werden. Dabei kann es zu Aggregaten der Feinfraktion kommen; von Hand oder – vorsichtig – mit Mörser und Pistill können diese Aggregate leicht zerdrückt werden, ohne dass man die eigentliche Korngrösse ändert.

Die Gesamttrockenmasse wird vor dem Sieben bestimmt, um allfällige Massenverluste quantifizieren zu können; weicht die Summe der Massen der Rückstände aller Siebe plus die Masse des in der Auffangschale gesammelten Materials um mehr als 1% von der ursprünglichen Trockenmasse ab, muss die Prüfung wiederholt werden (nach EN 933 1). Ist die Probe in das grösste Sieb geschüttet, wird der Siebturm bedeckt und mit konstanter Amplitude vibrierend während 8 Minuten angeregt. Danach werden die Rückstände in den einzelnen Sieben gewogen und in Prozent der Gesamttrockenmasse ausgedrückt, diese Werte sind für die graphische Darstellung (Kapitel 6.1.1.4.) von Bedeutung.

6.1.1.2. Schlämmanalyse

Mit der Schlämmanalyse werden die Kornverteilung zwischen 0,063 mm und 0,001 mm bestimmt. Das Grundprinzip beruht darauf, dass die Dichte einer Suspension abnimmt, wenn sich die festen Anteile der Suspension ab-

setzen. Je grösser ein Korn ist, desto schneller wird es sich in der Suspension absetzen. Nach Stokes' Gesetz kann aus der Dichte berechnet werden, welcher maximale Korndurchmesser sich zu einem Zeitpunkt t nach Beginn der Sedimentation in der Suspension befindet (SN 670 816a).

SN 670 816a beschreibt das Vorgehen für die Schlämmanalyse, welches in groben Zügen wie folgt aussieht:

Von dem sich in der Auffangschale befindlichen Rückstand der Trockensiebung (Fraktion $< 0,5$ mm) werden ca. 50 g abgewogen (die Masse wird selbstverständlich genau bestimmt) und in ca. 300 ml entmineralisiertem Wasser, dem 15 ml Dispergiermittel zugegeben sind, eingerührt. Als Dispergiermittel diente in den untersuchten Proben Natriumhexametaphosphat. Die erhaltene Suspension wird 24 Stunden stehen gelassen und dann nochmals mit einem elektrischen Rührwerk während 20 min durchgewirbelt.

Danach gibt man die Suspension möglichst verlustfrei in einen Messzylinder und ergänzt sie mit entmineralisiertem Wasser auf 1000 ml. Die Sedimentationsphase beginnt nach nochmaligem Durchwirbeln von Hand. Zu definierten Zeiten nach Beginn der Sedimentationsphase wird die Dichte der Suspension mittels eines Aräometers (vgl. Kasten) bestimmt. Die Zeiten, zu denen die Dichte abgelesen wird, sind: 30 Sekunden, 1, 2, 5, 10, 15 und 45 Minuten sowie 2, 5 und 24 Stunden (nach SN 670 816a).

6.1.1.3. Nasssiebung

Mit der Nasssiebung wird die Kornverteilung vervollständigt, das Prinzip ist dasselbe wie bei der Trockensiebung; zum Einsatz kommen Siebe aus Metalldrahtgewebe mit Öffnungsweiten von 250 μm , 125 μm und 0.063 μm . Als Probe verwendet man die Suspension aus der Schlämmanalyse, welche nach dem Absetzen während 24 Stunden nochmals aufgewirbelt und in den Siebturm gegossen wird. Allfällige Rückstände im Messzylinder werden mit zusätzlichem Wasser aus der Spritzflasche ins Sieb geschwemmt. Der grosse Unterschied zur Trockensiebung besteht darin, dass beim Nasssieben permanent Wasser von oben durch die Siebe gespült wird. Damit sollen Aggregate von Feinanteilen gelöst und ausgeschwemmt werden. Eine Auffangschale gibt es bei der Nasssiebemethode nicht, das Wasser mit den Feinanteilen wird direkt abgeleitet, da diese bereits mit der Schlämmanalyse analysiert wurden. Vor der Massenbestimmung werden die Siebe mit den Rückständen im Trockenofen bei 110 ± 5 °C getrocknet.

Aräometer (vom griechischen $\alpha\rho\alpha\iota\omicron\varsigma$: dünn, flüssig hergeleitet), sind Glaszylinder mit einer geeichten Skala und einem bleibeschwerten Auftriebskörper am unteren Ende. Taucht man das Aräometer in eine Flüssigkeit kommt das Archimedische Prinzip zum tragen: Die Auftriebskraft, welche ein Körper erfährt, ist gleich der Gewichtskraft des von diesem Körper verdrängten Flüssigkeitsvolumens (TIPLER, 2000). Anders gesagt, je grösser die Dichte einer Flüssigkeit ist, desto mehr Auftrieb erfährt das Aräometer und ragt deshalb weiter aus der Flüssigkeit heraus. Die Dichte der Flüssigkeit kann an der Flüssigkeitsoberfläche an der Skala abgelesen werden. In der Praxis werden für die Schlämmanalyse allerdings zusätzlich Korrekturen betreffend Ablesestelle am Aräometer (Meniskusbildung), temperaturbedingte Dichteschwankungen und Eichungsgenauigkeit an den abgelesenen Dichtewerten in die Berechnung eingeführt.

NACH SN 670 816A

6.1.2. Graphische Darstellung der Kornverteilung

Die übliche Darstellung von Kornverteilungen ist die Kornsummenkurve (auch Körnungslinie genannt). Grundlage ist ein orthogonales Koordinatensystem mit logarithmischer (Logarithmus zur Basis 10) Abszisse. Auf der Ordinate wird die Durchgangssumme in Prozent aufgetragen, auf der Abszisse werden die Korngrößen aufgetragen.

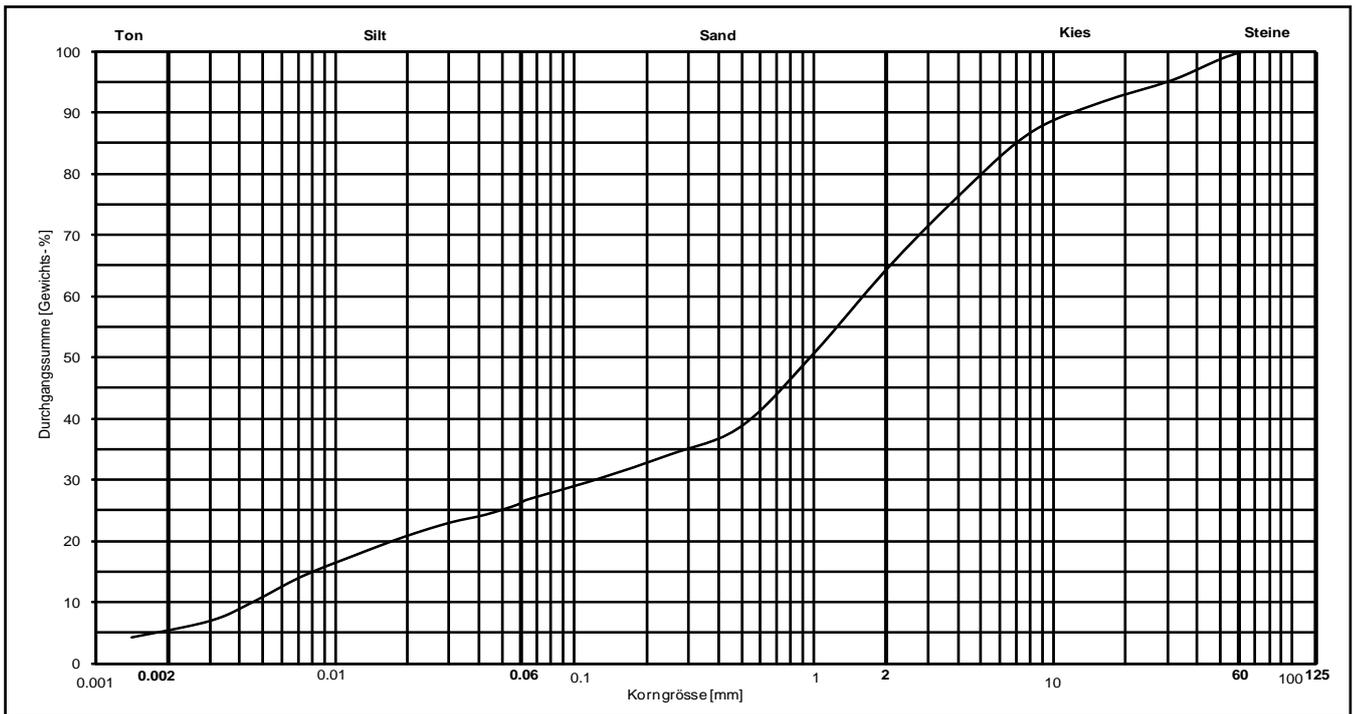


Abbildung 6.2.
Beispiel einer Kornsummenkurve

Abbildung 6.2. zeigt ein Beispiel einer Kornsummenkurve. Das Prinzip der Durchgangssumme mag anfangs etwas ungewohnt erscheinen, liest man das Diagramm aber von rechts oben nach links unten und stellt sich die Frage: „Wie viele Prozent der Probe passierten welches Sieb?“, erkennt man intuitiv, was dargestellt wird. Je steiler eine Kurve in einem Bereich ist, desto grösser ist der Anteil der betreffenden Fraktion. Eine gute Abstufung zeigt sich also in einer flachen Kurve, eine schlechte Abstufung zieht sehr steil nach oben.

6.1.3. Beschreibung der Proben und Ergebnisse

Die Probengewinnung gestaltete sich nicht trivial. Die Val Schais, besonders der obere Bereich, ist stark steinschlaggefährdet. Das Betreten dieses Gebiets

war nur an wenigen Tagen des Herbsts 2007 sicherheitstechnisch vertretbar. Frosttemperaturen dämmten den Steinschlag soweit ein, dass die Begehung am frühen Vormittag möglich war. Um das Risiko weiter zu verringern, musste die Aufenthaltszeit im Gefahrenbereich gering gehalten werden. Aus diesem Grund wurden keine tiefen Löcher gegraben, um an Probenmaterial zu gelangen. Um ausreichende Mengen der Feinfraktion für die geplanten Ringscherversuche zu erhalten, wurden Stellen beprobt, an denen der Anteil der Feinfraktion erhöht ist. Dies ist im lateralen Bereich von Rinnen der Fall. Die von Wasser mobilisierbaren Anteile setzen sich bei abnehmendem Wasserstand an ruhigeren Stellen (z. B. Mulden) in Rinnen ab und sind dort gegenüber größeren Anteilen relativ angereichert. Man nennt diese Ablagerungen auch Hochflutsedimente.

Im Folgenden werden die Proben grob beschrieben. Die Angaben zu den Ursprungsgesteinen basieren auf Feldaufnahmen.

Die Proben 1 bis 3 stammen aus Bereichen der oberen Val Schais, wo das Lockergestein praktisch nur aus Gips aufgebaut ist. Probe Nummer 4 ist geologisch gesehen ein Mischprodukt aus zerfallener Rauhwanke und Gips.



Abbildung 6.3.
Ausgefällte Schwebefracht eines
Hochwassers
FOTO: D. GAAR

Nummer 5 ist eine etwas speziellere Probe. Es handelt sich um die Schwebefracht eines vergangenen Hochwassers, die an einer Felswand ausgefällt wurde. In Abbildung 6.3. ist ersichtlich, wie das Sediment in der Wand klebt. Das Ursprungsgestein ist überwiegend Gips, wie die sichtbaren weissen Komponenten und die helle Farbe der Probe verrät.

Die Proben 6 und 8 waren zum Zeitpunkt der Probenahme in beinahe fließendem Zustand. Probe 6 ist ein Mischprodukt aus Gips und Verruccano, während Nummer 8 zu grossen Teilen aus Verruccano mit einem geringen

Anteil von Rauhwaacke besteht. Probe 8 ist bereits im Feld durch ein auffällig schmierig-seifiges Gefühl beim Zerreiben zwischen den Fingern aufgefallen.

Probe 7 stammt aus einem Bereich, wo das Material zur Hangstabilisierung künstlich umgelagert wurde und die Komponenten bestehen aus Rauhwaacke und Verruccano.

Die Probe Nummer 9 schliesslich wurde in der unteren Val Schais etwa 40 m oberhalb der Brücke der Umbrailpassstrasse genommen. Es handelt sich um Murgangablagerungen und enthält alle in der Val Schais vorkommenden Gesteinsarten.

Wie eingangs erwähnt, wurden die Proben an Stellen genommen, wo eine natürliche Sortierung stattgefunden hatte. Aus diesem Grund ähneln sich die Proben bezüglich der Kornverteilung auch; sie sind ein schönes Beispiel für die Sortierung durch Wasser. Im Anhang 11.4. sind die Kornverteilungen aller Proben dargestellt. Nach USCS sind die Proben folgendermassen zu bezeichnen: Proben 1, 3, 5 und 9 sind SM, also siltige Sande mit Kies. Bei den Proben 2, 4, 6 und 7 handelt es sich um GM, also siltige Kiese mit Sand. Einzig die Probe 8 muss als SC bezeichnet werden, sie gehört in die Gruppe «toniger Sand mit Kies». Der Kiesanteil in den Proben liegt zwischen 30 % und 43 %, der Sandanteil zwischen 25 % und 39 %.

Bemerkenswert ist, dass in den meisten Proben wenig Ton und feiner Silt vorkommt; ausser in den Proben 6, 7 und 8 macht die Tonfraktion weniger als 2 % aus. Diese Tatsache hängt wohl mit den anstehenden Gesteinen zusammen; es kommen, ausser möglicherweise im Verruccano, kaum Tonminerale vor. Zudem sind die Transportwege zu kurz, als dass grössere Anteile auf Tongrösse zerrieben werden könnten. Die Gips- und Rauhwaackekomponenten sind zudem gut wasserlöslich, sodass die Feinfraktion kontinuierlich in Lösung abtransportiert werden kann und nicht im Boden verbleibt.

Der steile Anstieg der Kornsummenkurve im Bereich mittleren Silts ist vermutlich auf die hydraulische Sortierung zurückzuführen. Dafür spricht vor allem der Umstand, dass der Anstieg in den Proben 6, 7 und 8 nicht so deutlich ausgeprägt ist. Diese Proben stammen nicht wie die meisten anderen Bodenproben aus Hochflutsedimenten.

6.2. Plastizitätsgrenzen

Zur vollständigen Beschreibung eines Lockergesteins nach USCS gehört, wie in der Einleitung erwähnt, eine Bestimmung der Plastizitätsgrenzen. Diese Grenzen beziehen sich auf Verhaltensänderungen des Bodens bei bestimm-

tem Wassergehalten. Die Grenzen werden auch Atterberggrenzen oder Konsistenzgrenzen genannt; die SN 670 345a beschreibt die Versuche. Die erste Grenze ist die Ausrollgrenze w_p , sie ist definiert als derjenige Wassergehalt, bei welchem der Boden vom festen in den plastischen Zustand übergeht. Die Fließgrenze w_L , ist derjenige Wassergehalt, bei welchem das Material vom plastischen in den fließenden Zustand übergeht.

Die Beziehung zwischen w_p und w_L wird durch den Plastizitätsindex ausgedrückt, wobei gilt:

$$I_p = W_L - W_p$$

Im Regelfall ist w_L grösser als w_p und daraus resultiert, dass die Plastizitätsindizes grösser als Null sind (nach SN 670 345a).

6.2.1. Methoden

Zur Bestimmung der Fließgrenze nimmt man einen Teil (ungefähr 150 g) des Materials < 0.5 mm, das bei der Trockensiebung in der Auffangschale zurückbleibt. Das Material muss mit entmineralisiertem Wasser aufgeschpachtelt und vor Versuchsbeginn mindestens 16 Stunden stehen gelassen werden. Diese Paste wird dann in den Klopffapparat nach Casagrande (Abbildung 6.4.) eingebaut.



Abbildung 6.4.
Klopffapparat nach Casagrande. Davor
liegt der Furchenzieher.

Die Probe sollte so in die halbkugelförmige Schale eingebaut werden, dass sie an der dicksten Stelle eine Mächtigkeit von 10 mm nicht überschreitet. Mit dem Furchenzieher wird dann eine Furche senkrecht zur Kurbelachse gezo-

gen. Die Furche ist am Schalenboden 2 mm breit. Beim Drehen der Kurbel wird die Schale durch einen Nocken um 10 mm gehoben und dann auf den Kunststoffsockel fallen gelassen. Der Versuch wird mit 2 Schlägen pro Sekunde durchgeführt. Beobachtet wird, nach wie vielen Schlägen sich die Furche auf einer Länge von 10 mm geschlossen hat (zusammengeflossen ist). Die Anzahl Schläge sollte zwischen 10 und 35 liegen. Der Versuch wird dreimal durchgeführt mit jeweils unterschiedlichen Wassergehalten (durch Abtupfen mit Papier oder Zugeben von Wasser regulierbar). Der Wassergehalt wird dann mittels Ofentrocknung bestimmt.

Die Fließgrenze w_L ist bei diesem Versuch als derjenige Wassergehalt definiert, bei dem sich die Furche nach 25 Schlägen schließt. Dies erreicht man mittels Interpolation der Regressionsgeraden durch die Ergebnisse der drei Versuche (nach SN 670 345a).

Zur Bestimmung der Ausrollgrenze verwendet man einen Rest aus dem für die Bestimmung der Fließgrenze aufbereiteten Material. Auf einer angerauten Plexiglasplatte (alternativ auch Zeitungspapier) wird das Material mehrfach zu „Würstchen“ ausgerollt und wieder zusammengeknetet. Dadurch verliert es allmählich an Wasser. Die Ausrollgrenze w_p ist erreicht, wenn die „Würstchen“ bei 3 mm Dicke zu zerbröckeln beginnen. Es erfolgt wieder eine Wassergehaltsbestimmung durch Ofentrocknung (nach SN 670 345a).

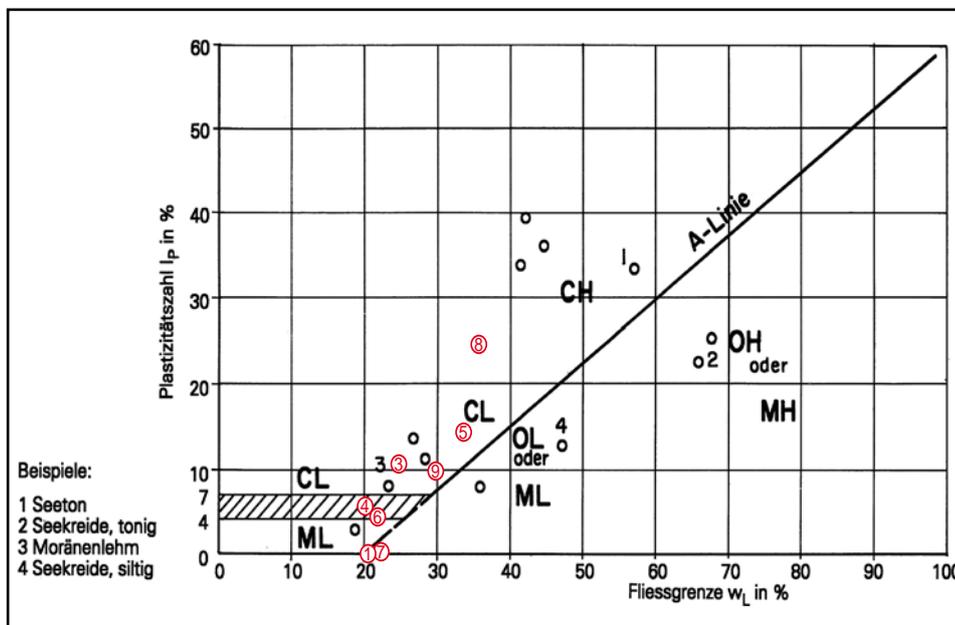


Abbildung 6.5.
Plastizitätsdiagramm mit Kennzeichnung der Materialbereiche nach USCS. In rot sind die Proben aus der Val Schais eingetragen.
QUELLE: SCHÄR, 1992

Die beiden beschriebenen Versuche muten ausführungstechnisch sehr einfach an und mögen im wissenschaftlichen Sinne nicht sehr exakt sein. Dennoch sind sie neben der USCS-Klassifikation für Lockergesteine (SN 670 004 2a), Abbildung 6.5., auch noch für die bodenmechanischen Eigenschaften eines Lockergesteins wichtig, weil sie auf eine einfache Art wichtige Hinweise

auf die Plastizität und mineralogische Aktivität des Bodens hinweisen (SCHÄR, 1992).

Der Plastizitätsindex I_p ist ein guter Indikator dafür, ob geringe Scherfestigkeiten vorliegen und weitere Versuche in dieser Richtung angezeigt sind (Kapitel 6.3.). Geringe Scherfestigkeiten zeichnen sich durch Plastizitätsindizes über 35-40 % aus (SCHÄR, 1992).

6.2.2. Diskussion der Ergebnisse

Die Streuung der Resultate der Plastizitätsgrenzenbestimmung ist gross. In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse zusammengefasst:

Probe Nr.	w_L [%]	w_p [%]	I_p	Einstufung
1	21.40	24.56	*	nicht plastisch
2	nicht bestimmbar			
3	24.95	14.46	10.49	ziemlich plastisch
4	20.53	14.04	6.49	wenig plastisch
5	37.86	24.10	13.76	plastisch
6	22.78	17.59	5.19	ziemlich plastisch
7	22.72	23.81	*	nicht plastisch
8	36.09	13.42	23.27	sehr plastisch
9	29.11	19.32	9.79	ziemlich plastisch

*Tabelle 6.2.
Ergebnisse der Plastizitätsgrenzenbestimmung und qualitative Einstufung der Plastizität nach SN 670 004 2a
* = nicht bestimmbar*

Die als nicht bestimmbar markierten Plastizitätsindizes in den Proben 1 und 7 bedürfen einer Erklärung. Bei diesen Proben ist w_L kleiner als w_p . Das widerspricht dem Regelfall von positivem I_p . Das Problem ist zum Teil methodisch bedingt: Die in der Norm vorgesehene Probenmenge ist klein, was die Bestimmung des Wassergehaltes schwierig macht. Besonders bei der Ausrollgrenze wiegen die Proben nur einige Gramm. Dies hat zur Folge, dass selbst Differenzen von wenigen Hundertstel eines Gramms Schwankungen in der Grössenordnung ganzer Prozentpunkte verursachen können. Ist die Differenz zwischen w_L und w_p klein, kann es aufgrund der erläuterten Probleme mit kleinen Probenmengen dazu kommen, dass w_p grösser als w_L ist.

Ein weiteres Problem ist durch das Probenmaterial bedingt. Deutlich ist es bei der Probe 2 aufgetreten, wo gar keine Bestimmung der Plastizitätsgrenzen möglich war. Die gipsreicheren Proben neigen zur Thixotropie. Das heisst, beim Spachteln oder Kneten sind die Proben kaum plastisch und lassen sich nur mit grossem Kraftaufwand in den Klopffapparat einbauen. Auf Erschütterungen, z. B. beim ersten Schlag im Klopffapparat reagieren die Proben dann plötzlich flüssig und zerfliessen sofort. Die Bestimmung einer

sinnvollen Fließgrenze ist bei solchen Proben anspruchsvoll bis kaum möglich: Der Wassergehalt beim Einbau in den Klopffapparat muss hoch sein, um wenigstens eine minimale Plastizität, die für das Einbauen nötig ist, zu erhalten; die minimale Schlagzahl lässt sich mit dem Einbauwassergehalt jedoch selten erreichen. Auch Schütteln in der Hand lässt die Proben «weich» werden. Sobald sie nicht mehr den Erschütterungen ausgesetzt sind, verlieren sie ihr plastisches Verhalten wieder. Ähnliche Phänomene sind von Erdbeben bekannt, wo einige Bodenarten zu Verflüssigung neigen.

Für die Scherversuche (Kapitel 6.3.) wurden aufgrund ihrer hohen Plastizität die Proben 5 und 8 ausgewählt. Probe 7 lässt anhand des I_p keine speziell niedrige Scherfestigkeit erwarten, sie wurde in die Reihe der Scherversuche aufgenommen, weil sie einen interessanten Bereich der Val Schais repräsentiert.

Ein weiteres Problem, das beim Aufspachteln der Proben auftrat, ist ebenfalls durch den Gips verursacht und soll an dieser Stelle besprochen werden: das Kristallwasser aus Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$) wird bei Temperaturen über $90 \text{ }^\circ\text{C}$ relativ schnell ausgeheizt und der Kristall wandelt sich zu Hemihydrat (auch «dehydrierter Gips» oder «Bassanit») ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$) und zu kleineren Teilen zu $\gamma\text{-CaSO}_4$ («löslicher Anhydrit») um (CHANG ET AL. 1998).

Fügt man dem trockenen Hemihydrat wieder Wasser hinzu, bindet es, wenn es nicht ständig durchgespachtelt wird, unter Abgabe von Wärme ab und bildet eine harte, spröde Masse. Die gleiche Reaktion läuft auch beim kommerziell vermarkteten «Gips» (in Wirklichkeit Hemihydrat) für Spachtelmasse oder orthopädische Zwecke ab. Durch Zugabe von viel Wasser und intensivem Durchspachteln während des Abbindens konnte das Sprödwerden jedoch verhindert werden.

Das Problem lässt sich kaum umgehen, da die Norm Trocknungstemperaturen von $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ vorschreibt. Niedrigere Temperaturen würden die Trocknungszeit verlängern und das Problem bliebe dasselbe, denn bereits ab $70 \text{ }^\circ\text{C}$ läuft die Deyhdrierung von Gips mit langsamer Geschwindigkeit ab (CHANG ET AL. 1998).

Der effektive Wassergehalt der Bodenproben ist folglich etwas geringer, als er mittels Ofentrocknung bestimmt wurde, da Teile des Kristallwassers ebenfalls ausgeheizt wurden. Eine Quantifizierung dieses Fehlers ist aber nicht möglich, weil nicht bekannt ist, wie gross der tatsächlich in Hemihydrat und $\gamma\text{-CaSO}_4$ umgewandelte Anteil ist.

6.3. Scherfestigkeit

Die Festigkeit eines Bodens wird häufig als Scherfestigkeit ausgedrückt. Die Scherfestigkeit wird überschritten, wenn entlang einer oder mehrerer Flächen Verschiebungen stattfinden, die keiner weiteren Steigerung der Scherkräfte bedürfen. Den Scherwiderstand entlang dieser Flächen bezeichnet man mit τ . Er setzt sich aus der Reibung, ausgedrückt durch den Winkel der inneren Reibung φ und der Kohäsion c zusammen. Der Winkel der inneren Reibung φ hat einen direkten Bezug zum Gelände: ab dieser Hangneigung wird der Boden instabil und wird so lange mobilisiert, bis die Hangneigung kleiner oder gleich φ ist. Die Scherspannung wird als lineare Funktion der Normalspannung σ nach der Bruchbedingung von Coulomb formuliert:

$$\tau = c + \sigma \cdot \tan \varphi$$

Im Mohr-Coulombschen Spannungskreis können die Scherparameter φ und c ermittelt werden. Abbildung 6.6. erläutert dies graphisch.

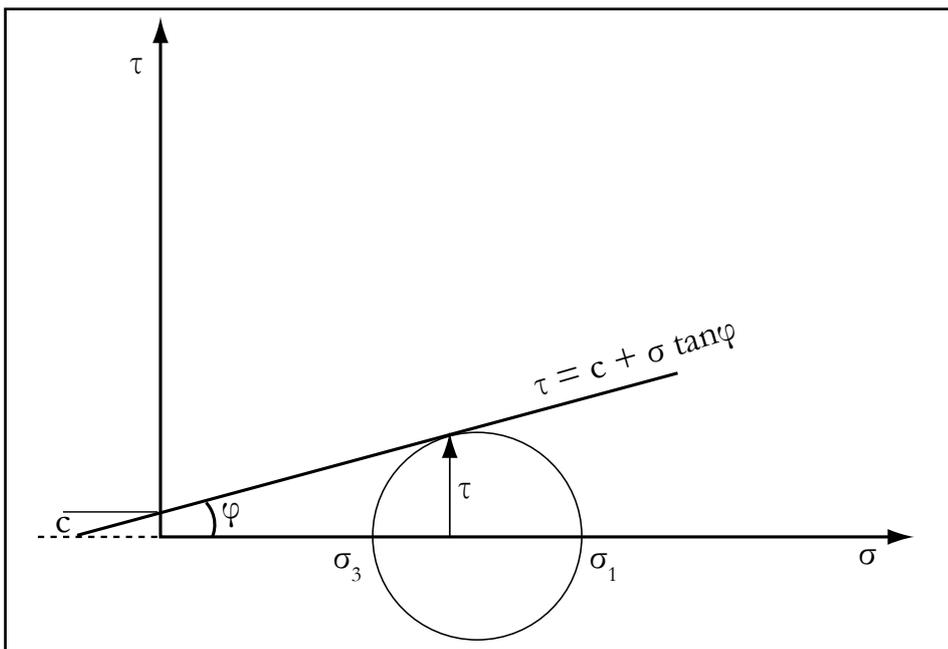


Abbildung 6.6.
Mohr-Coulombscher Spannungskreis
UMGEZEICHNET NACH: PRINZ UND
STRAUSS, 2006

Man trägt auf der Abszisse die grösste auf das Bodenelement einwirkende Spannung σ_1 und die kleinste senkrecht dazu stehende Spannung σ_3 auf und zieht einen Kreis um den Mittelpunkt zwischen diesen beiden Spannungen. Dann legt man eine Tangente an den Kreis, in dem Punkt wo τ (auf der Ordinate aufgetragen) den Kreis schneidet. Der Winkel zwischen der Tangente und der Horizontalen entspricht φ , der Ordinatenabschnitt zwischen dem Nullpunkt und dem Schnittpunkt mit der Tangente kennzeichnet c .

Die Normalspannung hat keinen Einfluss auf den Reibungswinkel φ , der im kohäsionslosen Boden alleine die Scherfestigkeit bestimmt.

Die Kohäsion c resultiert aus zwischen den Körnern wirkenden Haftkräften; sie ist abhängig von der Normalspannung. Weiter spielen der Anteil Tonmineralien, Wassergehalt und der Sättigungsgrad eine Rolle. Mit zunehmendem Wassergehalt sinkt die Kohäsion gegen Null bei einem breiigen Boden. Steht Kapillarwasser unter Unterdruck, kann auch bei nichtbindigen Böden eine scheinbare Kohäsion auftreten.

Der Scherwiderstand ist nicht über die gesamte Zeit der Belastung konstant: häufig, vor allem bei wenig plastischen Böden, tritt ein Bruch bei maximalem Scherwiderstand auf, nach welchem der Scherwiderstand allmählich abnimmt und sich auf kleinerem Niveau einpendelt. Die Bruchfestigkeit wird mit τ_f gekennzeichnet (der Index f kommt vom englischen *failure*). Der Bruch wird begleitet von einer stetigen Auflockerung im Bereich der Bruchfläche. Mit zunehmendem Scherweg regeln sich plättchenförmige Aggregate ein und man spricht beim Scherwiderstand von der Restscherfestigkeit τ_R (auch Gleitfestigkeit genannt).

Weil die Reibungsfestigkeit $\sigma \cdot \tan \varphi$ von der Normalspannung σ abhängig ist, spielen Porenwasserüberdrücke eine Rolle; sie nehmen einen Teil der Spannungen auf. Die effektiv auf das Korngerüst einwirkende Spannung σ' ist also um den Betrag der Porenwasserdrücke u kleiner:

$$\sigma' = \sigma - u$$

Die effektiven Scherparameter des drainierten (entwässerten) Bodens werden deshalb als c' und φ' bezeichnet (nach PRINZ UND STRAUSS, 2006).

6.3.1. Methode

Bei der Verwendung von natürlichen Böden für Laborversuche unterscheidet man zwischen *gestörten* und *ungestörten* Proben. Die Bezeichnung bezieht sich auf das natürliche Korngerüst. Das Nehmen einer ungestörten Probe im Feld ist nicht trivial; am besten nimmt man den Proberahmen des Laborgerätes, für das man die Probe braucht, mit ins Feld und sticht damit die Probe vorsichtig aus dem Kornverband aus. Ist dieser Rahmen nicht verfügbar, muss die im Feld ausgestochene Probe grösser sein, als für den Versuch benötigt und sehr sorgfältig transportiert werden. Im Labor wird dann aus der Probe die benötigte Form ausgestochen.

Zur Bestimmung der Scherparameter gibt es verschiedene Laborversuche. Sie unterscheiden sich in Scherweg, Scherfläche, Scherebene und Spannungszuständen. Die wichtigsten drei Versuche sind:

- Direkt- oder Rahmenscherversuch
- triaxialer Scherversuch
- Ringscherversuch

Beim Direktscherversuch ist die Scherebene vorgegeben. Die Probe ist zylindrisch oder rechteckig und wird horizontal abgeschert. Es können gestörte oder ungestörte Proben eingebaut werden. Die Scherfläche ist während der Versuchsdurchführung nicht konstant.

Der triaxiale Scherversuch kann die natürlichen Spannungszustände an der zylindrischen Probe am besten nachbilden. Die Scherebene stellt sich in der Zone kleinster Festigkeit ein; sie ist nicht vorgegeben. Die Proben können gestört oder ungestört sein.

Bei den Vorbereitungen für den Ringscherversuch müssen die Proben praktisch immer gestört verwendet werden. Die Scherebene ist beim Ringscherversuch ungefähr vorgegeben. Der Vorteil des Ringscherversuchs liegt darin, dass wegen einer kreisförmigen Abscherung theoretisch unendliche Scherwege simuliert werden können und die Scherfläche immer gleich gross bleibt (nach LANG ET AL., 2002). Für die vorliegende Arbeit wurden Ringscherversuche durchgeführt, weil das Interesse vor allem auf der Restscherfestigkeit liegt.

Das Verfahren bei Ringscherversuchen wird im folgenden Kapitel erläutert:

6.3.1.1. Ringscherversuche

Generell ist zu sagen, dass Ringscherversuche ein zeitaufwendiges Verfahren darstellen. Für eine Probe müssen drei Teilversuche durchgeführt werden, wobei ein Teilversuch rund vier Tage Zeit braucht. Weil am Geozentrum in Burgdorf nur ein begrenztes Zeitfenster für das Ringschergerät zur Verfügung stand, musste eine Auswahl von drei Proben getroffen werden.

Die Ringscherversuche wurden nicht direkt nach einer Norm durchgeführt; es wurde ein Handbuch verwendet, die speziell für den Ringscherapparat am Geozentrum geschrieben wurde. Im Rahmen der Laborarbeiten für die vorliegende Arbeit konnte jenes Handbuch weiterentwickelt werden. Die Grundlagen des Handbuchs beruhen jedoch auf der DIN 18137-3.

Als Probenmaterial dient für diese Arbeit die Kornfraktion < 0.5 mm (aus der Auffangschale der Trockensiebung). Einige Tage bis Wochen bevor die Probe ins Gerät eingebaut wird, versetzt man das Probematerial mit entmineralisiertem Wasser und spachtelt die Masse mehrmals intensiv durch. Die Pro-

be wird dann auf ca. 20 mm Dicke ausgestrichen und mit einem Ausstechring ausgestochen. Der Einbau in den sogenannten Scherkäfig ist ziemlich aufwendig; das Verfahren zielt darauf ab, die Probe möglichst exakt zu bemessen, damit die Versuche reproduzierbar sind. Das Endprodukt ist eine ringförmige Probe zwischen zwei Filterplatten, die mit Zähnen in die Probe greifen.

Der Scherkäfig wird in das Gerät eingesetzt und der Schertopf mit entmineralisiertem Wasser geflutet. Dies soll ein Austrocknen während der Versuchsphase verhindern. In einem ersten Schritt wird die Probe konsolidiert, d. h. es wird eine Normalspannung σ_1 angelegt und solange gewartet, bis sich die Probe nicht mehr weiter setzt. Dazu wird die vertikale Ausdehnung der Probe gemessen, wird die Ausdehnung kleiner, spricht man von Setzung. Die Konsolidierung ist für diese Arbeit so definiert worden, dass die Setzung während zwei Minuten 0.02 mm nicht überschreitet. Die Normalspannung wird für die einzelnen Teilversuche jeweils geändert und sollte etwa den Spannungsverhältnissen im Boden angepasst werden. Für die Proben aus der Val Schais wurden Spannungen zwischen 40 kN/m^2 und 250 kN/m^2 angelegt, was bei einem Raumbgewicht von 20 kN/m^3 Tiefen zwischen ca. 2 m und 12.5 m entspricht. Die weiteren Spannungen σ_2 und σ_3 sind bei diesem Versuch gleich Null.

Nachdem die Probe konsolidiert ist, kann mit dem Abscheren begonnen werden. Der Abschervorgang ist in Abbildung 6.7. an einer ausgebauten Probe graphisch verdeutlicht.

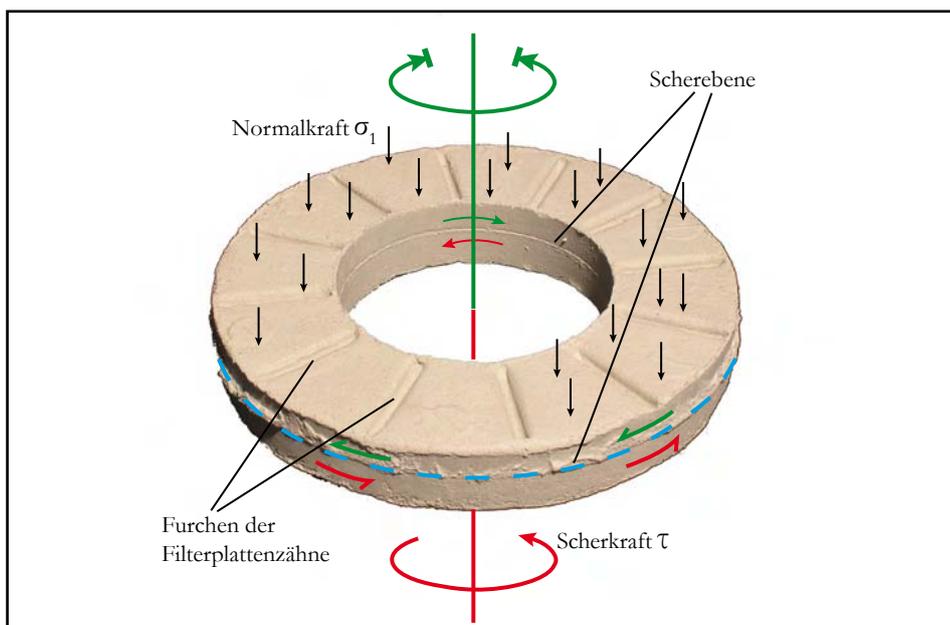


Abbildung 6.7.
Schersinn an einer kreisringförmigen Probe. Aussendurchmesser der Probe: 9.4 cm.

Während die obere Filterplatte an einem Anschlag fixiert wird, wird die untere Filterplatte gegen die obere verdreht. In die Probe greifende Zähne an den Filterplatten garantieren, dass die aufgebrachte Kraft direkt auf die Pro-

ben übertragen wird. Die Vorschubgeschwindigkeit wird konstant gehalten; für die Proben aus der Val Schais wurde sie auf 0.01 mm/min gesetzt. Eine solch langsame Schergeschwindigkeit stellt sicher, dass sich keine Porenwasserüberdrücke aufbauen und die Probe ständig drainiert ist (PRINZ UND STRAUSS, 2006).

Gemessen wird während dieses Vorgangs die Normalkraft (sie wird üblicherweise konstant auf dem Niveau der Konsolidierung gehalten), die aufgebrachte Scherkraft und der Scherweg. Übersteigt die Scherkraft ein gewisses Mass, bricht die Probe; der Scherwiderstand τ_f ist damit überschritten. Der Vorteil des Ringscherversuchs kommt hier zum Tragen: der Versuch ist nicht beim Bruch der Probe beendet, sondern es kann auf Grund der kreisförmigen Scherbewegung weiter gesichert werden. Der Scherwiderstand klingt nach dem Bruch ab und pendelt sich auf konstantem Niveau der Restscherfestigkeit τ_r ein.

Die Auswertung der Versuche erfolgt am Computer: nach der Methode der linearen Regression werden aus den drei Teilversuchen die Bruch- und Restscherfestigkeit berechnet.

Vor dem Einbau und nach dem Ausbau der Probe aus dem Gerät wird zusätzlich die Masse der Probe und deren Wassergehalt bestimmt. Weil das Volumen der Probe bekannt ist, kann auch die Ein- und Ausbaudichte berechnet werden.

6.3.2. Ergebnisse

Die Protokolle der Ringscherversuche sind im Anhang 11.4. abgelegt. Die resultierenden Scherfestigkeiten sehen wie folgt aus:

Probe Nr.	Bruchparameter		Restscherfestigkeit	
	φ'	c' [kN/m ²]	φ'	c' [kN/m ²]
5	31.75°	15.55	27.96°	7.62
7	30.19°	20.26	28.36°	19.43
8	27.37°	11.07	24.53°	14.85

Tabelle 6.3. An Proben aus der Val Schais bestimmte Scherfestigkeiten

Bei allen Proben ist schön zu erkennen, dass die Festigkeit nach dem Bruch abnimmt und der Winkel der inneren Reibung deutlich unter demjenigen beim Bruch liegt. Den niedrigsten φ' -Winkel hat die Probe 8, welche bereits im Feld durch ihr schmierig-seifiges Gefühl beim Anfassen aufgefallen ist. Der Feldeindruck konnte also auch labortechnisch nachvollzogen werden und hat zumindest relative Aussagekraft. Der niedrige Reibungswinkel wird auf

den hohen Sericitanteil im Ausgangsgestein zurückgeführt.

Es ist bekannt, dass die Lockergesteine in der Val Schais in Bewegung sind (Kapitel 9). Folglich muss der Bruch bereits erfolgt sein. Die Werte der Restscherfestigkeit sind also von grosser Bedeutung. Die Kohäsion ist bei der Restscherfestigkeit der Proben 7 und 8 noch relativ hoch. Sie wird jedoch schnell gegen 0 sinken, wenn der Wassergehalt zunimmt.

Zusätzlich gibt es den erwähnten Effekt der scheinbaren Kohäsion, der eine Folge des unter Unterdruck stehenden Kapillarwassers oder der relativen Austrocknung ist (PRINZ UND STRAUSS, 2006). Sobald sich ein Druckgleichgewicht einstellt, verschwindet die scheinbare Kohäsion. Die Vorschubgeschwindigkeit wurde für diese Versuche zwar niedrig gewählt, um solchen Ungleichgewichten vorzubeugen; ganz auszuschliessen ist die scheinbare Kohäsion jedoch nicht. Besonders Gips ist bekannt dafür, bei niedrigem Wassergehalt scheinbare Kohäsion zu entwickeln.

Die Kohäsion muss aufgrund der hydrologischen Situation in der Val Schais (viele Wasseraustritte, die das Lockergestein innert kurzer Zeit komplett durchtränken können) für Stabilitätsberechnungen als inexistent betrachtet werden.

7. Kartierung

Ziel der Kartierung war, die Geologie rund um die Val Schais zu erfassen. Es handelt sich um eine Vollkartierung, d. h. es wurden sowohl die verschiedenen Lithologien der Felsunterlage unterschieden, als auch quartäre Oberflächenprozesse und – formationen erfasst. Ein besonderes Augenmerk wurde auf die Hydrogeologie geworfen; eine möglichst vollständige Quellenkartierung inklusive episodischer und perennierender (ganzjähriger) Wasserläufe wurde angestrebt.

Die Feldaufnahmen fanden im Sommer 2007 statt. Zur Kartierung wurden Kopien im Massstab 1 : 5 000 des Übersichtsplans des Kantons Graubünden verwendet (Originalmassstab 1 : 10 000).

7.1. Hilfsmittel im Feld

Als Hilfsmittel kamen ein geologischer Gefügekompass, ein kleines GPS-Gerät und ein barometrischer Höhenmesser zum Einsatz.

Streichen und Fallen der Gesteinsschieferung sind in grossen Teilen des Kartiergebietes nicht sinnvoll zu bestimmen. Bei den meisten Aufschlüssen handelt es sich um Felskörper, die offensichtlich zerbrochen und verkippt sind. An solchen Stellen lassen sich zwar Messungen durchführen; sie haben aber kaum Aussagekraft. Aus diesem Grund sind die Gefügemessungen mehrheitlich auf die relativ jungen Aufschlüsse an der Umbrailpassstrasse beschränkt.

Das GPS-Gerät kam dort zum Einsatz, wo die genaue Positionsbestimmung nur anhand der Isohypsen und mit Höhenmesser erschwert war, beispielsweise in der Ebene von «Chalderas». Das Übertragen der gemessenen Position auf die Karte erfolgte mittels Geo-Dreieck; bewährt hat sich dabei der Aufdruck eines 250 m-Rasters auf die Kartenkopien.

Konnte das GPS-Gerät Korrektursignale von EGNOS-Satelliten (EGNOS: European Geostationary Navigation Overlay Service) empfangen, wurden gemäss Geräteangaben bis zu 2 m Genauigkeit in der Positionsbestimmung erreicht. Stichprobenartige Vergleiche zwischen konventioneller (Karte und Höhenmesser) und satellitengestützter Positionsbestimmung zeigten etwa die gleiche Genauigkeit von 5 bis 10 m für beide Methoden.

7.2. Luftbildauswertung

Vor der Feldkartierung wurden Infrarotluftbilder betrachtet. Diese Bilder wurden 2006 im Rahmen einer Zusammenarbeit von Schweizerischem Nationalpark und dem Italienischen Nationalpark «Stilfser Joch» aufgenommen. Es standen drei Bilder zur Verfügung, wovon jeweils zwei zusammen stereoskopisch betrachtet wurden. Der Vorteil der stereoskopischen Luftbildauswertung liegt darin, dass man das Gelände senkrecht von oben sehr plastisch betrachten kann. Dies war hilfreich, um auffällige Lineamente im Gelände zu erkennen, die nachträglich im Gelände nochmals betrachtet wurden, wo sie ohne die Luftbildauswertung nicht so gut zu erkennen gewesen wären.

Die geologische Auswertung der eigentlich zur Vegetationsanalyse gedachten Infrarotluftbilder stiess jedoch schnell an ihre Grenzen, weil in blanken Felsflächen der Kontrast fehlt. Nur wo die Oberfläche bewachsen ist, konnte das Gelände betrachtet werden; die Lockergesteine der Val Schais sind in den Fotos als weisse Fläche dargestellt. Auch digitale Bildoptimierung konnte diesen Mangel kaum beseitigen.

Für den Einsatz in der Val Schais erwiesen sich die Infrarotluftbilder insgesamt als geringe Hilfe. Für Oberflächenanalysen grösserer Gebiete ist der Einsatz von Luftbildern aber sicherlich sinnvoll. Wenn vorhanden, sollten aber Echtfarbenaufnahmen bevorzugt werden.

7.3. Digitalisierung der Karte

Die Digitalisierung der Karte erfolgte mittels der GIS-Anwendung «Arc-Map» von ESRI. Um keinen Präzisionsverlust beim Übertragen der von Hand gezeichneten Karten in den Computer zu provozieren, wurde folgendes Verfahren gewählt:

Die von Hand gezeichneten Karten wurden einzeln eingescannt und georeferenziert, d. h. den Bildpunkten wurden geographische Koordinaten zugeordnet. Anschliessend konnten die auf den Karten eingezeichneten Flächen und Linien relativ einfach mit der Maus abgepaust werden. Zum Schluss sind die Handzeichnungen ausgeblendet und die digitale Karte des Übersichtsplanes 1:10000 über die abgepausten Flächen und Linien gelegt worden.

Die Positionen der Probenahmestellen sind im Feld mit GPS bestimmt und direkt als Punkte mit gegebenen Koordinaten in die Karte eingefügt worden.

8. Naturgefahren in der Val Schais

In der Val Schais laufen verschiedene geologische Prozesse ab, die mit den Begriffen «Massenbewegungen» oder «Naturgefahren» zusammengefasst werden können. Die wichtigsten Prozesse sind Steinschlag, Rutschungen, bzw. Hangkriechen und Murgänge. Auf diese Prozesse wird im folgenden Kapitel, topographisch von oben nach unten geordnet, eingegangen.

Das Schwergewicht wird dabei auf die Rutsch- und Kriechprozesse gelegt, weil sie den grössten Teil der Massenumsätze ausmachen. Zudem sind die Hangrutschungen Thema langjähriger Beobachtungsreihen (durchgeführt durch das Ingenieurbüro Darnuzer, Davos) und wurden bereits 1996 einmal geologisch-geotechnisch durch das Ingenieurbüro Gysi, Rigendinger & Partner AG, Chur beurteilt. 1997 wurden von CAVIGILLI (1997) geoelektrische Messungen im Rutschgebiet durchgeführt, um die Tiefe der Lockergesteinsmassen abzuschätzen. Eine geologische oder geotechnische Auswertung dieser Ergebnisse hat bisher nicht stattgefunden.

8.1. Steinschlag und Felsstürze

Im Bereich direkt unterhalb der Gipswände, also des Anrissrandes der Val Schais tritt Steinschlag auf (Abbildung 8.2.). Die Steine und Blöcke weisen Durchmesser von wenigen Dezimetern auf. Grössere Blöcke im Ablagebereich zeugen aber davon, dass gelegentlich auch Felsstürze auftreten. Felsstürze sind definiert durch Einzelblöcke $> 1 \text{ m}^3$ oder Sturzmassen $> 5 \text{ m}^3$ (PRINZ UND STRAUSS, 2006).

Die Steine nehmen auf ihrer Sturzbahn verschiedene Bewegungsmuster an: nach dem *Fallen* folgt meist ein *Springen* und bevor die Steine zum Stillstand kommen *rollen* sie noch einige Zehnermeter. Durch die Kombination dieser Bewegungen reicht der Sturzprozess relativ weit in die Val Schais hinein. Manchmal zerfällt ein Stein aber auch schon beim ersten Aufschlagen in kleinere Stücke, die nach kurzer Distanz still stehen. Einen eindämmenden Effekt hat weicher Untergrund (z. B. Boden mit hohem Wassergehalt), der das Springen unterbinden kann.

Verschiedene Faktoren sind für den Steinschlag verantwortlich. Eine wichtige Grundvoraussetzung ist die Zerrüttung des Gesteins durch tektonische Vorgänge. Dazu kommt, dass der Gips an sich weich und damit wenig standfest ist. Frost-Tau-Zyklen wirken auf zwei Weisen: einerseits lockert die temperaturbedingte Volumenänderung das Gestein auf, andererseits dehnt sich

Kluftwasser beim Gefrieren aus und hat so eine regelrechte Sprengwirkung auf den Gesteinsverband. Zudem ist die Basis der Felswände nicht stabil, sondern gleitet ab (vgl. nächstes Unterkapitel), dies bringt die Wände aus dem Gleichgewicht. Eine deutliche Beruhigung der Sturzprozesse kann bei länger anhaltendem Frost festgestellt werden; gefrorenes Kluftwasser hält den Gesteinsverband dann zusammen.



*Abbildung 8.1.
Oberer Anrissrand mit rückschreitender
Erosion. Blick Richtung Westen.*

Die Sturzprozesse sind dafür verantwortlich, dass der Anrissrand immer weiter hangaufwärts schreitet (rückschreitende Erosion). In Abbildung 8.1. ist das Gebiet direkt oberhalb des Anrissrandes zu sehen. Deutlich ist zu erkennen, wie die Vegetationsdecke wegen fehlender geologischer Unterlage abreißt und in die Val Schais abrutscht (Translationsrutschung).

8.2. Rutschung und Hangkriechen

Seit 1994 regelmässig durchgeführte geodätische Vermessungen in der Val Schais zeigen Verschiebungen von Kontrollpunkten (DARNUZER, 2008). Solche Verschiebungen sind eindeutige Hinweise auf Massenbewegungen.

Die Verschiebungsgeschwindigkeiten der Kontrollpunkte lagen Mitte der 90er-Jahre bei durchschnittlich 5 m pro Jahr (GYSI ET AL., 1996), wobei die Streuung gross ist. In den letzten Jahren hat sich die Situation stark beruhigt und die Bewegungsraten belaufen sich, mit wenigen Ausnahmen, auf ca. 20 cm pro Jahr. Abbildung 8.2. zeigt Verschiebungsvektoren einiger Kontrollpunkte zwischen dem 18. Juli 2006 und 25. Mai 2007 (im Anhang ist dieselbe Abbildung Massstäblich abgelegt).

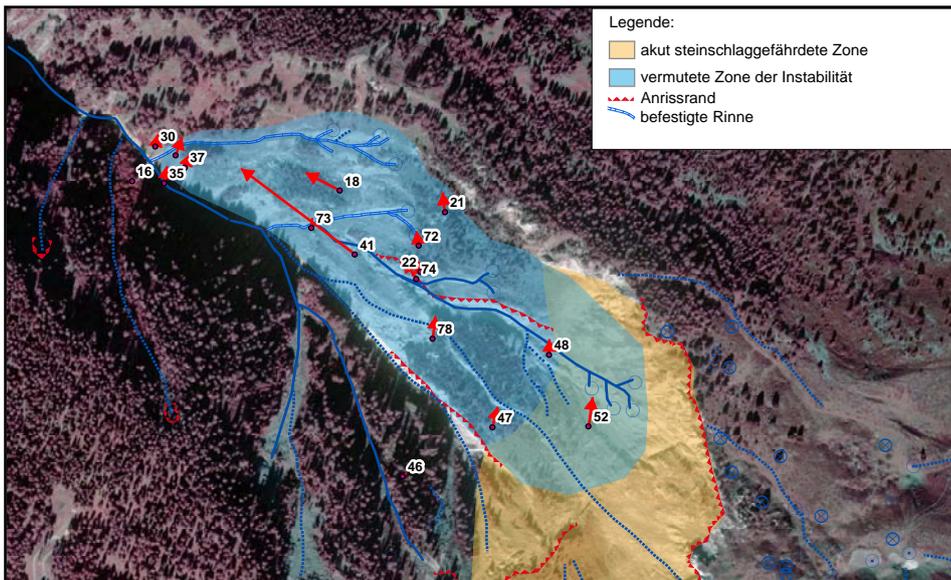


Abbildung 8.2.
Karte der Val Schais mit Prozessen und Verschiebungsvektoren zwischen Juli 2006 und Mai 2007
VERMESSUNG: DARNUZER, DAVOS;
INFRAROTFOTO © 2006 SNP

Die grössten Verschiebungsraten liegen im unteren Bereich der Lockergesteine der Val Schais oberhalb der Bachverbauungen (Höhenlage 1750 bis 2000 m ü. M.).

Die Bewegungen der Kontrollpunkte im oberen Bereich (Punkte 47, 48, 52, 72 und 78) weisen eine grosse horizontale Komponente auf; die Punkte bewegen sich nicht einfach Talabwärts, sondern auch Hangparallel. Betrachtet man die Richtung genauer, erkennt man, dass die Verschiebungsvektoren überwiegend in Richtung von Gebieten mit Quellen zeigen. Dieses Muster wird damit erklärt, dass bei den Quellen mehr Lockergestein abgetragen wird, als in den Bereichen, wo keine Quellen sind. In der Folge fliesst Lockergesteinsmaterial in diese Richtung. Der hier vorherrschende Bewegungstyp wird als *Hangkriechen* bezeichnet. Hangkriechen ist eine Form sehr langsamen Fließens (PRINZ UND STRAUSS, 2006). Im Gegensatz zum nachfolgend beschriebenen Typ «Rutschung» ist beim Hangkriechen keine klar definierte Gleitfläche vorhanden; die Bewegung geschieht ohne erkennbare Brüche durch intensive Scherbewegungen im gesamten instabilen Lockergesteinskörper.

Die Geschwindigkeit und Richtung der Verschiebungen im unteren Bereich ist typisch für den Massebewegungstyp *Rutschung* oder *Gleiten*. Rutschungen sind durch mehr oder weniger tief liegende Gleitflächen charakterisiert, an denen intensive Scherdeformationen stattfinden (PRINZ UND STRAUSS, 2006). Die Gleitflächen als solche sind normalerweise geringmächtig und teilweise nur sogar mikroskopisch zu erkennen (MÜLLER, 1998), es können aber auch mehrere Flächen übereinander liegen. Morphologisch lassen sich Rutschungen an unruhiger Oberfläche, steilem Anrissbereich und konvexer Form im unteren Bereich der Rutschung erkennen (PRINZ UND STRAUSS, 2006).

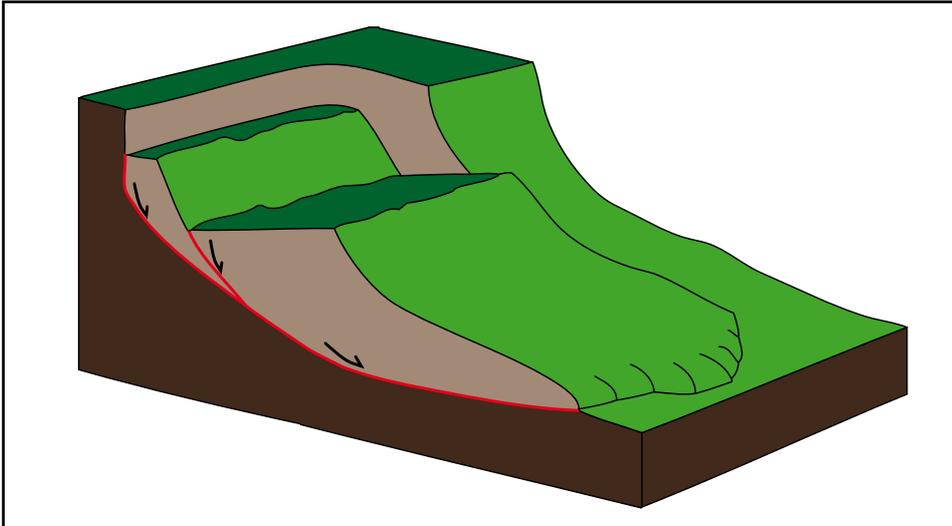


Abbildung 8.3.
schematisches Blockdiagramm einer
Rutschung (rot: aktive Gleitflächen)

Man unterscheidet zwischen oberflächlichen (bis 1.5 m), flach- (bis 2-3 m), mittel- (bis 10-15 m) und tiefgründigen (über 10-15 m) Rutschungen. GYSI ET AL. (1996) gehen in der unteren Val Schais von einer tiefgründigen Rutschung aus.

Die Form der Gleitfläche ist bei flachgründigen Rutschungen eben, bei tiefgründigeren Rutschungen häufig an einen Kreis (Gleitkreis) angenähert (man nennt diesen Rutschungstyp deswegen auch Rotationsrutschung, Abbildung 8.3.). Der Kreis kann aber so grosse Radien annehmen, dass man die Gleitfläche kaum mehr als gekrümmt wahrnimmt, zudem sind geologisch vorgegebene Gleitflächen, z. B. tonige Horizonte, wichtiger als theoretische Gleitkreise (PRINZ UND STRAUSS, 2006).

Im Gegensatz zum November 1995, als GYSI ET AL. die Feldbegehung für ihren Bericht machten, waren im Sommer 2007 die Anrisskanten im Gelände nicht sichtbar. Dies kann als morphologischer Hinweis für die temporäre Beruhigung der letzten Jahre gedeutet werden: kleinere, oberflächliche Bewegungen und Sturzprozesse, haben die Anrisskanten überdeckt.

Aber gerade oberhalb der grossen Betonmauer war 2007 deutlich die Front eines Rutschungslobus' aus Rauhwackelblöcken zu erkennen. Die Oberfläche der gesamten Val Schais oberhalb der Verbauungen ist blockig; Wald konnte sich im bewegten Bereich kaum ausbreiten.

An einigen Orten treten zusätzlich oberflächliche (10 bis 20 cm Tiefe) Fliessprozesse auf: Vorwiegend feinkörniger Boden, der wasserübersättigt ist, weist ein viskoses Bewegungsmuster auf und fliesst talwärts.

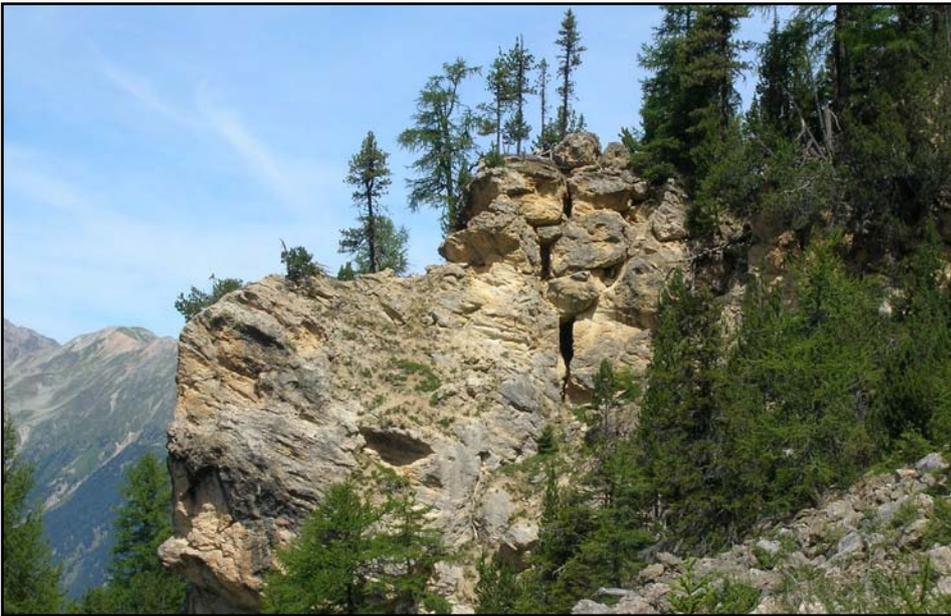


Abbildung 8.4.
Abkippernder Rauhwackelblock im Osten der Val Schais. Der links von der senkrechten Kluft liegende Teil kippt infolge der instabilen Basis talwärts.

Weitere Indizien für instabilen Untergrund sind abkippende Rauhwackelblöcke im nordöstlichen Bereich der Anrisskante (Abbildung 8.4.).

8.2.1. Die Hangstabilität beeinflussende Parameter

Verschiedene Aspekte sind für die Erfassung der Hangstabilität zu berücksichtigen; Hangprozesse sind Ausdruck des Zusammenspiels verschiedener Faktoren in einem System. Der folgend benutzte Begriff *Disposition* beschreibt den zeitlichen Änderungen unterworfenen Systemzustand.

Zwei Arten von Dispositionen sind zu unterscheiden:

- die Grunddisposition umfasst mehr oder weniger invariable Gegebenheiten wie die Geologie, Schuttproduktion, Materialeigenschaften, Topographie sowie die hydrologische Gesamtsituation (stabile Fließwege etc.)
- die variable Disposition beschreibt kurzfristig (Tage bis Monate) variierende Zustandsgrößen wie Niederschläge, Abflussmenge, Temperatur, Hangwasserspiegel, Porenwasserdruck und von diesen Parametern abhängige Materialeigenschaften (z. B. Kohäsion)

Zusätzlich zu diesen beiden Dispositionen gibt es auslösende Faktoren (z. B. Extremniederschläge, evtl. mit Hangfussunterschneidung als Folge), die bei einzelnen Zustandsgrößen einen Schwellenwert überschreiten und damit einen Prozess auslösen (nach BOLLINGER ET AL. 2000).

Für die Rutschung in der Val Schais sind die auslösenden Faktoren von

untergeordneter Bedeutung, da die Disposition offensichtlich permanent Schwellenwerte übersteigt und so die kontinuierliche Rutschung verursacht.

8.2.1.1. Diskussion der Disposition in der Val Schais

Grunddisposition

Grundvoraussetzung für die Lockergesteinsrutschung in der Val Schais ist das Vorhandensein grosser Lockergesteinsmassen und die kontinuierliche Schuttproduktion. Eine wichtige Rolle spielt die *Tektonik*; der Fels verwittert und desintegriert/zerfällt wegen der intensiven internen Zerschörung leicht. Die Nähe zur Gallo-Linie ist dabei nicht unwesentlich. Die zerfallenden Gesteine sind zwischen zwei Elementen dieser tektonischen Trennfläche eingquetscht. Die Gesteinsart spielt ebenfalls eine Rolle: der Gips hat spezielle geotechnische Eigenschaften. RICK (1988) hat sich intensiv mit dem Phänomen von Instabilität in der Umgebung von *Gips*vorkommen beschäftigt. Er sieht eine enge Verknüpfung von Abnahme der Scherfestigkeit mit zunehmendem Verwitterungsgrad.

Die *Scherfestigkeit* des Bodens ist an mehreren Stellen bestimmt worden (Kapitel 6.3.). Der Winkel der inneren Reibung liegt bei Bruchbedingungen zwischen 31.8° und 27.4° ; noch 28° bis 24.5° sind es bei der Restscherfestigkeit. Für die Kohäsion wurden relativ hohe Werte bestimmt, wie jedoch bereits bemerkt wurde, sinkt sie im wassergesättigten Boden rasch gegen 0.

Die *Topographie* wirkt sich mit rund 30° Hangsteilheit ungünstig auf die Stabilität des Lockergesteins mit niedrigerem Scherwinkel aus.

Auslösender Faktor für den grossen Kollaps könnte der *Karst* sein. Die weiträumigen unterirdischen «Eingriffe» haben den Hang erheblich geschwächt. PRINZ UND STRAUSS (2006) nennen diese Möglichkeit ausdrücklich als Grund für Instabilitäten. Die Verkarstung wirkt sich nicht nur wegen der entstehenden Hohlräume im Gebirge auf die Stabilität aus. Doch die wegen des Karstsystems spezielle *hydrologische Situation* ist das Einzugsgebiet der Val Schais um ein mehrfaches grösser, als die eigentliche Val Schais. Wie gross es ist, und ob die gesamte Entwässerung des Karstsystems durch die Val Schais erfolgt, ist jedoch nicht restlos geklärt. Es ist auch unklar, ob die Quellen lagestabil sind und somit zur Grunddisposition gehören. Die Hauptrinnen scheinen zurzeit konstante Lagen zu haben. Einen interessanten Punkt erwähnen PRINZ UND STRAUSS (2006) bei der Diskussion der Wirkung von Wasser: «Bei manchen Rutschungen deuten bestimmte Anzeichen auch darauf hin, dass in chlorid- bzw.

gipshaltigen Sedimenten der *Chemismus des Porenwassers* rutschungsfördernd wirkt. Begründet wird dies mit Änderungen der Kationenbelegung quellfähiger Tonminerale und daraus resultierender Verringerung der Scherfestigkeit. Zwar wurden in den untersuchten Bodenproben keine hohen Tonanteile festgestellt, und auch in den Gesteinsdünnschliffen wurden keine Tonminerale gefunden; es ist jedoch durchaus möglich, dass der Verruccano aufgrund seiner sedimentären Herkunft mit Ton angereicherte Inhomogenitäten aufweist und diese in der Val Schais Einfluss auf die Hangstabilität haben.

Variable Disposition

Im Folgenden Unterkapitel wird gezeigt, dass der *Hangwasserspiegel* eine entscheidende Rolle auf die Stabilität eines Hanges hat. Die vielerorts austretenden Quellen deuten einen hohen Hangwasserspiegel an. Er ist abhängig vom Niederschlag und von der Durchlässigkeit des Bodens. Die *Durchlässigkeit* kann von *Frost* drastisch gesenkt werden, wenn die Oberfläche zufriert. Funktioniert die Entwässerung schlecht, können sich unter Umständen hohe *hydrostatische Drücke* aufbauen, welche sich plötzlich in Form massiver Rutschungsraten entladen können. Dasselbe Problem ergibt sich nach langen Trockenperioden: ist der Boden tiefgründig ausgetrocknet, ist die Durchlässigkeit vermindert. Zudem können sich Trockenrisse bilden (RICK, 1988), dringt dann z. B. bei einem Gewitter viel Wasser in die Risse ein, können sich wieder hydrostatische Drücke mit den oben genannten Folgen aufbauen.

Bei der Scherfestigkeit ist die oben erwähnte *Kohäsion* variablen Parametern unterworfen.

8.2.2. Berechnung der Hangstabilität

Verschiedene Verfahren wurden entwickelt, um die Stabilität eines Hanges mathematisch auszudrücken (Fellenius, Bishop, Janbu u. a.). Die meisten üblichen Verfahren ähneln sich im Grunde: man reduziert die natürlichen Verhältnisse auf ein im Vertikalschnitt ebenes Modell oder ein 1 m breites, der Falllinie folgendes Hangprofil. In das Modell fließen die Hangneigung, Materialeigenschaften und die Grundwasserverhältnisse ein. Ist der Boden oder die Hangneigung nicht homogen, lässt sich das Modell in Abschnitte unterteilen (Lamellen-Methoden).

Das Ergebnis der Berechnungen, die Standsicherheit F , wird ausgedrückt als Verhältnis der rückhaltenden Kräfte (Scherfestigkeit τ_r) zu den treibenden Kräften (Schubspannung τ):

$$F = \frac{\tau_f}{\tau}$$

Ist F grösser als 1, so ist der Hang stabil, ist F kleiner als 1, so muss mit Bewegungen gerechnet werden (nach BUCHER, 1996).

Eine einfache und übersichtliche Methode ist diejenige, die BUCHER (1996) und BÖLL (1997) erläutern. Sie reduziert die natürlichen Verhältnisse auf ein Modell mit unendlich langer Böschung, kohäsionslosem Material und mit hangparalleler Sickerströmung. Abbildung 8.5. erläutert das Modell graphisch:

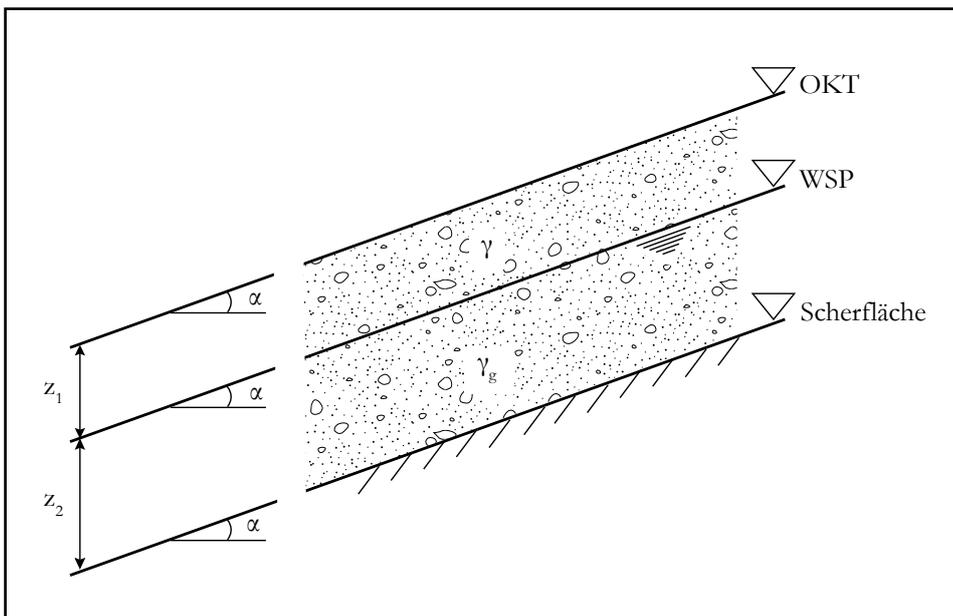


Abbildung 8.5.
Modell einer unendlich langen Böschung
MODIFIZIERT NACH BUCHER (1996)

Die einzelnen Abkürzungen stehen für folgende Werte:

z_1	Tiefe des ungesättigten Bereichs		
z_2	Tiefe des wassergesättigten Bereichs		
α	Hangneigung	γ	Raumgewicht des Bodens
OKT	Oberkante Terrain	γ_g	Raumgewicht des gesättigten Bodens
WSP	Hangwasserspiegel		

Für die Standsicherheit ergibt sich folgende Gleichung (auf deren Herleitung hier verzichtet wird; sie kann detailliert in BÖLL (1997) nachvollzogen werden):

$$F = \frac{(z_1 \gamma + z_2 \gamma') \tan \varphi'}{(z_1 \gamma + z_2 \gamma_g) \tan \alpha}$$

Der im Zähler vorkommende Wert γ' steht für das effektive Raumgewicht des gesättigten Bodens unter Berücksichtigung des Auftriebs:

$$\gamma' = \gamma_g - \gamma_w$$

mit γ_w = Raumbgewicht des Wassers.

Mit dieser Methode lässt sich leicht nachvollziehen, welche Parameter zur Instabilität eines Hanges beitragen.

Die Geometrie des verwendeten Modells basiert auf den geoelektrischen Untersuchungen in der Val Schais von CAVIGILLI (1997). Er kommt zu Lockergesteinsmächtigkeiten von ca. 10 m bis 25 m, lokal hat er bis zu 36 m bis zur Felsoberfläche gemessen. Aufgrund der Länge des Gleithorizontes, ist der Radius eines möglichen Gleitkreises so gross, dass man im vereinfachenden Modell eine Gleitebene annehmen kann.

Der Hangwasserspiegel ist nicht einheitlich und wird deshalb im Rechenbeispiel als Variabel eingeführt.

Die Raumbgewichte sind als typische Werte der Norm SN 670 010b (Bodenkennziffern) entnommen. Der Winkel der inneren Reibung ist Resultat der Laborversuche; es wird der höchste und der tiefste ermittelte Wert für die Restscherfestigkeit verwendet. Die durch die Modellrechnung ermittelten Sicherheitsfaktoren grenzen also ungefähr die wahren Werte im Rutschgebiet der Val Schais ein. Folgende Parameter bestimmen das Modell:

z_1 : 0 m bis 25 m	γ' : 12.85 kN/m ³
z_2 : 25 m bis 0 m	α : 25° und 30°
γ : 22 kN/m ³	φ' : 28.4° und 24.5°
γ_g : 22.85 kN/m ³	

Das Ergebnis der Berechnung ist in Abbildung 8.6. graphisch zusammengefasst:

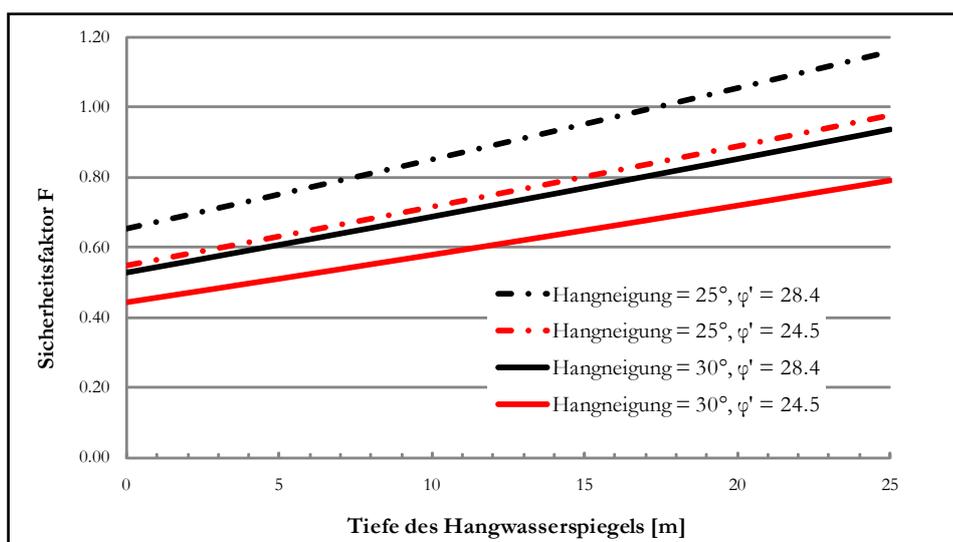


Abbildung 8.6.
Sicherheitsfaktoren in Abhängigkeit von
Hangwasserspiegel und Hangneigung

Die Geraden zeigen, dass bei der gegebenen Disposition mit einer Hangneigung von 30° keine Stabilität (Sicherheitsfaktor F immer < 1) erreicht wird. Nur bei einer flacheren Hangneigung von 25°, hohem Reibungswinkel von

28.4° und tief liegendem Hangwasserspiegel würden in den gerechneten Beispielen stabile Verhältnisse erreicht. Dieser Umstand ist unabhängig von der Tiefe der Gleitschicht; das Verhältnis von z_1 zu z_2 ist entscheidend.

Mit diesem Beispiel kann also gezeigt werden, dass die Stabilität stark von der Höhe des Hangwasserspiegels und vom Winkel der inneren Reibung abhängt. Dies zeigt sich auch im Umstand, dass in Bereichen, wo CAVIGILLI (1997) hohe Hangwasserspiegel in seine geoelektrischen Profile interpretiert hat, in den neunziger Jahren die grössten Rutschungsbeträge auftraten.

Der Autor weist darauf hin, dass das obige Beispiel keinen Standsicherheitsnachweis nach SN 505 267 darstellt. Es wurde ein stark vereinfachtes Modell benutzt, das auf alten Untersuchungen basiert und die von der Norm geforderten Beiwerte wurden nicht in die Berechnung einbezogen. Das Beispiel dient lediglich dazu, den Einfluss einzelner Parameter auf die Stabilität zu aufzuzeigen.

8.2.3. Hangbewegungen ausserhalb der Val Schais

Ausserhalb des bekannten Rutschgebiets der Val Schais wurden während der Kartierung weitere Anzeichen für abgleitende Hänge entdeckt. Es handelt sich vor allem um die sogenannte Doppelgratbildung, die in Abbildung 8.7. dargestellt ist.

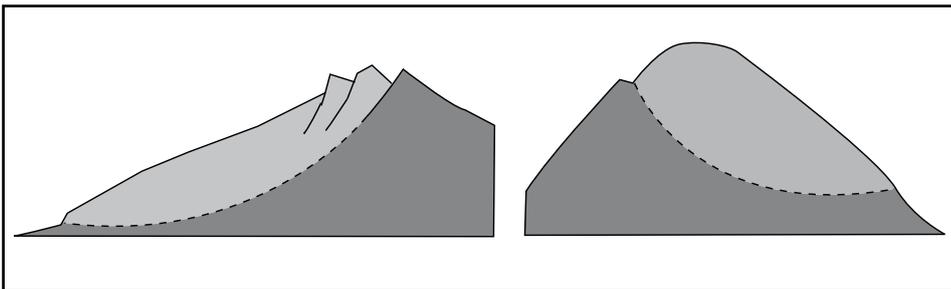


Abbildung 8.7.
Doppelgratbildung (links) und Gratbildung am Hang infolge tief reichender Hangbewegungen
MODIFIZIERT NACH PRINZ UND STRAUSS, 2006

Dieses Phänomen wurde beispielsweise oberhalb der Val Schais bei der Höhenkote P. 2428 beobachtet. Unterhalb dieses Punktes, wo der Wanderweg von Sassa Marscha her nach NE umbiegt, kommen gleich mehrfach hangparallel liegende lange Eintiefungen vor. Diese Furchen können als mehrfache Anrisse interpretiert werden. Fasst man die Beobachtungen zusammen, kommt man zum Schluss, dass möglicherweise grosse Teile dieses West-Hanges in Bewegung sind. Am Spi da Minschuns, am Grat zwischen Piz Chalderas und Piz Minschuns (ausserhalb des kartierten Gebietes) kommt auf der Südwest-Seite ebenfalls Doppelgratbildung vor.

8.3. Murgänge

Murgänge (Muren, Schuttströme, Rufen) gehören zu den schnellsten Massenbewegungen. Sie sind normalerweise 3 bis 12 m/s schnell, können aber in engen Rinnen Geschwindigkeiten von über 30 m/s erreichen (HUTCHINSON, 1988). Sie sind charakterisiert durch grosse Wassergehalte (Wasser : Feststoffe = 1:1) (PRINZ UND STRAUSS, 2006). Die Sedimentfracht ist unsortiert und häufig werden mehrere Meter grosse Blöcke mitgeführt. Murgänge treten meist Stossweise im Abstand von wenigen Minuten auf, wobei jeder Stoss durch eine klare Front mit grossen Blöcken definiert ist. Sie entstehen häufig aus Hangrutschungen heraus (IVERSON ET AL., 1997). Eine weitere Möglichkeit für die Auslösung von Murgängen sind sogenannte Hangexplosionen: nach niederschlagsarmen Perioden füllen sich tiefgründige Trockenrisse bei einem starken Niederschlagsereignis mit Wasser und der hohe hydrostatische Druck führt zum Bruch im Hang. Rutscht das losgelöste Material in eine wasserführende Rinne, kann ein Murgang entstehen.

Murgänge verlangsamen ihre Geschwindigkeit, wenn sie enge Rinnen verlassen und sich auf Schuttkegeln vorhergehender Ereignisse ausbreiten (HUTCHINSON, 1988).

IVERSON ET AL. (1997) setzen sich in ihrer Publikation damit auseinander, unter welchen Umständen sich Murgänge entwickeln und weshalb Murgänge so grosse Geschwindigkeiten und weite Strecken zurücklegen können. Sie kommen zur Erkenntnis, dass Murgänge sich vor allem dann entwickeln können, wenn in Hangrutschungen die gesamte Rutschmasse wassergesättigt ist.

Die entscheidende Grösse bei der Mobilisierung von Murgängen ist der Porenwasserdruck. Er kann über den normalen hydrostatischen Druck ansteigen, wenn die einzelnen Körner sich durch das Hangabwärtsfliessen in ständiger Bewegung zueinander befinden. IVERSON ET AL. (1997) nennen dieses Phänomen granulare Temperatur: «Granular temperature derives its name from the analogy between grain fluctuation kinetic energy and the molecular kinetic energy that determines the thermodynamic temperature of a gas. Just as higher temperatures reduce the density and enhance the fluidity of an ideal gas, higher granular temperatures reduce the concentration of solids and enhance the fluidity of debris flows.». Die granulare Temperatur ermöglicht also dem Murgang aufgrund niedriger Viskosität grosse Strecken zurückzulegen. MCARDELL ET AL. (2007) konnten im Illgraben die Porenwasserdrücke, die den hydrostatischen Druck übersteigen, an einem natürlichen Murgang messen und so die Berechnungen von IVERSON ET AL. (1997) bestätigen.

Die Diskussion um Porenwasserdrücke oder granulare Temperatur mag

etwas zu akademisch erscheinen, mit wenig praktischem Nutzen, doch ergeben sich gerade aus diesen Erkenntnissen erstaunlich einfache Lösungen, wie das Schadenspotential von Murgängen reduziert werden kann. Im nächsten Kapitel werden solche Lösungen vorgestellt.

8.3.1. Murgangaktivität der Val Schais

Die Val Schais weist in den letzten Jahrzehnten eine geringere Murgangaktivität auf - die letzten grossen Ereignisse sind 1919, am 1.10.1926 und am 1.10.1928 verzeichnet worden (WEBER, 1995). Dass man die Gefahr trotzdem nicht aus den Augen verloren hat, zeugt von grossem Verständnis für geologische Prozesse seitens der Bevölkerung und der Behörden in der Val Müstair.

Die Suche nach auslösenden Faktoren für die Murgänge konzentriert sich vor allem auf den Wasserhaushalt, der über die Niederschlagsdaten ermittelt wird. Untersucht wurden die Tagesniederschlagssummen der Jahre 1926 bis 1928 (vgl. Tabellen im Anhang 11.8.).

Die Monate vor den Murgangereignissen waren nicht von ausserordentlichen Niederschlägen geprägt: von Juni bis September 1926 fielen 188 mm Regen, in denselben Monaten 1928 waren es 346 mm. In den Tagen vor dem 1. Oktober der beiden Jahre fiel jedoch kaum Niederschlag, der Murgangereignisse auslösen vermocht hätte.

Schaut man sich die Niederschlagsdaten nach den Ereignissen an, drängt sich die Frage auf, ob die notierten Daten korrekt sind: innerhalb von 34 Tagen fielen zwischen dem 21. Oktober und dem 23. November 1926 335 mm Regen; in nur 16 Tagen sind 1928 zwischen dem 20. Oktober und dem 3. November 233 mm Niederschlag registriert worden. In beiden erwähnten Perioden könnte der Boden in der Val Schais soweit durchfeuchtet worden sein, dass die jeweils niederschlagsreichen Tage gegen Ende der Periode als auslösende Faktoren gewirkt haben könnten.

Erdbeben können als auslösende Faktoren ausgeschlossen werden: eine Suche im Erdbebenkatalog der Schweiz (ECOS02) brachte im fraglichen Zeitraum in der östlichen Schweiz keine Erdbeben zu Tage, die durch ihre Vibration eine Bodenverflüssigung zur Folge gehabt hätten (z. B. IVERSON ET AL., 1997 oder PRINZ UND STRAUSS, 2006).

Es gibt Hinweise darauf, dass die Murgangaktivität der Val Schais in historischer Zeit immer gering war und das vergangene Jahrhundert keine Ausnahme darstellt. Die Oberfläche des Schuttfächers ist sehr blockig, schön sichtbar ist dies im Gebiet Ruschnaidas. Solche Oberflächen entstehen, wenn Mur-

gänge als seltene Einzelereignisse auftreten (mündliche Kommunikation mit SCHLÜCHTER, 2008). Ein weiterer Hinweis ergibt sich aus einer sozialwissenschaftlichen Überlegung: die Siedlung von Sta. Maria wurde auf dem Schuttfächer der Val Schais gegründet; dieser Ort wäre nicht ausgewählt worden, wenn dort oft Murgänge niedergehen würden.

Zudem tiefen sich die Val Schais und die Muranzina in ihre Schuttfächer ein, das heisst sie transportieren mehr Material aus den Schuttfächern ab, als dass die neues liefern.

8.4. Zusammenfassung zu den Massenbewegungen in der Val Schais

Die in der Val Schais ablaufenden Massenbewegungen sind komplex. Verschiedene Bewegungstypen sind an den Massenumlagerungen beteiligt: von Fallen über Rutschen und Kriechen kann bis hin zu Fliessprozessen in der Val Schais alles studiert werden. Gründe für die Instabilitäten sind auf das Zusammenspiel von tektonischen Prozessen, Gesteinstypen und der hydrogeologischen Situation zurückzuführen:

Die Instabilität der Val Schais liegt in einer tektonischen Scherzone (der Gallo-Linie), aus diesem Grund sind die Gesteine mechanisch geschwächt und produzieren viel Lockergestein. Eine zentrale Rolle nimmt der Gips ein. Einerseits hat er spezielle geotechnische Eigenschaften, die Instabilitäten begünstigen. Andererseits beherbergt er aufgrund seiner hohen Löslichkeit ein Karstsystem, das die spezielle hydrogeologische Situation mit grossem Einzugsgebiet, unterirdischem Abfluss und konzentrierter Abgabe von Wasser in den Lockergesteinen zur Folge hat.

Die mineralogische Zusammensetzung des Verruccano (hoher Sericitanteil) führt zu einem niedrigen Reibungswinkel, was sich ebenfalls schlecht auf die Stabilität der Lockergesteinsmasser auswirkt.

9. Hangpflege

In den letzten Jahren hat sich ein Wandel vollzogen vom *Hangverbau* hin zur *Hangpflege*. Dabei handelt es sich nicht nur um eine rein rhetorische Modeerscheinung, sondern auch eine inhaltliche Änderung der Massnahmen zur Stabilisierung von Hängen. Die Massnahmen mögen nicht immer neu erfunden sein, sondern basieren teilweise auf alten Konzepten, die wieder vermehrt angewandt werden. Erfahrungen mit grossen Verbaumassnahmen zeigten, dass es häufig nicht möglich ist, Hangprozesse langfristig zu unterbinden und die grossen Bauten werden funktionslos. Man kehrt zurück zu kleineren Massnahmen, die Prozesse verlangsamen können und die mit geringem Aufwand immer wieder an neue Verhältnisse angepasst werden können.

Sanierungsideen nach dem Konzept der Hangpflege zu entwickeln, war ein frühes Ziel dieser Arbeit. Bei der ersten Feldbegehung wurde aber festgestellt, dass in der Val Schais kurz zuvor, im Jahr 2006, bereits einige hangpflegerische Massnahmen verwirklicht wurden. Auf diese Massnahmen und ihre (erwartete) Wirkung wird in diesem Kapitel eingegangen.

9.1. Tiefenerosion von Bächen

Die steilen Bergbäche, auch Runsengerinne genannt (BÖLL, 2008), wie sie in der Val Schais vorhanden sind, weisen grosses Erosionspotential auf. Dies führt dazu, dass das Bett von solchen Gerinnen im Lockergestein immer weiter eingetieft wird. In der Folge werden die Flanken der Rinne zu steil und rutschen nach (Problem des natürlichen Böschungswinkels, Abbildung 9.1.).

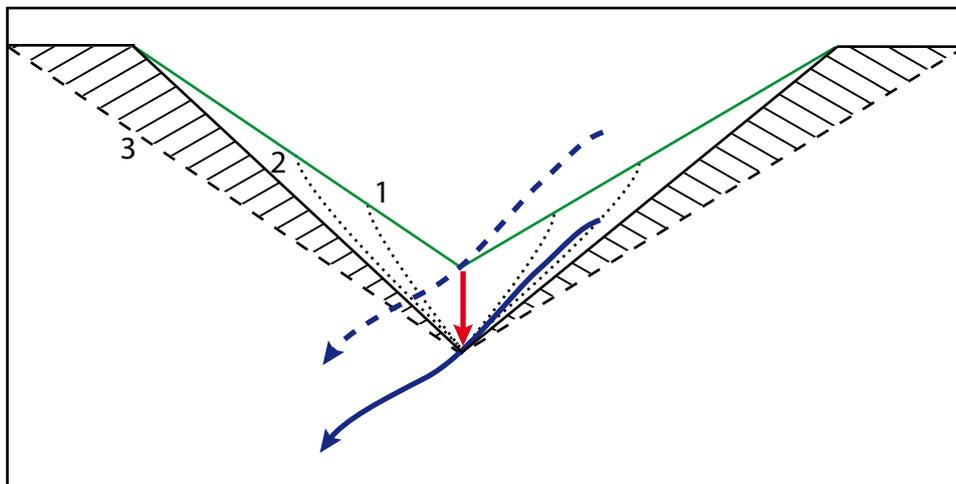


Abbildung 9.1.
Schematische Darstellung der Tiefenerosion im Bachbett. 1: ursprünglicher Hang (grün) mit dem alten Niveau des Baches (gestrichelt). Nachdem der Bach sich eingetieft hat, rutschen die Hänge schrittweise nach und bilden neue, steilere Flanken (2). 3: Der natürliche Böschungswinkel ist flacher, als die neuen Hänge; das schraffierte Bodenpaket ist instabil und wird mit der Zeit ebenfalls nachrutschen.

Um diesen Effekt zu unterbinden, kommen verschiedene Massnahmen zum Einsatz, welche die Tiefenerosion der Gerinne eindämmen sollen. Die in

der Val Schais verwirklichten Konzepte werden hier kurz erklärt.

9.2. Massnahmen gegen Rutschungen



*Abbildung 9.2.
Holzkanal in der Val Schais. Seitlich
davon: neu angepflanzte Erlen*

Das Prinzip der *Holzkanäle* (auch: -kännel) ist einfach ersichtlich: die Sohle der Rinne wird durch ein «abgeflachtes» V-Profil geschützt (Abbildung 9.2.). Das Wasser fließt auf dem Holz, anstatt auf dem Lockergesteinsuntergrund und kann diesen nicht erodieren. Die Fließgeschwindigkeit nimmt aufgrund fehlender Reibung zu, was sich jedoch nicht negativ auswirkt. Im Gegenteil, das Wasser gewinnt dadurch an Transportkapazität und die Rinne ist im Idealfall weitgehend selbstreinigend: rutscht Material von der Flanke her in den Holzkanal, wird es sofort wegtransportiert und die Flanke ist nach diesem Vorgang stabiler, da ihre Neigung abgenommen hat. Im Sommer 2007 wurden die Kanäle mit einer Ausnahme (komplett verschüttete Rinne) immer «sauber», frei von Lockergesteinsmaterial, angetroffen.

Trotzdem gehören die Holzkanäle in die Kategorie der Massnahmen, die mindestens ein- bis zweimal jährlich kontrolliert und gegebenenfalls gewartet werden müssen, sollen sie ihre Funktion über längere Zeit erfüllen (BÖLL, 2008). Übersteigt der Sedimentinhalt eines Kanals die Menge, die das Wasser sofort abtransportieren kann, verlässt das Wasser den Kanal und sucht sich einen neuen Weg. Damit wird die Wirkung des Holzkanals ausser Kraft gesetzt.

Zu bemerken ist, dass die Lokaltopographie um die Kanäle herum deutlich umgeformt wurde und keine übersteilen Flanken neben den Kanälen bestehen. Der Erfolg der Holzkanäle hängt stark von dieser Vorbereitung ab.

Weniger anfällig auf Verschüttung sind sogenannte *Faschinen* oder *Faschinendrainans* (Abbildung 9.3.). Dabei handelt es sich um Bündel aus Baumstämmen und Astmaterial, die in die bestehenden Runsen gelassen werden. Dort sollen sie, wie die Holzkanäle, als Weg für das Wasser dienen. Faschinen können auf zwei Arten eingebaut werden:

Zum einen können vorgängig Bündel mit Draht gebunden werden und danach hintereinander in die Rinne eingebracht werden. Vorteil ist vor allem die einfachere Handhabung beim Transport. Problematisch sind die Verbindungsstellen zwischen zwei Bündeln.

Bei der anderen Methode werden Äste und Baumstämme lose fortlaufend in die Rinne gelegt. Vorteil ist dabei, dass es keine stumpfen Stösse gibt, sofern überlappend gearbeitet wird. Diese Methode ist resistenter gegen Abscheren und trotzdem flexibel. In instabilen Hängen ist die lose Bauweise deshalb vorzuziehen (BERWERT UND SANDRI, 2008), wie es in der Val Schais gemacht wurde.



Abbildung 9.3.
Mehrere Faschinen; am unteren
Bildrand verschüttet

Die Faschinen können zwar verschüttet werden, aber nur ein kleiner Anteil des Bodens dringt wegen des Astwerks in das Innere der Faschine. Die Faschine wirkt damit als Drainageleitung. Sie hat eine höhere Durchlässigkeit als der umgebende Untergrund und so fließt das Wasser durch die Faschine ab. Tiefenerosion findet keine statt, weil das erodierte Material nicht abtransportiert werden kann; die Faschine ist nur für Wasser durchlässig.

Der Einsatz von *lebenden Faschinen* ist in der Val Schais schwierig. Diese Spezialform von Faschinen mit lebenden Weidenästen, die nach dem Einbau in den Boden austreiben und Wurzeln schlagen sollen, ist auf Erdreich angewiesen (BERWERT UND SANDRI, 2008). Eine Humusdecke fehlt im Rutschgebiet

weitgehend; bisher sind keine lebenden Faschinen in der Val Schais eingesetzt worden.

Eine Massnahme, die in der Val Schais verwirklicht wurde, ist die Stabilisierung des Bodens durch *Bepflanzung*. Gut eignen sich dazu Erlen, weil sie schnell wachsen und Pfahlwurzeln bilden. In Abbildung 9.2. sind einige Setzlinge zu sehen. Die Bepflanzung kann aber nur erfolgreich sein, wenn gleichzeitig Massnahmen getroffen werden, die den Boden mindestens solange stabilisieren, bis die Setzlinge kräftige Wurzeln geschlagen haben und ihrerseits stabilisierend wirken. Dies ist in der Val Schais der Fall; die Bepflanzung hat nur dort stattgefunden, wo die Holzkanäle eingesetzt sind und das Gelände lokal umgestaltet wurde (Steilheit der Rinnenflanken reduziert).

Die vorgestellten Massnahmen sind vor allem für oberflächliche Stabilisierungen geeignet; tief liegende Rutschungshorizonte werden mit den beschriebenen Wirkungsweisen nicht stabilisiert.

Die Holzkanäle und Faschinen haben beim sorgfältigen Einbau noch eine zweite sehr wichtige Wirkung auf den Boden. Wenn das Wasser direkt von den Quellen weg in den Entwässerungsleitungen geführt wird (wie in der Val Schais ausgeführt), ist unterhalb der Quellen die Infiltration des Bodens stark gemindert (BÖLL, 2008). Dies wirkt sich senkend auf den Hangwasserspiegel aus, was die Stabilität des Hanges erhöht, wie im vorhergehenden Kapitel gezeigt werden konnte. Somit kann, zumindest ansatzweise, eine tiefgreifende Beruhigung eingeleitet werden, falls die Entwässerung zumindest über einige Jahre gepflegt wird.

Früher übliche Entwässerungssysteme mit unterirdischen *Rohrleitungen* haben sich nicht bewährt. Der Aufwand beim Anlegen eines Rohrsystems ist sehr gross. Später hat man keine Kontrolle mehr über die verlegten Rohre; sie können leicht bei Hangbewegungen beschädigt werden und das gesammelte Wasser tritt irgendwo konzentriert aus und durchnässt den Boden intensiv. Die Rohrleitungen wirken dann sogar kontraproduktiv. In der Val Schais ragen noch einige Rohrleitungen aus dem Boden; sie führen jedoch kein Wasser mehr.

Positiv zu bewerten ist die Wirkung der grossen *Bachsperrren*. Sie flachen das Gelände oberhalb ab, sodass die Hänge eine reduzierte Hangneigung gegenüber der Situation ohne Bachsperre haben. Problematisch ist ihre Stabilität. Wie die Vermessungen zeigen, bewegt sich die oberste Mauer nordostwärts (Abbildung 8.2.) Solange dies gleichförmig geschieht, besteht eine geringe Gefahr. Die zweitoberste Sperre ist möglicherweise einer Rotation ausgesetzt: Der Vermessungspunkt 30 am nordöstlichen Ende ist in Bewegung, der Punkt 16 im Hang beim südwestlichen Ende der Mauer ist lagestabil. Leider bestehen

keine Vermessungen mit mehreren Punkten dieser Mauer; sollte sich nämlich die Lagestabilität des Hanges südwestlich der Bachsperre auch auf die Sperre selbst beziehen, so folgt daraus, dass die Sperre wegkippt oder zerrissen wird. Damit würde das erst 25 Jahre alte, aufwändig erstellte Bauwerk in nächster Zukunft funktionslos.

9.3. Massnahmen gegen von Murgängen verursachte Schäden

Weil Murgänge wiederholt Schäden an Gebäuden anrichteten, wurde bereits 1919 ein Kanal mit Ablenkwehr angelegt, der mit der Zeit immer wieder verbessert wurde (WEBER, 1995). Über die Mauer wird zwar kaum ein Murgang treten, trotzdem ist der Kanal aus hydrologischer Sicht nicht unbedenklich. Murgänge können in engen Rinnen hohe Geschwindigkeiten erreichen, der allseitig gemauerte Kanal unterstützt den Erhalt der hohen Porenwasserdrücke regelrecht und ermöglicht dem Murgang eine grosse Strecke zurückzulegen. Zudem besteht die Möglichkeit, dass ein Murgang oberhalb des Kanals, an der Brücke der Umbrailpassstrasse wegen Verkläusung über die Ufer tritt und in Richtung Ruschnaidas abfließt (Gysi et al., 1996).

Die im vorherigen Kapitel erläuterten wissenschaftlichen Erkenntnisse lassen sich soweit zusammenfassen, dass Wasser und Sedimentfracht einen speziellen Zustand annehmen müssen, damit sie einen Murgang bilden können. Stört man diesen Zustand, ist die Mobilität des Murgangs gehemmt. Am einfachsten geschieht dies, in dem man dem Murgang das Wasser entzieht. Die Porenwasserdrücke fallen dann sofort ab, die Reibung zwischen den Körnern nimmt zu und der Murgang bleibt regelrecht stehen.

Am Dorfbach in Randa konnten eindrucksvolle Erfahrungen dieses Effekts gesammelt werden (GRAF UND MCARDELL, 2005): Auf einem *Rost* aus flussparallelen Eisenbahnschienen konnten auf nur 19 m Länge Murgänge gestoppt werden, weil das Wasser wie bei einem Sieb aus dem Murgang abfließen konnte. Ähnliche Erfahrungen wurden an verschiedenen Stellen mit *Murgangnetzen*, ähnlich den bekannten Steinschlagnetzen, gemacht.

Solche Massnahmen in der Val Schais oberhalb der Brücke der Umbrailpassstrasse würden die Gefahr von Schäden an Gebäuden und Kulturland durch Murgänge stark reduzieren. Der bestehende Kanal könnte das aus Murgängen entzogene Wasser mit geringer Hochwassergefahr abführen. Voraussetzung für das Funktionieren der Einrichtungen ist allerdings auch hier eine regelmässige Wartung: die Sedimentfracht eines zurückgehaltenen Murgangs

muss nach einem Ereignis künstlich abgetragen werden.

Die wichtigsten Massnahmen gegen Murgänge wurden jedoch bereits in den Lockergesteinen der Val Schais vorgenommen: durch die Hangstabilisierungsmassnahmen steht weniger mobilisierbares Sediment zur Verfügung. Nach BOVIS UND JAKOB (1999) lassen sich murgangfähige Gebiete in sediment- und transportlimitierte Typen einteilen. Bisher war die Val Schais eher als transportlimitiert einzustufen. Es gab wenige Murgänge, weil die Abflussraten zu klein waren; an mobilisierbarem Lockergestein fehlte es nicht. Sind die Hangstabilisierungsmassnahmen erfolgreich, werden auch in Situationen, wo zukünftig genügend Wasser für die Murgangmobilisierung zu Verfügung stünde, kein Murgang ausgelöst, weil das Sediment in den Rinnen fehlt. Die Val Schais wäre dann dem sedimentlimitierten Typ zuzuordnen.

10. Literaturverzeichnis

- ATKINS, PETER W. UND BERAN, JO A. (1998). Chemie: einfach alles. 2. korrigierte Auflage. VCH Verlagsgesellschaft mbH, D-Weinheim, 993 Seiten.
- BAFU (2008). Bundesamt für Umwelt, Abflussdaten Rom-Müstair. Aus dem Internet: <http://www.hydrodaten.admin.ch/d/2617.htm>, letzter Zugriff: Juli 2008.
- BERWERT, JOSEF UND SANDRI, ARTHUR (2008). Gezielte Aufforstungen und Lebendverbaue - naturnahe und effiziente Methoden. Textdokumentation zur Tagung «Steinschlag, Lawinen und grosse Rutschungen - bautechnisch fordernde Naturgefahren» vom 21. Februar 2008. Bau und Wissen, Wildegg.
- BIOSFERA (2005). Projektantrag Regio Plus. Biosfera Val Müstair - Parc Naziunal, Umbrailstrasse, Sta. Maria V. M. 22 Seiten.
- BÖLL, ALBERT (1997). Wildbach- und Hangverbau. Berichte der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf. 123 Seiten.
- BÖLL, ALBERT (2008). Drainagen/Bachverbauungen zum Schutz von Instabilitäten und Erosionen. Textdokumentation zur Tagung «Steinschlag, Lawinen und grosse Rutschungen - bautechnisch fordernde Naturgefahren» vom 21. Februar 2008. Bau und Wissen, Wildegg.
- BOLLINGER, D., HEGG, CH., KEUSEN, H.R., LATELIN, O. (2000). Ursachenanalyse der Hanginstabilitäten 1999. Bulletin für angewandte Geologie, Vol. 5, Nr. 1, Seiten 5 - 38.
- BOVIS, MICHAEL J., UND JAKOB, MATTHIAS (1999). The role of debris supply conditions in predicting debris flow activity. Earth surface processes and landforms, Volume 24, Seiten 1039 - 1054.
- BUCHER, FELIX (1996). Bodenmechanische Grundlagen, Mechanismen und Bewegungsabläufe von Rutschungen. Instabile Hänge und andere risikorelevante Prozesse, Monte Verità. Birkhäuser Verlag, Basel, Seiten 23 - 32.
- CAVIGILLI, CONRAD (1997). Geoelektrische Messungen in der Val Schais, auf dem Gebiet der Gemeinde Sta. Maria. Bericht Nr. 970207. GeoConCav, Castrisch.
- CHANG, L. L. Y., HOWIE, R. A., ZUSSMAN, J. (1998). Rock-Forming Minerals, Volume 5B, Non-Silicates. 2nd Edition. The Geological Society Publishing House, Bath (United Kingdom), 383 Seiten.
- DARNUZER (2007). Hangüberwachung Val Schais. Vermessung der Kontrollpunkte 1994 bis 2007. Ingenieurbüro Darnuzer, Davos.
- DIONEX (1998). DX-120 Ion Chromatograph Operator's Manual. Revision 03. © Dionex Corporation, Sunnyvale CA, USA, 162 Seiten.
- DYHRENFURTH, GÜNTER (1913). Die Engadiner Dolomiten. Habilitationsschrift der hohen philosophischen Fakultät der schlesischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Breslau, 227 Seiten.
- ECOS02: Erdbebenkatalog der Schweiz. Schweizerischer Erdbebendienst, ETH-Hönggerberg, Zürich. Abrufbar unter: <http://histserver.ethz.ch/>
- GAAR, DORIAN (2006). Quellenhydrogeologie und –geochemie im Schweizerischen Nationalpark. Bachelorarbeit, Universität Bern, 27 Seiten.
- GISY, H. J. UND MADER P. (1996). Sta. Maria - Val Schais: Hangrutschungen. Geologisch-Geotechnische Beurteilung. Auftrag Nr. 95091. Ingenieurbüro Gysi, Rigendinger & Partner AG, Chur.

- GRAF, CHRISTOPH UND McARDELL, BRIAN W. (2005). Die Murgangbeobachtungsstation Randa. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, WSL, Birmensdorf.
- HAEMMIG, CHRISTOPH UND STRASKY, STEFAN (2003). Quartär- und Hydrogeologie in der Val Chaschauna (GR) – eine GIS und DGPS gestützte Datenaufnahme. Diplomarbeit Universität Bern, 208 Seiten.
- HAIDER, KONRAD (1996). Biochemie des Bodens. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 174 Seiten.
- HUTCHINSON, J. N. (1988). General Report: Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. Landslides - Glissements de terrain, Volume 1. Editeur: Bonnard, Christophe, A.A. Balkema, Rotterdam/Brookfield, Seiten 3 -35.
- IVERSON, R. M., REID, M. E., LAHUSEN, R. G. (1997). Debris-flow mobilization from landslides. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, Vol. 25, Seiten 85 - 138.
- LABHART, TONI PETER (1993). Geologie der Schweiz. 2. überarbeitete Auflage. Ott Verlag, Thun, 211 Seiten.
- LANG, H.J., HUDER, J., AMANN P. (2002). Bodenmechanik und Grundbau. 7. Auflage. Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New York, 317 Seiten.
- McARDELL, B. W., BARTELT, P., KOWALSKI, J. (2007). Field observations of basal forces and fluid pore pressure in a debris flow. Geophysical Research Letters, Volume 34, Issue 7, Seiten 1-4.
- MÜLLER, BENJAMIN U. (1998). Scherdeformationen an glazialen Lockergesteinen - In der Natur und im Laborversuch. Bulletin für angewandte Geologie, Vol. 3, Nr. 2, Seiten 183 - 197.
- PEIFFNER, OTHMAR ADRIAN (2004). Geologie der Schweiz. Vorlesungsskript Universität Bern, 95 Seiten.
- PRINZ, HELMUT UND STRAUSS, ROLAND (2006). Abriss der Ingenieurgeologie. 4. Auflage. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 671 Seiten.
- RICK, B. (1988). Instability as a Consequence of deep disintegration in gypseous marls. Landslides - Glissements de terrain, Volume 2. Editeur: Bonnard, Christophe, A.A. Balkema, Rotterdam/Brookfield, Seiten 1363 bis 1366.
- SCHMID, STEFAN (1973). Geologie des Umbrailgebiets. *Eclogae Geologicae Helveticae* Vol. 66, Nr. 1, 109 Seiten.
- SCNAT UND VAW (2008). Gletscherberichte (1881-2002) "Die Gletscher der Schweizer Alpen", Jahrbücher der Glaziologischen Kommission der Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (SCNAT) herausgegeben seit 1964 durch die Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) der ETH Zürich. No. 1-122, (<http://glaciology.ethz.ch/swiss-glaciers/>).
- SMALL, H., STEVENS, T.S. UND BAUMAN, W.C. (1975). Novel Ion Exchange Chromatographic Method Using Conductimetric Detection. *Analytical Chemistry*, Vol. 47, Nr. 11, Seiten 1801-1809.
- SMALL, HAMISH (1989). *Ion Chromatography*. Plenum Press, New York, 276 Seiten.
- SPITZ, ALBRECHT UND DYHRENFURTH, GÜNTER (1914). Monographie der Engadiner Dolomiten zwischen Schuls, Scans und dem Stilsferjoch. Beiträge zur Geologischen Karte der Schweiz, Bern, 235 Seiten.
- STAUB, RUDOLF (1971). Neue Wege zum Verständnis des Ostalpen-Baues. Veröffentlichungen der Universität Innsbruck, Nr. 48, 352 Seiten.
- STEINER, BENNO (2005). Hydrogeologie und –geochemie von ausgewählten Quellen im Schweizerischen

Nationalpark. Teil 1, Diplomarbeit Universität Bern, 77 Seiten.

- STIPP, M., STÜNIZ, H., HEILBRONNER, R., SCHMID, S. M. (2002). The eastern Tonale fault zone: a «natural laboratory» for crystal plastic deformation of quartz over a temperature range from 250 to 700° C. *Journal of Structural Geology*, Volume 24, Seiten 1861-1884.
- TIPLER, PAUL A. (2000). Physik. 3. korrigierter Nachdruck der 1. Auflage (1994). Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg/Berlin, 1522 Seiten.
- TRÜMPY R., SCHMID, S.M., CONTI, P. UND FROITZHEIM, N. (1997). Erläuterungen zur Geologischen Karte 1 : 50 000 des Schweizerischen Nationalparks (Geologische Spezialkarte Nr. 122). Nationalpark-Forschung in der Schweiz, Nr. 87, 40 Seiten.
- WEBER, HANSJÖRG (1995). Projekt Frühwarndienste «Schais». Kreisforstamt 26, Kanton Graubünden, 5 Seiten.

Normen

Herausgeber:

Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS, Sihlquai 255, 8005 Zürich

- EN 933 1 – Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 1: Bestimmung der Korngrößenverteilung – Siebverfahren.
- EN 933 2 – Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 2: Bestimmung der Korngrößenverteilung – Analysesiebe, Nennweite der Sieböffnungen.
- SN 670 004 2a – Geotechnische Erkundung und Untersuchung. Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden – Teil 2: Grundlagen von Bodenklassifizierung
- SN 670 008a – Identifikation der Lockergesteine (2006 durch SN 670 004 2a ersetzt)
- SN 670 816a – Schlämmanalyse nach der Aräometermethode

Herausgeber:

Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA, Postfach, 8039 Zürich

- SN 505 267 – Geotechnik

Herausgeber:

DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin

- DIN 18137-3 – Bestimmung der Scherfestigkeit – Teil 3: Direkter Scherversuch

Dank

An dieser Stelle möchte ich mich bei einigen Personen bedanken, die mich besonders unterstützt haben, diese Masterarbeit und damit auch meine 5-jährige Studienzeit zur Vollendung zu bringen. Es sind dies:

Prof. Dr. Christian Schlüchter. Christian, ich danke Dir herzlich für all die lehrreichen Stunden, sei es im Hörsaal oder auf Exkursionen. Ich schätze es sehr, dass Du nicht einfach Arbeiten fachlich berätst, sondern auch den Menschen dahinter betreust und immer wieder auf Motivation bedacht bist. Danke für die grossen Freiheiten, die mir bei dieser Arbeit gewährt wurden und dafür, dass Du, wenn ich Hilfe brauchte, Dir trotzdem immer gleich die nötige Zeit genommen hast.

Franziska Nyffenegger. Danke Franziska; Du hast mir die Laborarbeiten am Geozentrum wesentlich erleichtert, Deine Begeisterung beim Suchen nach Lösungen für Probleme und Problemchen bei den einzelnen Versuchen ist ansteckend. Die Zusammenarbeit beim Weiterentwickeln des Handbuchs für Ringscherversuche hat mir Freude bereitet.

Meine Studienkameraden. Ich danke Euch allen für die schöne Studienzeit, die wir gemeinsam erlebt haben – die Freundschaft, die sich in unserem Semester entwickelt hat, darf sicherlich als ausserordentlich angesehen werden. Ihr habt mir unzählige schöne Momente bereitet, die mich immer wieder aufs Neue für das Studium motivierten.

Meine Eltern. Der letzte und grösste Dank gilt Euch, meine lieben Eltern. Eure Unterstützung, sei es finanziell oder moralisch, war immer da. Für Euch war es Selbstverständlichkeit, für mich zu sorgen, ohne eine Gegenleistung zu erwarten. Ihr habt mir viele Lasten abgenommen, sodass ich eine unbeschwerte Studienzeit erleben durfte.

11. Anhang

11.1. Niederschlags- und Abflussdaten

Station Jahr	Chur	Martina	Müstair	Punt la Drossa	S-Charl	Scuol	Sta. Maria, Val Müstair	Susch	Zernez	Buffalora	Visp
1999	1282.1	980.8	875.1	1189.1	968.6	931.8	876.7	1246.7	931.4	914	639.1
2000	1108.6	976.5	991.8	1246.9	1152.2	1056.7	1077.5	1070.2	1027.1	1045	672.9
2001	1109.8	823.5	737.4	950.3	887	884.7	917.5	1055.8	874.8	849	589.6
2002	1125.4	809.9	865.9	1243.6	1042.1	935.5	973	1080.3	922.4	1087	697.6
2003	652.2	488.3	497.3	674.4	653.4	538.6	626.2	705.2	568	749	345.6
2004	721	482.2	588.3	663.1	578.7	550.2	695.7	700.1	576.2	650	527.8
2005	645.2	566.6	496.7	637.8	618.2	569.9	587.6	653.9	631.1	558	475.2
2006	674.4	568.1	463.2	673.7	631.5	529.1	603.3	759.3	539.8		522.7
2007	868.9	731.2	525.7	778.9	730.1	597.7	675.1	716.4	635.6		769.4
Norm [mm/a]	816	756	690	862		695	805	798	751	900	601
Relativ zur Norm [%]											
1999	157.1	129.7	126.8	137.9		134.1	108.9	156.2	124.0	101.6	106.3
2000	135.9	129.2	143.7	144.7		152.0	133.9	134.1	136.8	116.1	112.0
2001	136.0	108.9	106.9	110.2		127.3	114.0	132.3	116.5	94.3	98.1
2002	137.9	107.1	125.5	144.3		134.6	120.9	135.4	122.8	120.8	116.1
2003	79.9	64.6	72.1	78.2		77.5	77.8	88.4	75.6	83.2	57.5
2004	88.4	63.8	85.3	76.9		79.2	86.4	87.7	76.7	72.2	87.8
2005	79.1	74.9	72.0	74.0		82.0	73.0	81.9	84.0	62.0	79.1
2006	82.6	75.1	67.1	78.2		76.1	74.9	95.2	71.9	0.0	87.0
2007	106.5	96.7	76.2	90.4		86.0	83.9	89.8	84.6	0.0	128.0

Tabella 11.1.
 Jährliche Niederschlagssummen ausge-
 wählter Stationen in [mm/a] (absolute
 Werte) und in [%] (relative Werte)
 NIEDERSCHLAGSDATEN
 ©METEOSCHWEIZ

Abfluss		Rom - Müstair					LHG 2617								
Débit		Koordinaten					Höhe		Fläche		Vergletscherung				
Portata		830 800 / 168 700					1236		129.7		0.12 %				
		Coordonnées					Altitude		Surface		Extension glacier				
		Coordinate					Altitudine		Superficie		Ghiacciaio				
							Mittlere Höhe								
							2187								
							m ü.M.								
							m s.m.								
							m s.m.								
2001	Jan./Janv. Genn.	Feb./Févr. Febr.	März/Mars Marzo	April/Avril Aprile	Mai/Mai Maggio	Juni/Juin Giugno	Juli/Juillet Luglio	Aug./Août Agosto	Sept./Sept. Sett.	Okt./Oct. Ott.	Nov./Nov. Nov.	Dez./Déc. Dic.			
	1	2.08	1.68 +	1.40	1.78	3.53 -	10.7	9.70	7.11	4.49 +	2.97	2.29 +	1.74	1	
	2	2.08	1.66	1.40	1.84	4.07	9.65	9.23	7.14	4.15	2.91	2.26	1.75 +	2	
	3	2.09 +	1.65	1.40	1.96	4.48	9.21	9.17	7.12	4.01	2.88	2.25	1.70	3	
	4	2.07	1.63	1.40	2.01	4.74	8.27	9.15	7.83	4.33	3.04	2.22	1.68	4	
	5	2.07	1.61	1.40	2.01	4.84	7.61	9.35	7.75	4.28	2.91	2.20	1.67	5	
	6	2.08	1.60	1.40	1.98	4.64	7.35	9.55	6.66	3.99	2.84	2.18	1.66	6	
	7	2.02	1.58	1.38	2.02	5.08	6.82	9.91	6.25	3.89	3.11	2.13	1.63	7	
	8	2.02	1.57	1.36	1.93	5.59	6.79	9.36	6.13	3.83	3.13	2.14	1.56	8	
	9	2.03	1.55	1.38	1.87	6.09	8.07	8.98	6.05	3.78	2.98	2.08	1.53	9	
	10	2.03	1.54	1.36	1.88	6.58	10.6	8.15	9.52 +	3.69	2.91	1.98	1.49	10	
	11	2.01	1.53	1.37	1.87	6.58	12.8	8.26	7.40	3.64	2.85	2.07	1.50	11	
	12	1.99	1.53	1.39	1.82	6.54	10.6	8.22	6.97	3.57	2.79	2.21	1.51	12	
	13	1.98	1.53	1.53	1.79	6.55	8.56	8.17	6.60	3.51	2.74	2.10	1.49	13	
	14	1.96	1.53	1.42	1.75	6.84	7.95	8.03	6.26	3.63	2.72	2.01	1.43	14	
	15	1.94	1.53	1.42	1.73	6.96	8.03	8.32	6.04	3.52	2.67	1.88	1.44	15	
	16	1.93	1.50	1.46	1.72	6.73	10.4	11.7 +	5.86	3.43	2.64	1.91	1.42	16	
	17	1.91	1.46	1.50	1.70	7.01	13.0 +	10.2	5.72	3.36	2.59	1.94	1.40	17	
	18	1.90	1.46	1.48	1.68	8.85	11.6	9.38	5.67	3.28	2.57	1.92	1.39	18	
	19	1.88	1.46	1.51	1.71	8.45	10.3	9.36	5.34	3.24	2.54	1.88	1.38	19	
	20	1.86	1.46	1.53	1.73	7.84	9.52	9.56	5.30	3.19	2.56	1.83	1.37	20	
	21	1.85	1.45	1.57	1.69	7.37	9.29	8.53	5.10	3.14	3.59 +	1.79	1.35	21	
	22	1.83	1.43	1.75	1.67	7.45	9.20	7.95	4.90	3.10	2.85	1.78	1.34	22	
	23	1.82	1.43	1.81	1.60	8.37	9.37	7.73	4.75	3.17	2.71	1.78	1.34	23	
	24	1.80	1.41	1.95	1.66	9.29	9.64	9.12	4.60	3.15	2.64	1.73	1.31	24	
	25	1.78	1.40	2.22 +	1.74	9.65	9.76	8.39	4.45	3.50	2.58	1.77	1.31	25	
	26	1.77	1.40	2.09	1.96	9.55	10.1	7.98	4.36	3.29	2.54	1.75	1.30	26	
	27	1.75	1.40	1.98	2.03	9.13	10.8	7.79	4.24	3.14	2.49	1.75	1.29	27	
	28	1.74	1.40	1.90	2.19	9.26	12.6	7.70	4.13	3.06	2.44	1.72	1.30	28	
	29	1.72	1.85	2.52	10.1	11.4	7.88	3.99	3.02	3.02	2.41	1.70	1.31	29	
	30	1.71	1.82	2.85 +	11.5	10.6	7.44	4.30	3.06	3.06	2.37	1.72	1.31	30	
31	1.69	1.77		12.5 +			7.18	5.18		2.33		1.28	31		
Monatsmittel	1.92	1.51	1.59	1.89	7.30	9.69 +	8.76	5.89	3.55	2.75	1.97	1.46	m³/s		
Maximum / Massimo (Spitze / Pointe / Punta)	2.20	1.70 -	2.60	3.50	13.2	15.9 +	14.3	12.4	5.30	6.60	2.90	1.90	m³/s		
Datum / Date / Data	2.	1.	25.	30.	30.	11.,17.	16.	10.	1.	21.	7.	1.			
Jahresmittel / Moyenne annuelle / Media annua	4.04 m³/s														
<p>— Ganglinie der Tagesmittel (erreicht oder überschritten) / Dauerlinie der Tagesmittel (atteintes ou dépassées) / ← Jahresmittel / Moyenne annuelle / Media annua</p> <p>Hydrogramme des moyennes journalières / Courbe des valeurs classées des moyennes journalières (atteintes ou dépassées) / ← Jahresmittel / Moyenne annuelle / Media annua</p> <p>Andamento delle medie giornaliere / Curva di durata delle medie giornaliere (raggiunte o sorpassate) / ← Jahresmittel / Moyenne annuelle / Media annua</p>															
<p>Periode / Période / Período 1995 – 2001 (7 Jahre / années / anni)</p>															
Monatsmittel	1.30	1.14 -	1.16	1.52	4.12	6.33 +	4.99	3.64	2.89	3.19	2.41	1.69	m³/s		
Moyenne mensuelle / Media mensili															
Maximum / Massimo (Spitze / Pointe / Punta)	2.20	1.70 -	2.60	3.70	13.2	17.3 +	15.3	12.4	16.2	15.5	11.3	3.30	m³/s		
Jahr / Année / Anno	2001	2000,2001	2001	2000	2001	1997	2000	2001	1999	2000	1997	2000	Dat.		
Minimum / Minimo (Tagesmittel / Moyenne journal. / Media giornal.)	0.83	0.69	0.66	0.63 -	0.95	3.00 +	2.42	1.91	1.75	1.36	1.30	0.92	m³/s		
Jahr / Année / Anno	1996	1996	1996	1996	1996	1996	1996	1998	1997	1997	1995	1995	Dat.		
Grösstes Jahresmittel / Moyenne annuelle la plus grande / La più grande media annua	4.04 (2001)			m³/s	Mittlerer Abfluss / Débit moyen / Portata media			2.87		m³/s	Kleinstes Jahresmittel / Moyenne annuelle la plus petite / La più piccola media annua			2.17 (1996)	
<p>Dauer der Abflüsse (erreicht oder überschritten) / Débits classés (atteints ou dépassés) / Durata delle portate (raggiunte o sorpassate)</p>															
Tage / Jours / Giorni	1	3	6	9	18	36	55	73	91	114	137	160			
2001	13.0	12.6	11.6	10.8	10.1	9.29	8.22	7.44	6.58	4.60	3.53	2.91	m³/s		
1995 - 2001	11.7	10.1	9.29	8.53	7.24	5.79	4.90	4.20	3.67	3.18	2.81	2.51	m³/s		
Tage / Jours / Giorni	182	205	228	251	274	292	310	329	347	356	362	365			
2001	2.49	2.07	1.94	1.81	1.72	1.66	1.53	1.43	1.39	1.34	1.30	1.28	m³/s		
1995 - 2001	2.25	1.96	1.72	1.50	1.36	1.27	1.15	1.03	0.92	0.84	0.76	0.65	m³/s		

Abfluss		Rom - Müstair										LH 2617		
Débit		Koordinaten		Höhe		Fläche		Mittlere Höhe		Vergletscherung				
Portata		Coordonnées		Altitude		Surface		Altitude moyenne		Extension glacier				
		830 800 / 168 700		1236		129.7 km ²		2187		0.12 %				
		Coordinate		m ü.M.		Superficie		m s.m.		Ghiacciaio				
				m s.m.				m s.m.						
				m s.m.				m s.m.						
2002	Jan./Janv. Genn.	Feb./Févr. Febr.	März/Mars Marzo	April/Avril Aprile	Mai/Mai Maggio	Juni/Juin Giugno	Juli/Juillet Luglio	Aug./Août Agosto	Sept./Sept. Sett.	Okt./Oct. Ott.	Nov./Nov. Nov.	Dez./Déc. Dic.		
	1	1.29 +	1.16 +	1.07 -	1.25	1.66 -	5.63	3.82	2.37	2.16 +	1.51	1.47	2.72 +	
	2	1.28	1.15	1.11	1.27	2.10	5.83	3.79	2.33	2.04	1.50	1.51	2.71	
	3	1.27	1.15	1.14	1.25	4.66	5.87	3.79	2.22	2.11	1.49	1.62	2.58	
	4	1.25	1.14	1.09	1.25	6.71 +	6.19	4.12 +	2.57	2.05	1.48	1.58	2.29	
	5	1.24	1.14	1.08	1.23	3.98	8.58	3.64	2.30	2.01	1.46	1.40	2.33	
	6	1.23	1.15	1.09	1.22	3.15	8.94 +	3.60	2.25	1.98	1.47	1.35	2.19	
	7	1.23	1.16 +	1.19	1.20	2.83	7.32	3.46	2.20	1.98	1.44	1.35	2.05	
	8	1.23	1.15	1.23	1.21	2.67	6.64	3.36	2.14	1.94	1.42	1.41	1.97	
	9	1.21	1.15	1.21	1.22	2.99	6.33	3.28	2.11	1.90	1.44	1.37	1.78	
	10	1.21	1.13	1.20	1.20	3.30	5.91	3.17	2.23	1.94	1.42	1.41	1.74	
	11	1.21	1.13	1.18	1.18 -	3.14	5.67	3.03	3.20 +	1.88	1.43	1.38	1.75	
	12	1.20	1.14	1.16	1.21	3.08	5.68	2.93	2.92	1.85	1.40	1.31 -	1.76	
	13	1.21	1.14	1.21	1.39	3.29	6.22	3.46	2.69	1.82	1.38	1.43	1.74	
	14	1.20	1.12	1.17	1.35	3.62	6.34	3.23	2.59	1.80	1.36	1.80	1.68	
	15	1.19	1.13	1.21	1.32	3.67	6.61	3.48	2.50	1.78	1.35	6.43	1.67	
	16	1.18	1.14	1.22	1.27	3.98	6.88	3.34	2.39	1.75	1.34 -	10.4 +	1.66	
	17	1.17	1.10	1.22	1.24	4.74	6.73	3.21	2.34	1.72	2.02	6.34	1.64	
	18	1.17	1.10	1.24	1.24	5.27	6.58	3.13	2.27	1.69	2.05 +	4.11	1.59	
	19	1.18	1.08	1.40	1.26	5.34	6.76	3.04	2.23	1.69	1.55	3.56	1.58	
	20	1.18	1.08	2.32 +	1.24	5.13	6.47	2.94	2.22	1.68	1.45	3.04	1.58	
	21	1.20	1.08	1.63	1.24	5.12	6.19	2.91	2.43	1.65	1.48	2.70	1.55	
	22	1.19	1.05 -	1.45	1.31	5.13	5.69	2.85	2.33	1.65	1.82	2.68	1.50	
	23	1.18	1.06	1.31	1.36	5.15	5.48	2.79	2.26	1.63	1.74	2.41	1.50	
	24	1.19	1.07	1.22	1.38	6.20	5.98	2.71	2.23	1.76	1.65	2.33	1.48	
	25	1.18	1.07	1.18	1.41	5.51	5.02	2.65	2.18	1.66	1.62	2.79	1.47	
	26	1.17	1.07	1.18	1.61	6.05	4.52	2.62	2.15	1.63	1.61	3.76	1.34	
	27	1.19	1.06	1.17	1.84 +	6.24	4.29	2.56	2.31	1.60	1.56	3.81	1.45	
	28	1.20	1.07	1.17	1.60	5.71	5.08	2.47	2.16	1.58	1.52	3.43	1.40	
	29	1.17	1.18	1.18	1.54	5.12	4.27	2.36 -	2.11	1.55	1.47	3.51	1.44	
	30	1.17	1.21	1.21	1.52	5.00	3.98 -	2.36 -	2.06 -	1.53 -	1.49	3.19	1.45	
31	1.16 -		1.25		5.41		2.36 -	2.06 -		1.41		1.44		
Monatsmittel		Moyenne mensuelle		Media mensile		2.40 m ³ /s		1.80		1.53		2.83		
Maximum / Massimo		Spitze / Pointe / Punta		Datum / Date / Data		1.40		1.30 -		3.10		2.10		
		2.		12.		20.		26.		4.		5.		
		11.		3.		8.		1.		17.		16.		
		2.		16.		2.								
Jahresmittel / Moyenne annuelle / Media annua													2.40 m ³ /s	
Ganglinie der Tagesmittel / Hydrogramme des moyennes journalières / Andamento delle medie giornaliere --- Dauerlinie der Tagesmittel (erreicht oder überschritten) / Courbe des valeurs classées des moyennes journalières (atteintes ou dépassées) ← Jahresmittel / Moyenne annuelle / Media annua														
Periode / Période / Periodo 1995 - 2002 (8 Jahre / années / anni)														
Monatsmittel	1.28	1.14 -	1.17	1.49	4.15	6.30 +	4.75	3.48	2.75	2.98	2.46	1.70	m ³ /s	
Maximum / Massimo	2.20	1.70 -	3.10	3.70	13.2	17.3 +	15.3	12.4	16.2	15.5	13.1	3.30	m ³ /s	
Jahr / Année / Anno	2001	2000,2001	2002	2000	2001	1997	2000	2001	1999	2000	2002	2000	Dat.	
Minimum / Minimo	0.83	0.69	0.66	0.63 -	0.95	3.00 +	2.36	1.91	1.53	1.34	1.30	0.92	m ³ /s	
(Tagesmittel / Moyenne journ. / Media giornal.)	1996	1996	1996	1996	1996	1996	2002	1998	2002	2002	1995	1995	Dat.	
Grösstes Jahresmittel	4.04 (2001)			m ³ /s	Mittlerer Abfluss	2.81			m ³ /s	Kleinstes Jahresmittel	2.17 (1996)			m ³ /s
Moyenne annuelle la plus grande					Débit moyen					Moyenne annuelle la plus petite				
La più grande media annua					Portata media					La più piccola media annua				
Dauer der Abflüsse (erreicht oder überschritten) / Débits classés (atteints ou dépassés) / Durata delle portate (raggiunte o sorpassate)														
Tage / Jours / Giorni	1	3	6	9	18	36	55	73	91	114	137	160		
2002	10.4	8.58	6.76	6.64	6.22	5.27	3.82	3.29	2.91	2.37	2.18	1.88	m ³ /s	
1995 - 2002	11.6	9.91	9.20	8.32	6.97	5.72	4.84	4.09	3.59	3.11	2.70	2.44	m ³ /s	
Tage / Jours / Giorni	182	205	228	251	274	292	310	329	347	356	362	365		
2002	1.66	1.55	1.45	1.36	1.24	1.21	1.19	1.17	1.13	1.08	1.07	1.05	m ³ /s	
1995 - 2002	2.20	1.88	1.65	1.47	1.35	1.25	1.17	1.06	0.92	0.84	0.77	0.65	m ³ /s	

Abfluss		Rom - Müstair				LH 2617							
Débit		Koordinaten		Höhe		Fläche		Mittlere Höhe		Vergletscherung			
Portata		Coordonnées		Altitudine		Surface		Altitude moyenne		Extension glacier			
		830 800 / 168 700		1236		129.7 km ²		2187		0.12 %			
		Coordinate		m ü.M. m s.m.		m s.m. m s.m.		m ü.M. m s.m.		Ghiacciaio			
2003	Jan./Janv. Genn.	Feb./Févr. Febr.	März/Mars Marzo	April/Avril Aprile	Mai/Mai Maggio	Juni/Juin Giugno	Juli/Juillet Luglio	Aug./Août Agosto	Sept./Sept. Sett.	Okt./Oct. Ott.	Nov./Nov. Nov.	Dez./Déc. Dic.	
	1	1.40	0.94	1.06	1.33	4.13	7.94	4.87	2.26	1.86	1.30	1.87	1.23
	2	1.41	1.12	1.12	1.32	3.75	7.91	4.69	2.09	1.77	1.29	1.41	1.24
	3	1.39	1.12	1.12	1.26	4.13	7.72	4.35	2.04	1.74	1.29	1.30	1.23
	4	1.37	1.11	1.12	1.21	3.93	7.94	4.37	1.98	1.69	1.44	1.27	1.19
	5	1.36	1.09	1.14	1.17	4.16	8.20	4.03	2.13	1.66	1.79	1.25	1.18
	6	1.20	1.05	1.07	1.14	4.73	8.44	3.85	2.07	1.65	1.41	1.28	1.16
	7	1.20	1.14	1.07	1.11	5.14	8.53	3.64	1.89	1.64	1.38	1.24	1.11
	8	1.11	1.16	1.05	1.10	5.54	8.71	3.48	1.80	1.63	1.37	1.24	1.09
	9	1.19	1.09	1.08	1.11	6.36	8.05	3.27	1.74	1.65	1.81	1.23	1.10
	10	0.94	1.14	1.11	1.13	6.98	7.79	3.00	1.73	1.63	1.51	1.20	1.10
	11	0.79	1.14	1.15	1.13	6.89	7.89	2.95	1.70	1.59	1.41	1.18	1.10
	12	0.78	1.12	1.17	1.12	6.65	7.75	2.91	1.64	1.57	1.37	1.17	1.10
	13	1.05	1.11	1.15	1.13	6.67	7.57	2.82	1.61	1.55	1.35	1.15	1.10
	14	1.24	1.12	1.11	1.13	6.37	7.56	2.77	1.65	1.53	1.35	1.16	1.12
	15	1.16	1.06	1.08	1.15	5.63	7.39	2.88	1.68	1.50	1.32	1.15	1.10
	16	1.24	1.07	1.09	1.19	5.10	6.66	3.03	1.68	1.49	1.32	1.14	1.10
	17	1.13	1.05	1.06	1.23	4.77	6.27	2.94	1.62	1.45	1.29	1.20	1.09
	18	1.21	1.09	1.08	1.28	4.60	6.10	2.79	1.88	1.41	1.29	1.14	1.08
	19	1.15	1.05	1.08	1.27	4.81	5.59	2.66	1.87	1.40	1.29	1.18	1.07
	20	1.03	1.10	1.10	1.28	6.13	5.41	2.56	1.77	1.40	1.33	1.19	1.07
	21	1.07	1.10	1.11	1.29	5.24	5.25	2.71	1.73	1.38	1.35	1.20	1.07
	22	1.16	1.09	1.13	1.30	4.76	4.91	2.65	1.69	1.38	1.31	1.21	1.06
	23	1.20	1.09	1.12	1.32	4.64	5.13	2.63	1.59	1.41	1.32	1.22	1.00
	24	1.17	1.10	1.15	1.38	4.64	5.07	2.66	1.73	1.42	1.30	1.26	0.97
	25	1.11	1.10	1.20	1.48	4.82	4.88	2.57	1.86	1.37	1.20	1.27	1.00
	26	1.17	1.09	1.21	1.61	5.01	4.65	2.45	1.67	1.36	1.21	1.29	1.02
	27	1.16	1.09	1.23	1.71	5.30	4.49	2.40	1.63	1.35	1.23	1.31	1.00
	28	1.20	1.10	1.25	1.77	6.14	5.37	3.09	1.58	1.33	1.21	1.31	1.02
	29	1.19	1.29	1.94	1.94	6.59	5.10	2.61	2.27	1.33	1.21	1.25	1.05
	30	1.19	1.35	2.92	2.92	6.80	4.26	2.43	1.98	1.30	1.23	1.02	30
31	1.08	1.34			7.50		2.37	2.09		1.24		1.00	
Monatsmittel		Moyenne mensuelle		Media mensile		2.25 m ³ /s		Jahresmittel		Moyenne annuelle		Media annua	
Maximum / Massimo		Spitze / Pointe / Punta		Datum / Date / Data		1.60		1.30		1.70		5.30	
24		1.10		1.15		1.38		4.64		5.07		2.66	
25		1.10		1.20		1.48		4.82		4.88		2.57	
26		1.09		1.21		1.61		5.01		4.65		2.45	
27		1.09		1.23		1.71		5.30		4.49		2.40	
28		1.10		1.25		1.77		6.14		5.37		3.09	
29		1.29		1.94		1.94		6.59		5.10		2.61	
30		1.35		2.92		2.92		6.80		4.26		2.43	
31		1.34						7.50				2.37	
1.16		1.09		1.14		1.35		5.42		6.62		3.11	
1.60		1.30		1.70		5.30		8.90		10.2		8.30	
4.		2.		4.		30.		30.		28.		1.	
1.27		1.13		1.17		1.48		4.29		6.33		4.57	
2.20		1.70		3.10		5.30		13.2		17.3		15.3	
0.78		0.69		0.66		0.63		0.95		3.00		2.36	
4.04		2.75		2.17									
1		3		6		9		18		36		55	
8.71		8.44		7.94		7.89		6.89		5.25		4.64	
11.5		9.70		9.06		8.20		6.96		5.69		4.81	
182		205		228		251		274		292		310	
1.33		1.28		1.23		1.19		1.14		1.12		1.10	
2.04		1.75		1.56		1.41		1.29		1.21		1.14	

11. Niederschlags- und Abflussdaten

Abfluss Rom-Müstair LH 2617														
Débit	Koordinaten Coordonnées 830800 / 168700		Höhe Altitudine 1236 m ü.M.		Fläche Surface 129.7 km ²		Mittlere Höhe Altitude moyenne 2187 m ü.M.		Vergletscherung Extension glacier 0.12 % Ghiacciaio					
Portata	Coordinate		Altitudine		Superficie		Altitudine media		Ghiacciaio					
2004	Jan./Janv. Genn.	Feb./Févr. Febr.	März/Mars Marzo	April/Avril Aprile	Mai/Mai Maggio	Juni/Juin Giugno	Juli/Juillet Luglio	Aug./Août Agosto	Sept./Sept. Sett.	Okt./Oct. Ott.	Nov./Nov. Nov.	Dez./Déc. Dic.		
1	1.05 +	0.94	0.89	1.19	2.11	4.78	6.91	3.27	2.11	1.71	4.06	1.97 +	1	
2	1.05 +	0.94	0.89	1.22	2.11	4.90	6.72	3.16	2.08	1.68	4.85 +	1.94	2	
3	1.04	0.94	0.89	1.22	2.16	4.74	6.31	3.08	2.05	1.67	4.32	1.92	3	
Tagesmittel	4	1.03	0.95 +	0.89	1.27	2.26	4.69 -	6.03	3.01	2.02	1.66	4.01	1.87	4
	5	1.03	0.95 +	0.89	1.34	2.47	4.81	5.94	2.95	1.99	1.63	3.76	1.86	5
Moyenne journalière	6	1.03	0.95 +	0.89	1.28	2.40	4.88	6.52	3.68 +	1.95	1.62	3.58	1.83	6
	7	1.03	0.95 +	0.90	1.21	2.09	4.97	6.67	3.26	1.89	1.61	3.43	1.81	7
Media giornaliera	8	1.03	0.94	0.89	1.18	1.97	5.30	7.36	3.21	1.88	1.59	3.14	1.79	8
	9	1.03	0.93	0.89	1.18	1.87	5.90	10.1 +	3.01	1.83	1.57 -	2.90	1.78	9
	10	1.03	0.92	0.87 -	1.17	1.80	6.89	7.59	2.88	1.79	1.60	2.89	1.74	10
	11	1.02	0.93	0.90	1.17	1.78 -	8.16	7.53	2.84	1.80	1.73	2.95	1.72	11
	12	1.03	0.93	0.89	1.14	1.82	8.66 +	6.80	2.80	2.01	1.74	2.91	1.70	12
m³/s	13	1.04	0.93	0.89	1.12	1.89	7.97	6.37	2.81	1.90	1.71	2.78	1.68	13
	14	1.04	0.93	0.89	1.11 -	1.92	7.15	6.04	2.68	1.90	1.68	2.59	1.66	14
	15	1.03	0.93	0.92	1.12	1.99	6.56	5.74	2.63	2.22 +	1.77	2.54	1.64	15
	16	1.01	0.93	0.95	1.12	2.13	6.56	5.53	2.56	2.20	1.87	2.52	1.62	16
	17	1.02	0.93	1.01	1.14	2.26	6.51	5.38	2.49	1.96	1.73	2.49	1.61	17
	18	1.02	0.93	1.07	1.20	2.46	6.70	5.29	2.44	1.90	1.69	2.45	1.60	18
	19	1.01	0.93	1.11	1.26	2.76	6.96	5.25	2.39	1.86	1.68	2.41	1.59	19
	20	1.01	0.93	1.13	1.23	3.15	7.34	5.16	2.59	1.83	1.71	2.30	1.56	20
	21	1.00	0.93	1.19	1.26	3.68	6.41	5.01	2.61	1.81	1.79	2.23	1.51	21
	22	0.96	0.94	1.22 +	1.37	4.06	5.96	4.80	2.40	1.79	1.84	2.23	1.47	22
	23	0.95	0.94	1.16	1.53	3.94	5.82	4.60	2.33	1.81	1.77	2.20	1.52	23
	24	0.96	0.92	1.11	1.75	3.57	6.17	4.92	2.36	1.81	1.72	2.15	1.49	24
+Maximum	25	0.97	0.87 -	1.07	1.68	3.35	6.42	4.81	2.29	1.80	1.69	2.09	1.49	25
Massimo	26	0.96	0.88	1.06	1.56	3.38	6.31	4.48	2.46	1.78	1.99	2.05	1.52	26
	27	0.97	0.89	1.04	1.64	3.65	6.36	4.26	2.30	1.77	4.30 +	2.02	1.49	27
- Minimum	28	0.97	0.90	1.04	1.76	4.03	6.93	4.00	2.24	1.76	2.78	1.99	1.48	28
Minimo	29	0.97	0.90	1.03	1.88	3.96	7.05	3.80	2.20	1.74	3.73	1.98 -	1.46	29
	30	0.94 -		1.07	1.99 +	4.12	6.82	3.53	2.23	1.73 -	3.52	2.00	1.44	30
	31	0.95		1.13		4.35 +		3.36 -	2.15 -	3.61		1.43 -	1.43 -	31
Monatsmittel Moyenne mensuelle Media mensile	1.01	0.93 -	0.99	1.34	2.76	6.29 +	5.70	2.69	1.90	2.01	2.79	1.65	m ³ /s	
Maximum/Massimo Spitze/Pointe/Punta Datum/Date/Data	1.51 27.	1.42 11.	1.39 - 21.	2.26 30.	5.05 31.	9.19 11. 12.	14.6 + 9.	5.65 6.	3.96 15.	5.55 27.	5.20 2.	2.04 14.	m ³ /s	
Jahresmittel/Moyenne annuelle/Media annua	2.51 m ³ /s													
<p>— Ganglinie der Tagesmittel / Hydrogramme des moyennes journalières / Andamento delle medie giornalieri</p> <p>--- Dauerlinie der Tagesmittel (erreicht oder überschritten) / Courbe des valeurs classées moyennes journalières (atteints ou dépassés) / Curva di durata delle medie giornalieri (raggiunte o sorpassate)</p> <p>► Jahresmittel / Moyenne annuelle / Media annua</p>														
Periode/Période/Periodo	1995 - 2004 (10 Jahre/années/anni)													
Monatsmittel Moyenne mensuelle Media mensile	1.24	1.11 -	1.15	1.46	4.14	6.33 +	4.68	3.23	2.54	2.72	2.37	1.63	m ³ /s	
Maximum/Massimo Spitze/Pointe/Punta Jahr/Année/Anno	2.20 2001	1.70 - 2001	3.10 2002	5.30 2003	13.2 2001	17.3 + 1997	15.3 2000	12.4 2001	16.2 1999	15.5 2000	13.1 2002	3.30 2000	m ³ /s	
Minimum Tagesmittel Moyenne j./Media g. Jahr/Année/Anno	0.78 2003	0.69 1996	0.66 1996	0.63 - 1996	0.95 1996	3.00 + 1996	2.36 2002	1.58 2003	1.30 2003	1.20 2003	1.14 2003	0.92 1995	m ³ /s	
Grösstes Jahresmittel Moyenne annuelle la plus grande La più grande media annua	4.04 (2001) m ³ /s			Mittlerer Abfluss Débit moyen Portata media				2.73 m ³ /s				Kleinstes Jahresmittel Moyenne annuelle la plus petite La più piccola media annua		
												2.17 (1996) m ³ /s		
Dauer der Abflüsse Tage/Jours/Giorni	(erreicht oder überschritten)			Débits classés (atteints ou dépassés)				Durata delle portate (raggiunte o sorpassate)						
2004	10.1	8.16	7.53	7.15	6.70	5.82	4.69	3.68	3.08	2.49	2.20	1.99	m ³ /s	
1995 - 2004	11.4	9.65	8.87	8.05	6.89	5.69	4.79	4.01	3.50	2.99	2.58	2.29	m ³ /s	
2004	182	205	228	251	274	292	310	329	347	356	362	365		
2004	1.83	1.75	1.64	1.46	1.14	1.04	1.01	0.94	0.92	0.89	0.89	0.87	m ³ /s	
1995 - 2004	2.00	1.75	1.57	1.41	1.29	1.20	1.13	1.04	0.93	0.88	0.79	0.66	m ³ /s	

11. Niederschlags- und Abflussdaten

Abfluss Rom - Müstair LH 2617														
Débit	Koordinaten Coordonnées 830800 / 168700		Höhe Altitude 1236 m ü.M.		Fläche Surface 129.7 km ²		Mittlere Höhe Altitude moyenne 2187 m ü.M.		Vergletscherung Extension glacier 0.12 %		Ghiacciaio			
Portata	Coordinate		Altitudine		Superficie		Altitudine media		Ghiacciaio		0.12 %			
2005	Jan./Janv. Genn.	Febr./Févr. Febbr.	März/Mars Marzo	April/Avril Aprile	Mai/Mai Maggio	Juni/Juin Giugno	Juli/Juillet Luglio	Aug./Août Agosto	Sept./Sept. Sett.	Okt./Oct. Ott.	Nov./Nov. Nov.	Dez./Déc. Dic.		
1	1.42 +	1.15 +	1.05	1.22	1.74	4.30 +	2.76 +	1.74	2.03 +	1.68 -	1.75	1.32	1	
2	1.42 +	1.13	1.05	1.18	2.14	3.82	2.37	1.78	1.98	2.41	1.73	1.30	2	
3	1.41	1.12	1.04	1.17	2.54	3.73	2.23	1.88	1.96	2.41	1.73	1.35 +	3	
Tagesmittel	4	1.40	1.12	1.04	1.15 -	2.61	4.16	2.11	1.75	1.93	2.77 +	1.71	1.32	4
	5	1.39	1.12	1.04	1.15 -	2.12	3.82	2.24	1.71	1.89	2.65	1.72	1.31	5
Moyenne journalière	6	1.39	1.11	1.03 -	1.15 -	1.88	3.41	2.15	1.69	1.88	2.65	1.84 +	1.30	6
	7	1.38	1.11	1.03 -	1.15 -	1.79	3.19	2.28	1.69	1.87	2.69	1.77	1.28	7
Media giornaliera	8	1.38	1.11	1.03 -	1.17	1.70	2.95	2.28	1.66	1.85	2.60	1.70	1.27	8
	9	1.37	1.11	1.03 -	1.20	1.63	2.78	2.15	1.64	1.95	2.51	1.69	1.26	9
	10	1.36	1.11	1.03 -	1.16	1.59	2.68	2.16	1.58	1.94	2.42	1.67	1.21	10
	11	1.35	1.12	1.03 -	1.15 -	1.55	2.59	2.12	1.56	1.94	2.31	1.64	1.18	11
	12	1.34	1.13	1.03 -	1.19	1.53 -	2.54	2.07	1.56	1.88	2.24	1.61	1.21	12
m³/s	13	1.33	1.13	1.04	1.26	1.60	2.50	2.01	1.51	1.86	2.15	1.61	1.23	13
	14	1.28	1.12	1.04	1.27	1.67	2.60	1.93	1.54	1.79	2.06	1.58	1.21	14
	15	1.28	1.11	1.08	1.26	1.73	2.62	1.85	1.56	1.81	1.99	1.58	1.20	15
	16	1.27	1.10	1.12	1.27	1.80	2.80	1.79	1.53	1.80	1.97	1.58	1.23	16
	17	1.26	1.10	1.17	1.24	1.84	2.60	1.78	1.48	1.86	1.96	1.51	1.23	17
	18	1.26	1.09	1.26	1.23	2.15	2.64	1.81	1.47 -	1.88	1.94	1.40	1.19	18
	19	1.25	1.09	1.32	1.29	1.94	2.59	2.62	1.51	1.83	1.92	1.36	1.12	19
	20	1.25	1.08	1.46	1.32	1.95	2.48	2.04	2.05	1.81	1.92	1.35	1.18	20
	21	1.28	1.08	1.39	1.27	2.27	2.43	1.95	2.07	1.78	1.92	1.40	1.16	21
	22	1.26	1.08	1.29	1.24	2.76	2.37	1.89	2.26	1.78	1.91	1.37	1.17	22
	23	1.24	1.08	1.33	1.22	3.25	2.26	1.84	2.86 +	1.77	1.90	1.33	1.16	23
	24	1.23	1.08	1.35	1.22	2.91	2.26	1.90	2.28	1.75	1.89	1.32 -	1.16	24
+Maximum	25	1.19	1.07	1.51 +	1.29	2.93	2.37	1.89	2.17	1.75	1.87	1.34	1.15	25
Massimo	26	1.14	1.07	1.36	1.28	3.41	2.30	1.80	2.10	1.73	1.85	1.35	1.12	26
	27	1.12	1.07	1.32	1.30	3.91	2.22	1.74	2.08	1.76	1.83	1.35	1.12	27
- Minimum	28	1.10	1.06 -	1.32	1.34	4.59	2.15 -	1.69	2.12	1.72	1.81	1.33	1.12	28
Minimo	29	1.08 -		1.28	1.42	4.85	2.28	1.66 -	2.03	1.74	1.79	1.34	1.07	29
	30	1.08 -		1.28	1.57 +	5.15 +	2.36	1.67	2.04	1.69 -	1.77	1.33	0.97 -	30
	31	1.12		1.26		4.86		1.75	2.02		1.74		1.06	31
Monatsmittel	Moyenne mensuelle													
Media mensile	1.28	1.10 -	1.18	1.24	2.53	2.79 +	2.02	1.84	1.84	2.11	1.53	1.20	m ³ /s	
Maximum/Massimo	Spitze/Pointe/Punta													
Datum/Date/Data	1.49	1.26 -	2.11	1.83	5.99 +	5.02	4.18	4.02	2.65	3.62	1.93	1.77	m ³ /s	
	2.	1. 18.	20.	30.	29.	1.	19.	23.	2.	3.	6.	1.		
Jahresmittel/Moyenne annuelle/Media annua	1.73 m ³ /s													
<p>— Ganglinie der Tagesmittel / Hydrogramme des moyennes journalières / Andamento delle medie giornalieri</p> <p>--- Dauerlinie der Tagesmittel (erreicht oder überschritten) / Courbe des valeurs classées moyennes journalières (atteints ou dépassés) / Curva di durata delle medie giornalieri (raggiunte o sorpassate)</p> <p>► Jahresmittel / Moyenne annuelle / Media annua</p>														
Periode/Période/Periodo 1995 - 2005 (11 Jahre/années/anni)														
Monatsmittel	Moyenne mensuelle													
Media mensile	1.25	1.11 -	1.15	1.44	3.99	6.01 +	4.44	3.11	2.48	2.66	2.30	1.59	m ³ /s	
Maximum/Massimo	Spitze/Pointe/Punta													
Jahr/Année/Anno	2.20	1.70 -	3.10	5.30	13.2	17.3 +	15.3	12.4	16.2	15.5	13.1	3.30	m ³ /s	
	2001	2001	2002	2003	2001	1997	2000	2001	1999	2000	2002	2000		
Min./Tagesmitt./Moy. jour./Media giorno	Jahr/Année/Anno													
Année/Anno	0.78	0.69	0.66	0.63 -	0.95	2.15 +	1.66	1.47	1.30	1.20	1.14	0.92	m ³ /s	
	2003	1996	1996	1996	1996	2005	2005	2005	2003	2003	2003	1995		
Grösstes Jahresmittel	Moyenne annuelle la plus grande													
La più grande media annua	4.04 (2001) m ³ /s													
Mittlerer Abfluss	Débit moyen													
Portata media	2.63 m ³ /s													
Kleinstes Jahresmittel	Moyenne annuelle la plus petite													
La più piccola media annua	1.73 (2005) m ³ /s													
Dauer der Abflüsse (erreicht oder überschritten) / Débits classés (atteints ou dépassés) / Durata delle portate (raggiunte o sorpassate)														
Tage/Jours/Giorni	1	3	6	9	18	36	55	73	91	114	137	160		
2005	5.15	4.85	4.16	3.82	2.86	2.59	2.28	2.12	1.96	1.88	1.79	1.73	m ³ /s	
1995 - 2005	10.8	9.56	8.66	7.94	6.72	5.46	4.60	3.82	3.28	2.80	2.47	2.18	m ³ /s	
Tage/Jours/Giorni	182	205	228	251	274	292	310	329	347	356	362	365		
2005	1.61	1.42	1.34	1.28	1.24	1.18	1.14	1.11	1.07	1.04	1.03	0.97	m ³ /s	
1995 - 2005	1.90	1.72	1.54	1.39	1.28	1.20	1.13	1.06	0.94	0.89	0.79	0.66	m ³ /s	

11. Niederschlags- und Abflussdaten

Abfluss Rom - Müstair LH 2617														
Débit	Koordinaten Coordonnées 830800 / 168700 Coordinate		Höhe Altitude 1236 m ü.M. Altitudine		Fläche Surface 129.7 km ² Superficie		Mittlere Höhe Altitude moyenne 2187 m ü.M. Altitudine media		Vergletscherung Extension glacier 0.12 % Ghiacciaio					
2006	Jan./Janv. Genn.	Febr./Févr. Febbr.	März/Mars Marzo	April/Avril Aprile	Mai/Mai Maggio	Juni/Juin Giugno	Juli/Juillet Luglio	Aug./Août Agosto	Sept./Sept. Sett.	Okt./Oct. Ott.	Nov./Nov. Nov.	Dez./Déc. Dic.		
1	1.10 +	0.96 +	0.86	1.19	1.83	3.97	3.79	2.31	2.02	1.72	1.67 +	1.36	1	
2	1.08	0.95	0.86	1.24	1.82 -	3.64	3.50	2.22	2.00	1.71	1.56	1.33	2	
3	1.07	0.94	0.87	1.20	1.95	3.37	3.35	2.84 +	1.99	1.85	1.55	1.32	3	
4	1.07	0.94	0.88	1.14	2.20	3.19	3.15	2.45	1.93	2.29 +	1.53	1.32	4	
5	1.06	0.93	0.89	1.13	2.21	2.99	3.05	2.32	1.86	1.98	1.57	1.31	5	
Tagesmittel														
6	1.06	0.93	0.85	1.07	2.19	2.83	3.20	2.28	1.82	1.87	1.58	1.40	6	
7	1.05	0.94	0.87	1.06 -	2.23	2.68	3.49	2.20	1.99	1.86	1.57	1.41	7	
Moyenne journalière														
8	1.04	0.94	0.85	1.08	2.33	2.58 -	3.53	2.19	2.20 +	1.82	1.55	1.40	8	
Media giornaliera														
9	1.03	0.93	0.89	1.15	2.67	2.61	3.92 +	2.20	1.95	1.79	1.56	1.45 +	9	
10	1.03	0.93	0.88	1.26	2.46	2.76	3.41	2.16	1.90	1.78	1.53	1.33	10	
	11	1.02	0.92	0.87	1.21	2.44	2.97	3.26	2.08	1.85	1.76	1.52	1.27	11
	12	1.01	0.89	0.85	1.10	2.48	3.31	3.21	2.11	1.84	1.75	1.53	1.29	12
m³/s														
	13	1.00	0.90	0.81 -	1.08	2.64	3.72	3.14	2.05	1.81	1.75	1.51	1.31	13
	14	1.00	0.91	0.85	1.18	2.93	4.03	2.89	2.03	1.82	1.74	1.56	1.30	14
	15	0.99	0.91	0.86	1.23	2.85	4.30	2.75	1.96 -	2.03	1.74	1.58	1.28	15
	16	0.99	0.92	0.86	1.39	3.42	4.83	2.62	2.03	1.98	1.72	1.55	1.27	16
	17	0.98	0.92	0.86	1.43	4.37	4.94	2.51	1.99	2.17	1.70	1.51	1.26	17
	18	0.97	0.92	0.86	1.40	4.81	5.36	2.44	2.68	1.97	1.70	1.56	1.25	18
	19	0.97	0.93	0.86	1.42	6.54 +	5.43 +	2.33	2.27	1.92	1.69	1.52	1.26	19
	20	0.97	0.94	0.87	1.46	5.86	5.33	2.25	2.22	1.88	1.72	1.53	1.24	20
	21	0.97	0.92	0.87	1.53	5.36	5.18	2.26	2.19	1.86	1.67	1.51	1.22	21
	22	0.97	0.92	0.89	1.63	5.22	5.08	2.31	2.15	1.84	1.66 -	1.53	1.19	22
	23	0.96	0.91	0.89	1.81	5.32	4.77	2.32	2.12	1.81	1.67	1.50	1.17	23
	24	0.95	0.91	0.89	1.90	4.89	4.66	2.29	2.11	1.80	2.20	1.51	1.17	24
	25	0.96	0.92	0.90	1.90	4.31	4.86	2.25	2.10	1.82	1.84	1.47	1.19	25
+Maximum														
Massimo	26	0.95	0.91	0.99	2.01	4.27	4.66	2.32	2.09	1.79	1.77	1.45	1.18	26
	27	0.96	0.89	1.07	2.46 +	5.09	4.30	2.24	2.10	1.75	1.74	1.43	1.17	27
- Minimum														
Minimo	28	0.95	0.85 -	1.16	2.44	5.35	4.44	2.29	2.10	1.75	1.73	1.41	1.15	28
	29	0.95	1.09	2.24	5.56	4.74	2.35	2.16	1.76	1.73	1.40	1.14	29	
	30	0.95	1.04	1.97	5.04	4.16	2.25	2.05	1.73 -	1.70	1.39 -	1.15	30	
	31	0.93 -	1.23 +		4.44		2.17 -	2.07		1.69		1.13 -	31	
Monatsmittel														
Moyenne mensuelle	1.00	0.92	0.91 -	1.48	3.71	4.06 +	2.80	2.19	1.89	1.78	1.52	1.27	m ³ /s	
Media mensile														
Maximum/Massimo	1.19 -	1.21	1.59	2.70	7.47 +	6.23	4.50	3.77	3.98	3.02	1.85	1.58	m ³ /s	
Spitze/Pointe/Punta	1.	23.	31.	27.	19.	18.	9.	3.	7.	24.	4.	6.		
Datum/Date/Data														
Jahresmittel/Moyenne annuelle/Media annua	1.97 m ³ /s													
<p> — Ganglinie der Tagesmittel Hydrogramme des moyennes journalières Andamento delle medie giornaliere </p> <p> - - - Dauerlinie der Tagesmittel (erreicht oder überschritten) Courbe des valeurs classées moyennes journalières (atteints ou dépassés) Curva di durata delle medie giornaliere (raggiunte o sorpassate) </p> <p style="text-align: right;"> ▶ Jahresmittel Moyenne annuelle Media annua </p>														
Periode/Période/Periodo 1995 - 2006 (12 Jahre/années/anni)														
Monatsmittel	1.23	1.09 -	1.13	1.45	3.97	5.84 +	4.30	3.03	2.43	2.59	2.23	1.57	m ³ /s	
Moyenne mensuelle														
Media mensile														
Maximum/Massimo	2.20	1.70 -	3.10	5.30	13.2	17.3 +	15.3	12.4	16.2	15.5	13.1	3.30	m ³ /s	
Spitze/Pointe/Punta	2001	2001	2002	2003	2001	1997	2000	2001	1999	2000	2002	2000		
Jahr/Année/Anno														
Min./Tagesmitt./Moy.	0.78	0.69	0.66	0.63 -	0.95	2.15 +	1.66	1.47	1.30	1.20	1.14	0.92	m ³ /s	
Jahr./Media giorno	2003	1996	1996	1996	1996	2005	2005	2005	2003	2003	2003	1995		
Jahr./Année/Anno														
Grösstes Jahresmittel	4.04 (2001) m ³ /s			Mittlerer Abfluss				2.58 m ³ /s				Kleinstes Jahresmittel		
Moy. annuelle la plus grande				Débit moyen								Moy. annuelle la plus petite		
La più grande media annua				Portata media								La più piccola media annua		
Dauer der Abflüsse	(erreicht oder überschritten)			Débits classés				(atteints ou dépassés)				Durata delle portate		
												(raggiunte o sorpassate)		
Tage/Jours/Giorni	1	3	6	9	18	36	55	73	91	114	137	160		
2006	6.54	5.56	5.36	5.32	4.83	3.72	2.93	2.45	2.25	2.11	1.96	1.82	m ³ /s	
1995 - 2006	10.7	9.52	8.45	7.88	6.61	5.32	4.47	3.69	3.19	2.70	2.40	2.13	m ³ /s	
Tage/Jours/Giorni	182	205	228	251	274	292	310	329	347	356	362	365		
2006	1.72	1.55	1.40	1.24	1.10	1.01	0.95	0.92	0.88	0.86	0.85	0.81	m ³ /s	
1995 - 2006	1.88	1.71	1.53	1.38	1.27	1.19	1.12	1.04	0.93	0.88	0.79	0.66	m ³ /s	

11. Niederschlags- und Abflussdaten

Abfluss		Rom - Müstair										LH 2617				
Débit		Koordinaten Coordonnées 830800 / 168700 Coordinate			Höhe Altitude 1236 m ü.M. Altitudine		Fläche Surface 129.7 km ² Superficie		Mittlere Höhe Altitude moyenne 2187 m ü.M. Altitudine media		Vergletscherung Extension glacier 0.12 % Ghiacciaio					
Portata																
2007		Jan./Janv. Genn.	Febr./Févr. Febr.	März/Mars Marzo	April/Avril Aprile	Mai/Mai Maggio	Juni/Juin Giugno	Juli/Juillet Luglio	Aug./Août Agosto	Sept./Sept. Sett.	Okt./Oct. Ott.	Nov./Nov. Nov.	Dez./Déc. Dic.			
1		1.13	1.02	0.95	0.93 -	1.59	2.80	1.93	1.57	2.10	1.72	1.54 +	1.24 +	1		
2		1.13	1.03 +	0.96	0.94	1.57	3.24	2.95	1.57	2.06	1.74	1.51	1.23	2		
3		1.12	1.01	0.95	0.96	1.51	3.03	2.65	1.75	2.05	1.72	1.50	1.24 +	3		
Tagesmittel		4	1.12	1.03 +	0.94	0.97	1.56	3.22	3.37	1.56	2.07	2.05 +	1.48	4		
5		1.10	1.03 +	0.94	0.95	1.53	3.74	2.86	1.51	2.07	1.99	1.48	1.22	5		
Moyenne journalière		6	1.10	1.02	0.93	0.98	1.50	3.89	2.69	1.46 -	2.02	1.95	1.45	6		
7		1.10	1.01	1.01	1.01	1.42	3.93 +	2.48	1.50	1.93	1.96	1.43	1.21	7		
Media giornaliera		8	1.10	1.00	0.98	1.01	1.40 -	3.86	2.37	1.76	1.90	1.97	1.43	8		
9		1.09	1.02	0.96	1.02	1.47	3.78	3.78	2.13	1.86	1.96	1.42	1.20	9		
10		1.09	1.00	0.95	1.03	1.45	3.68	4.15 +	1.75	1.85	1.94	1.42	1.18	10		
11		1.08	0.99	0.93	1.06	1.52	3.80	3.56	1.64	1.81	1.93	1.45	1.17	11		
12		1.06	0.99	0.93	1.12	1.63	3.89	3.36	1.59	1.81	1.88	1.43	1.16	12		
m³/s		13	1.06	0.99	0.93	1.20	1.75	3.66	3.25	1.66	1.77	1.86	1.36	13		
14		1.06	0.99	0.94	1.26	2.08	3.62	3.05	1.61	1.72	1.86	1.39	1.05	14		
15		1.07	0.96	0.96	1.31	2.24	3.90	2.92	1.52	1.64	1.84	1.37	1.01	15		
16		1.06	0.97	0.96	1.37	1.84	3.91	2.77	1.48	1.65	1.80	1.31	0.97	16		
17		1.06	0.98	0.96	1.42	1.77	3.45	2.62	2.05	1.65	1.78	1.31	0.94	17		
18		1.05	0.96	0.98	1.43	1.64	3.34	2.45	1.72	2.14 +	1.76	1.31	0.91	18		
19		1.27 +	0.95	1.06 +	1.39	1.47	3.17	2.29	1.71	1.83	1.73	1.30	0.90 -	19		
20		1.14	0.96	1.00	1.41	1.52	3.07	2.21	1.90	1.72	1.69	1.29	0.90 -	20		
21		1.09	0.95	0.97	1.43	1.74	3.14	2.11	2.11	1.65	1.65	1.29	0.92	21		
22		1.07	0.94	0.93	1.46	2.04	3.11	2.10	1.91	1.60	1.65	1.31	0.94	22		
23		1.10	0.94	0.95	1.49	2.05	3.07	2.00	1.94	1.57	1.69	1.42	0.97	23		
24		1.05	0.94	0.95	1.57	2.21	2.74	2.09	1.83	1.56 -	1.67	1.48	0.98	24		
25		1.03	0.94	0.94	1.61	2.47	2.57	1.93	1.76	1.63	1.64	1.36	0.98	25		
+Maximum Massimo		26	1.05	0.93	1.74	2.72	2.60	1.79	1.71	2.00	1.65	1.29	0.98	26		
27		1.02 -	0.93 -	0.94	1.75 +	3.10	2.51	1.73	1.71	1.91	1.61	1.28	0.96	27		
- Minimum Minimo		28	1.04	0.93	1.69	3.11 +	2.35	1.72	1.87	1.93	1.60	1.29	0.96	28		
29		1.05	0.92 -	1.66	3.09	2.20	1.70	2.04	1.74	1.58	1.27	0.96	0.96	29		
30		1.05	0.94	1.68	2.65	2.07 -	1.67	2.73 +	1.71	1.57	1.23 -	0.95	0.95	30		
31		1.05	0.97	2.58	2.58	2.07 -	1.61 -	2.22	1.55 -	1.55 -	0.95	0.95	0.95	31		
Monatsmittel Moyenne mensuelle Media mensile		1.08	0.98	0.95 -	1.30	1.94	3.24 +	2.52	1.78	1.83	1.77	1.38	1.06	m ³ /s		
Maximum/Massimo Spitze/Pointe/Punta Datum/Date/Data		1.54 19.	1.12 - 4.	1.16 7.	1.93 27.	4.10 28.	4.96 15.	6.08 + 9.	3.51 30.	2.97 18.	2.32 4.	1.90 7.	1.38 4.	m ³ /s		
Jahresmittel/Moyenne annuelle/Media annua		1.66 m ³ /s														
<p>— Ganglinie der Tagesmittel - - - Dauerlinie der Tagesmittel (erreicht oder überschritten) Hydrogramme des moyennes journalières Courbe des valeurs classées moyennes journalières (atteints ou dépassés) Andamento delle medie giornaliere Curva di durate delle medie giornaliere (raggiunte o sorpassate)</p> <p>► Jahresmittel Moyenne annuelle Media annua</p> <p>Tage Jours Giorni</p>																
Periode/Période/Periodo		1995 - 2007										(13 Jahre/années/anni)				
Monatsmittel Moyenne mensuelle Media mensile		1.22	1.09 -	1.12	1.44	3.81	5.64 +	4.17	2.93	2.39	2.53	2.17	1.53	m ³ /s		
Maximum/Massimo Spitze/Point/Punta Jahr/Année/Anno		2.20 2001	1.70 - 2001	3.10 2002	5.30 2003	13.2 2001	17.3 + 1997	15.3 2000	12.4 2001	16.2 1999	15.5 2000	13.1 2002	3.30 2000	m ³ /s		
Min./Tagesmitt./Moy. jour./Media giorno Jahr/Année/Anno		0.78 2003	0.69 1996	0.66 1996	0.63 - 1996	0.95 1996	2.07 + 2007	1.61 2007	1.46 2007	1.30 2003	1.20 2003	1.14 2003	0.90 2007	m ³ /s		
Grösstes Jahresmittel Moy. annuelle la plus grande La più grande media annua		4.04 (2001) m ³ /s					Mittlerer Abfluss Débit moyen Portata media			2.51 m ³ /s						
Kleinstes Jahresmittel Moy. annuelle la plus petite La più piccola media annua												1.66 (2007) m ³ /s				
Dauer der Abflüsse (erreicht oder überschritten)		Débits classés (atteints ou dépassés)												Durata delle portate (raggiunte o sorpassate)		
Tage/Jours/Giorni		1	3	6	9	18	36	55	73	91	114	137	160			
2007		4.15	3.91	3.89	3.78	3.36	2.80	2.24	2.05	1.93	1.76	1.70	1.61	m ³ /s		
1995 - 2007		10.6	9.38	8.32	7.75	6.52	5.16	4.21	3.56	3.08	2.62	2.29	2.03	m ³ /s		
Tage/Jours/Giorni		182	205	228	251	274	292	310	329	347	356	362	365			
2007		1.51	1.42	1.28	1.12	1.05	1.01	0.97	0.95	0.94	0.93	0.92	0.90	m ³ /s		
1995 - 2007		1.82	1.67	1.50	1.36	1.25	1.17	1.10	1.02	0.93	0.89	0.80	0.66	m ³ /s		

11.2. Tektonik

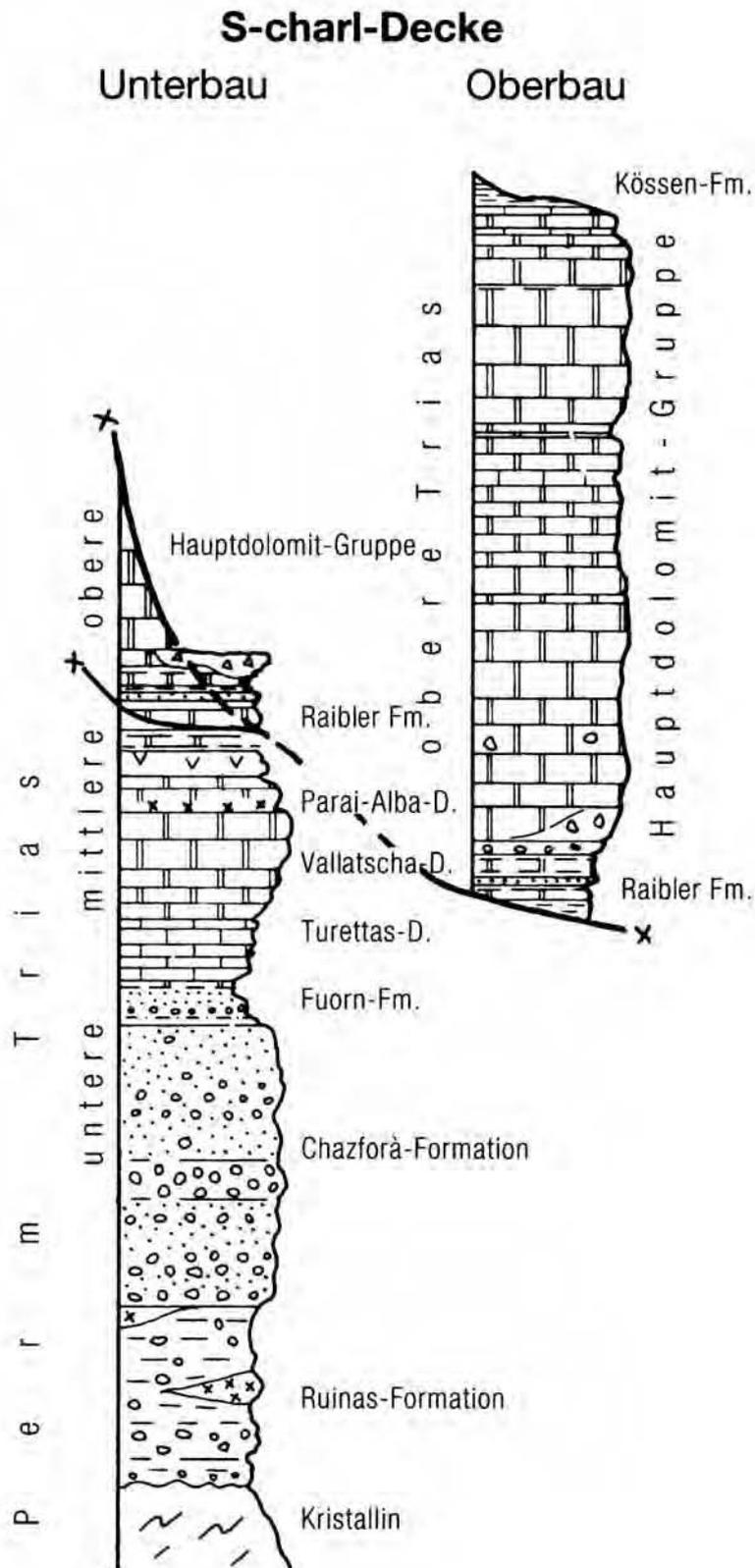


Abbildung 11.1.
 Stratigraphisches Sammelprofil der
 S-Charl-Decke
 QUELLE: TRÜMPY ET AL. (1997)

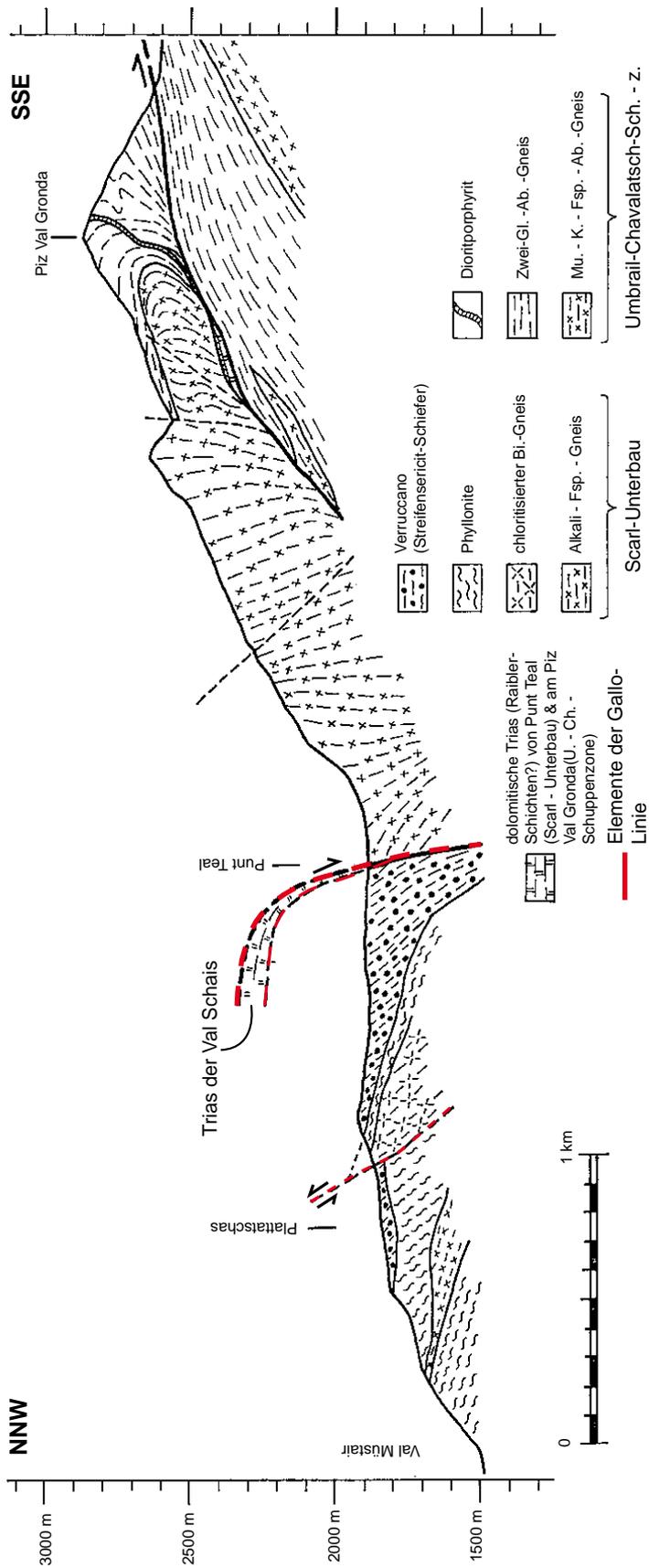


Abbildung 11.2.
 Profil der östlichen Tabete der Val
 Maira
 MODIFIZIERT NACH SCHMID (1973)

11.3. Wasserproben

Name	Koordinaten (CH1903) [± 10 m]			Chlorid	Nitrat	Sulfat	Natrium	Kalium	Magnesium	Calcium	Beschreibung
	X	Y	Z								
SCH1	830305	164270	2145	106.1	-	1319161.2	647.9	1227.1	52140.3	530127	Lockergesteinsquelle in der Val Schais
SCH2	830492	164467	2100	1309	532.8	1380736	2049.2	933	33356.5	532655.6	Lockergesteinsquelle in der Val Schais
SCH3	830489	164430	2110	1125.6	733.5	1293806.6	1982.9	690.2	30511.9	509048	Lockergesteinsquelle in der Val Schais
SCH4	830081	164594	1915	1311.9	918.6	1313238.9	877.9	1895.4	39409.1	509886	Westliche Hauptrinne der Val Schais; bei Bodenprobe 5
SCH5	830156	164808	1900	485.3	811.8	1258564.4	1512	836.9	40559.6	466650.3	Lockergesteinsquelle in der Val Schais
SCH6	830128	164705	1895	984.2	505.8	1317265	1793.4	1586.1	50989	518294.6	Rinne in der östlichen Val Schais
SCH7	830076	164816	1875	429.8	1217.8	659141.9	844	6179.4	45197.4	263627.2	Lockergesteinsquelle in der Val Schais
SCH8	829879	164735	1775	571.4	799.9	1267452.2	1271.2	1222.1	34940.2	492216.1	aus Hauptrinne der Val Schais, oberhalb erster Betonstufe
SCH9	829433	165069	1510	519.3	-	1133173.8	1131.2	1163.6	34451.6	456696.2	aus Hauptrinne der Val Schais, bei der Brücke der Passstrasse
SCH10	828575	165883	1340	895.1	911.3	300196.5	903.1	605.2	20353.3	132305.7	aus der Muranzina, kurz vor Einmündung in den Rom
Pras1	830677	163233	2180	142.2	85.7	14169.2	1436.1	475.9	1147.7	15606.2	Lockergesteinsquelle nahe Alp Prasüras
MUR1	830002	162832	1880	27257.5	1183.1	25258.2	2378.2	586.8	6447.9	27054.1	Fließgewässer
ROM1	828535	165934	1340	1094	618	212701	527.5	790.5	23388.1	88819	Fließgewässer
ROM2	828653	165954	1340	1139.5	470.4	213045.3	654	715.2	22877.5	92933.8	Fließgewässer

Tabelle 11.2.
Wasserproben

11.4. Bodenproben

Nummer	Koordinaten (CH1903) [± 10 m]			Beschreibung
	X	Y	Z	
1	830329	164149	2215	trockene Rinne wenig unterhalb Anrissrand; Gips
2	830487	164242	2210	Rinne direkt unter Felswand; Gips und wenig Chloritschiefer
3	830315	164260	2145	wasserführende Rinne, Gips
4	830374	164561	2040	wasserführende Rinne; Rauhwacke > Gips
5	830081	164594	1915	Ausfällung des letzten Hochwassers, v. a. Gips; an Verruccano-Felswand
6	830081	164612	1920	sehr feuchtes Feinmaterial, praktisch fließend; Gips und Verruccano
7	830071	164802	1890	künstlich Umgelagertes Material direkt an stabilisierter Rinne; Rauhwacke und Verruccano
8	830189	164686	1890	sehr feuchtes Feinmaterial, praktisch fließend; Gips und Verruccano
9	829433	165069	1525	untere Val Schais, abgelagertes Murgangmaterial; Lithologisches Mélange

*Tabelle 11.3.
Bodenproben*

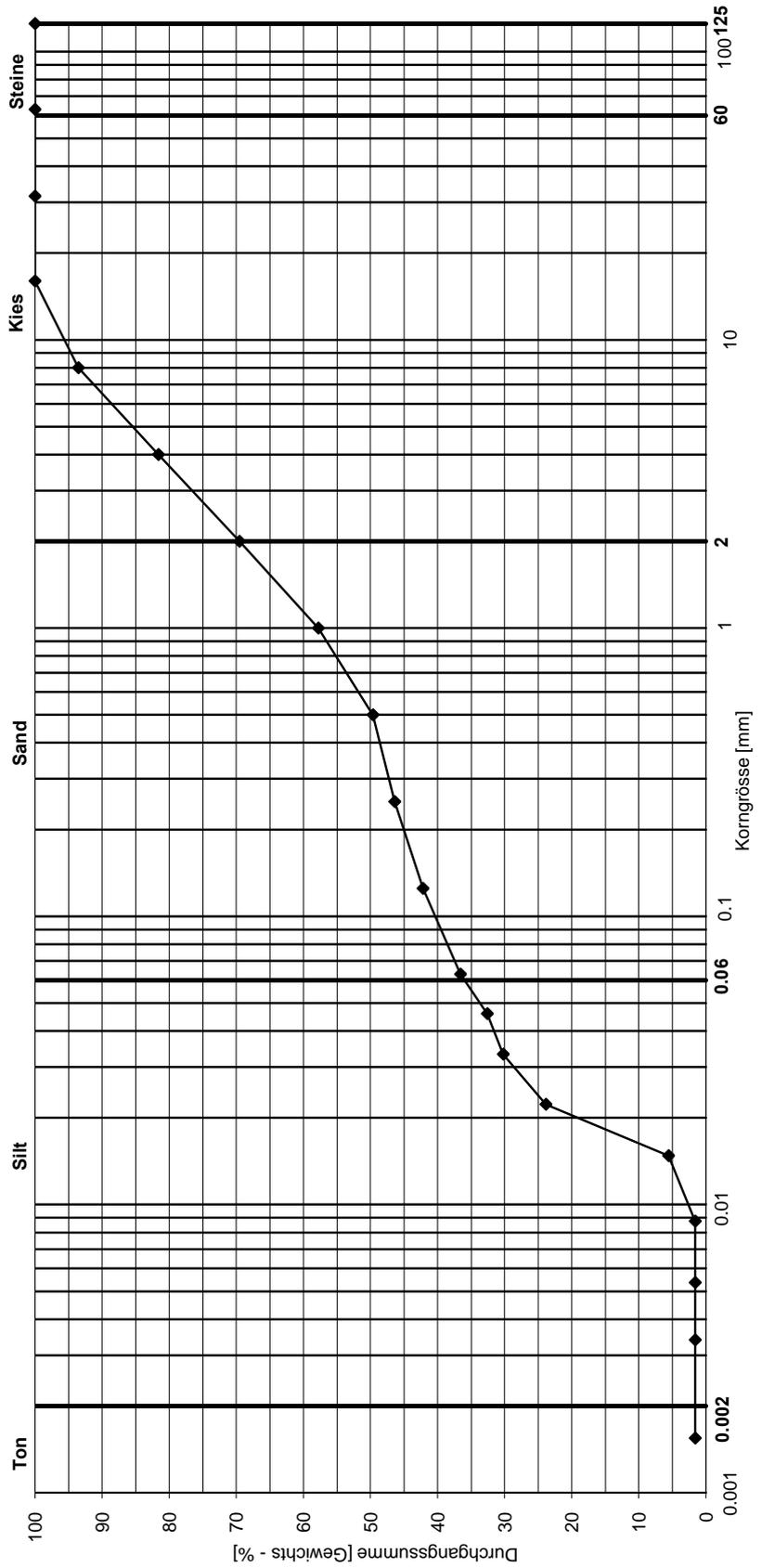
Kornverteilungsdiagramm und Plastizitätszahlen

Probe 1

Symbol und Gruppenname
USCS-Klassifikation
SN 670 004+2aNA

SM

Körngröße bei 50% (D_{50}) [mm]	0.5	Durchgang bei 2.00 mm [%]	70
Körngröße bei 60% (D_{60}) [mm]	1.2	Durchgang bei 0.06 mm [%]	36
Körngröße bei 30% (D_{30}) [mm]	0.03	w_L [%]	21.4
Körngröße bei 10% (D_{10}) [mm]	0.018	w_P [%]	24.56
C _{cd} 0.042	C _{ud}	I_P [%]	-3.16



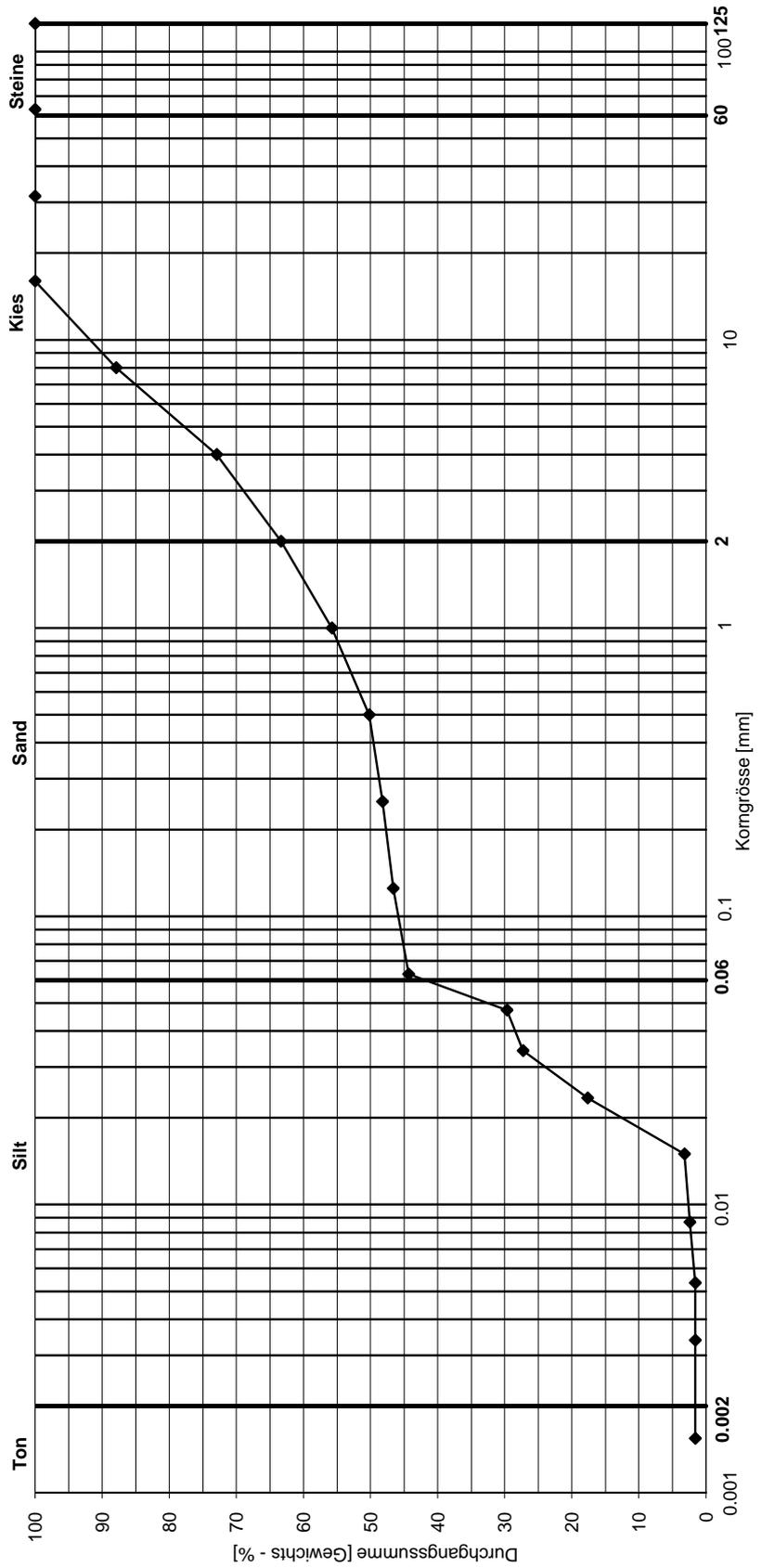
Kornverteilungsdiagramm und Plastizitätszahlen

Probe 2

Symbol und Gruppenname
 USCS-Klassifikation
 SN 670 004-2aNA

GM

Körngröße bei 50% (D_{50}) [mm]	0.5	Durchgang bei 2.00 mm [%]	63
Körngröße bei 60% (D_{60}) [mm]	1.5	Durchgang bei 0.06 mm [%]	38
Körngröße bei 30% (D_{30}) [mm]	0.047	w_L [%]	-
Körngröße bei 10% (D_{10}) [mm]	0.018	w_P [%]	-
C _{cd} 0.082	C _{ud} 83.33	I_P [%]	-



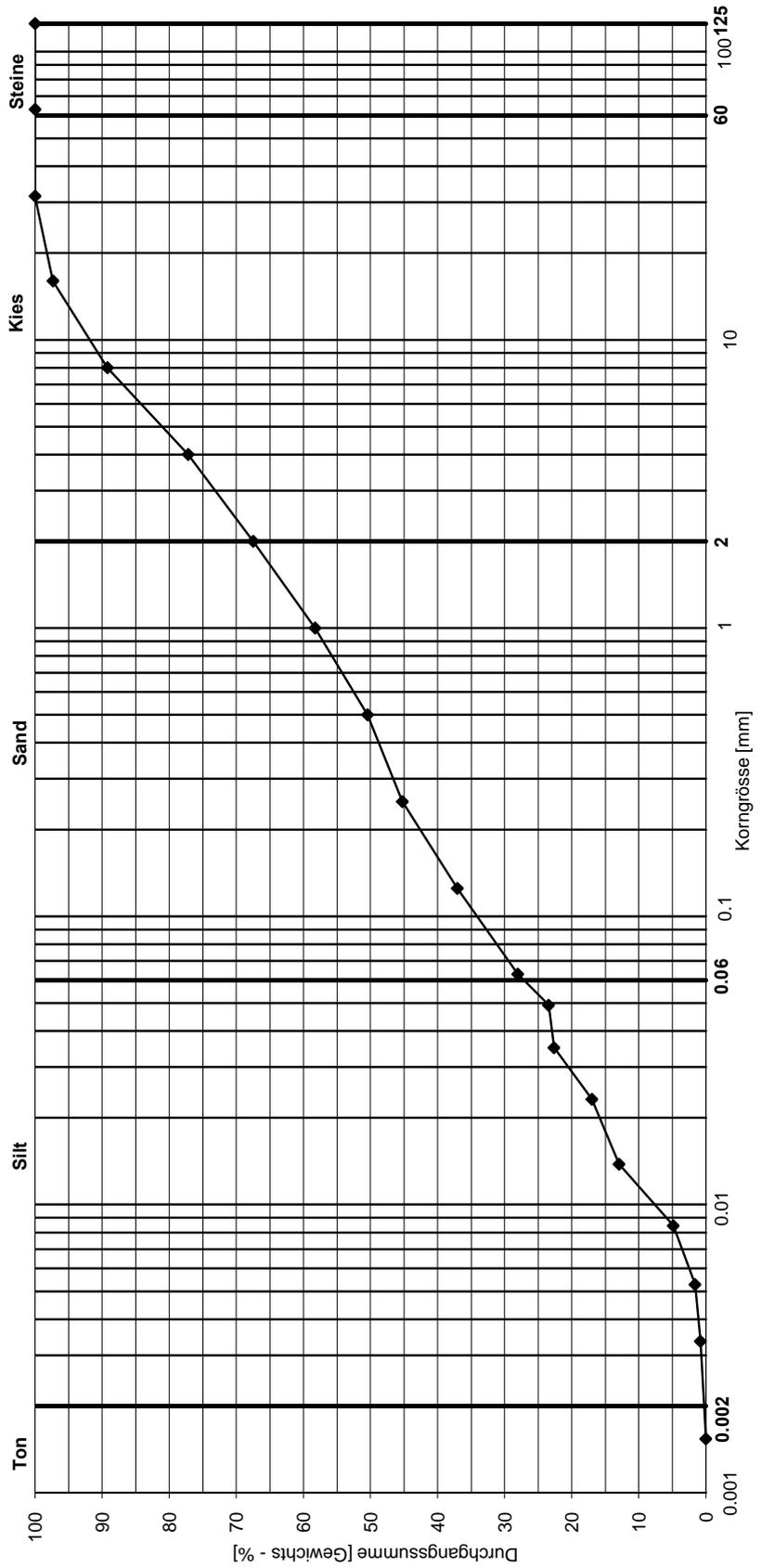
Kornverteilungsdiagramm und Plastizitätszahlen

Probe 3

Symbol und Gruppenname
 USCS-Klassifikation
 SN 670 004+2aNA

SM

Körngröße bei 50% (D_{50}) [mm]	0.5	Durchgang bei 2.00 mm [%]	67
Körngröße bei 60% (D_{60}) [mm]	1.2	Durchgang bei 0.06 mm [%]	28
Körngröße bei 30% (D_{30}) [mm]	0.07	w_L [%]	24.95
Körngröße bei 10% (D_{10}) [mm]	0.012	w_P [%]	14.46
C _{cd} 0.340	Cud	I_P [%]	10.49



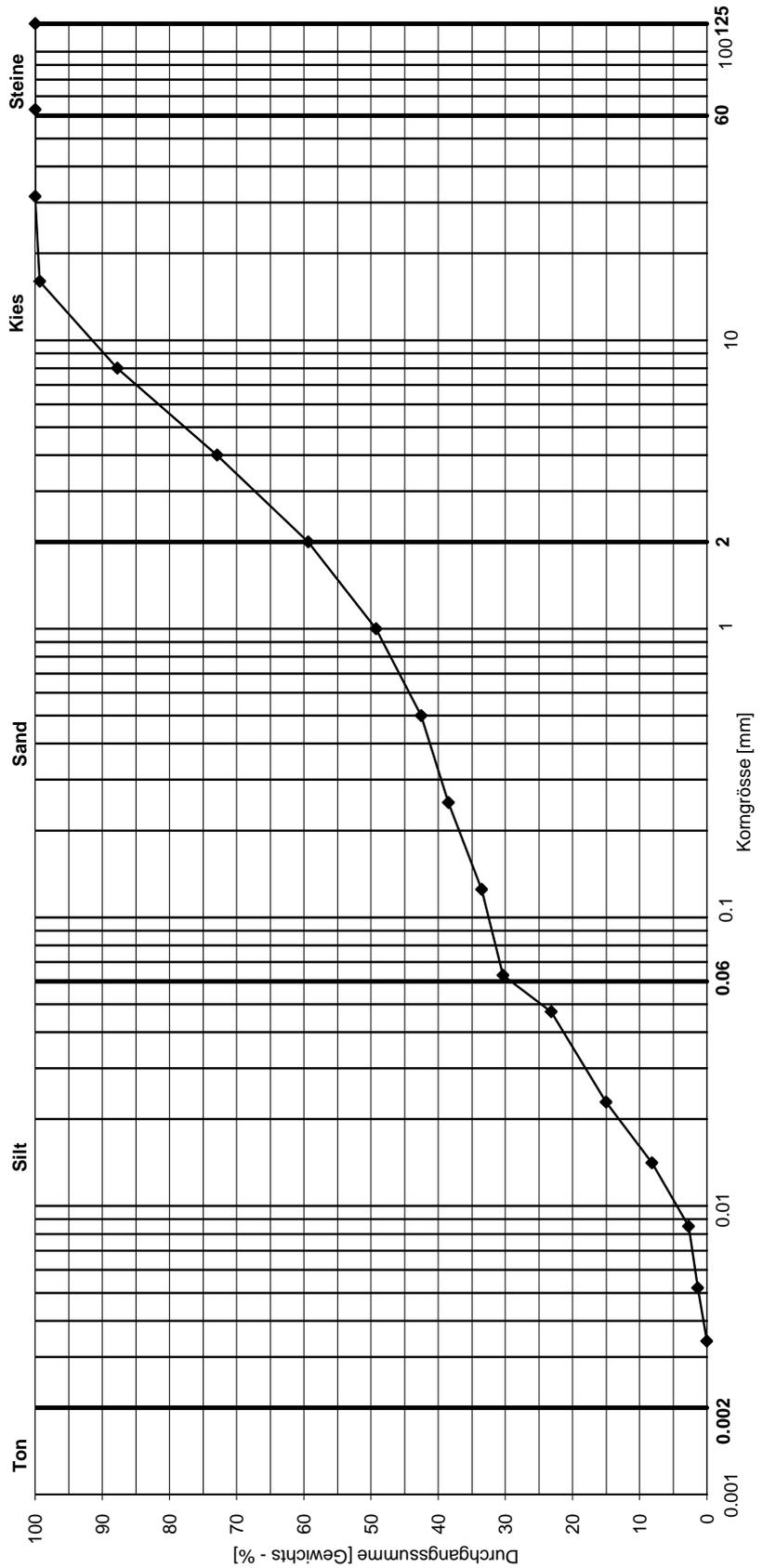
Kornverteilungsdiagramm und Plastizitätszahlen

Probe 4

Symbol und Gruppenname
USCS-Klassifikation
SN 670 004-2aNA

GM

Körngröße bei 50% (D_{50}) [mm]	1	Durchgang bei 2.00 mm [%]	60
Körngröße bei 60% (D_{60}) [mm]	2	Durchgang bei 0.06 mm [%]	30
Körngröße bei 30% (D_{30}) [mm]	0.06	w_L [%]	20.53
Körngröße bei 10% (D_{10}) [mm]	0.016	w_P [%]	14.04
C _{cd} 0.113	C _{ud}	I_P [%]	6.49



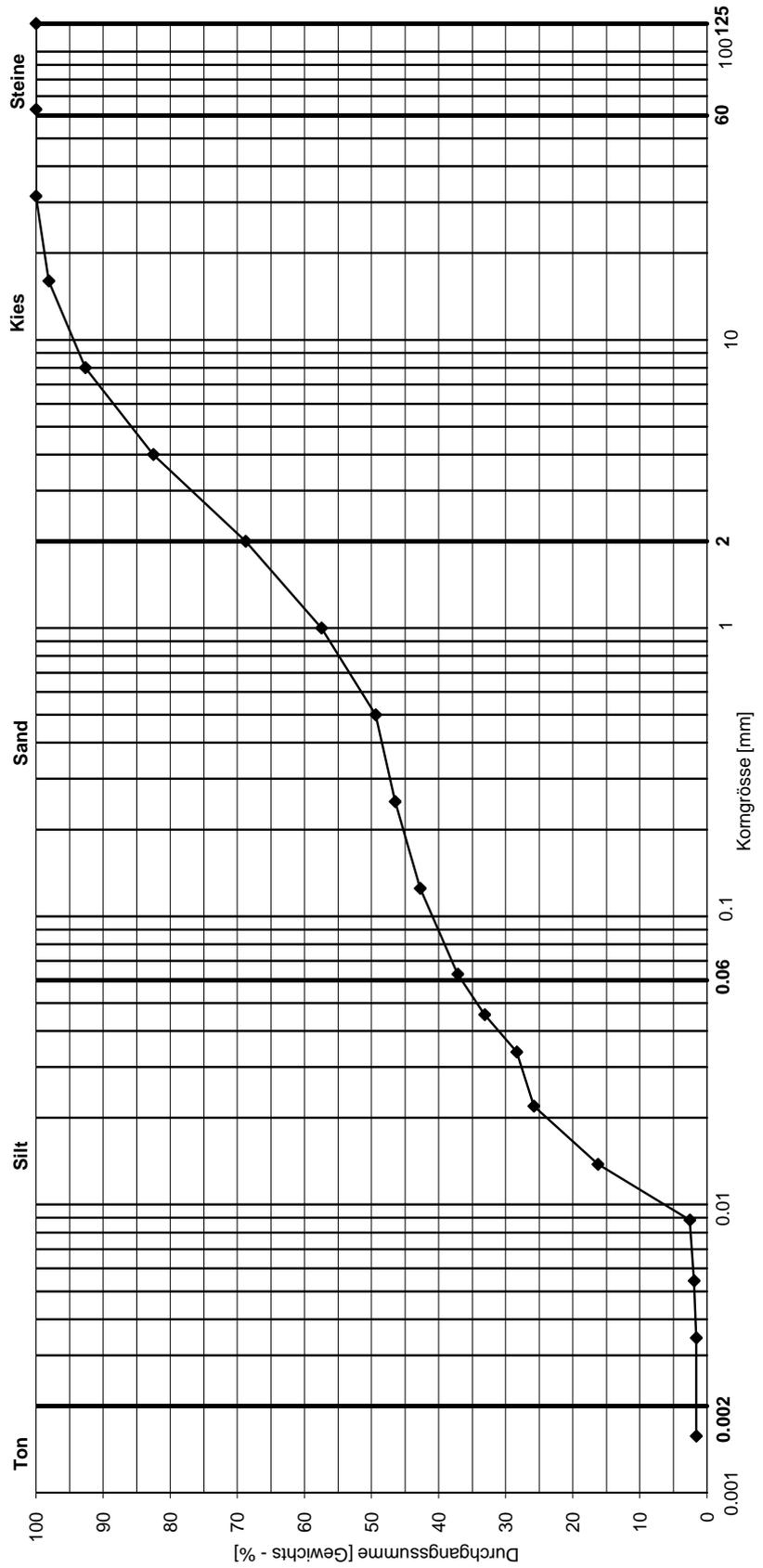
Kornverteilungsdiagramm und Plastizitätszahlen

Probe 5

Symbol und Gruppenname
 USCS-Klassifikation
 SN 670 004-2aNA

SM

Körngröße bei 50% (D_{50}) [mm]	0.5	Durchgang bei 2.00 mm [%]	69
Körngröße bei 60% (D_{60}) [mm]	1.2	Durchgang bei 0.06 mm [%]	37
Körngröße bei 30% (D_{30}) [mm]	0.037	w_L [%]	37.86
Körngröße bei 10% (D_{10}) [mm]	0.013	w_P [%]	24.1
C _{cd} 0.088	C _{ud} 92.31	I_P [%]	13.76



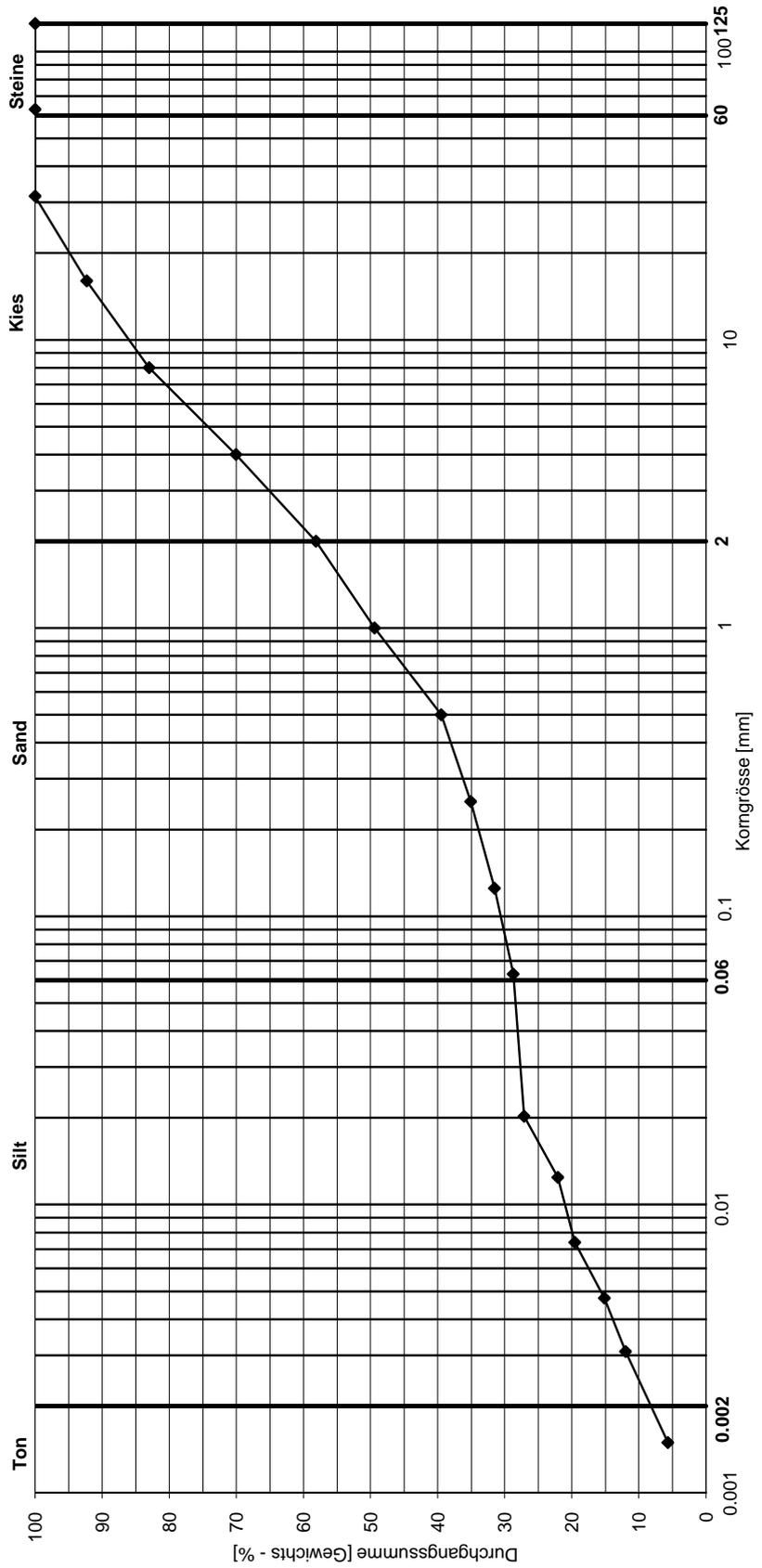
Kornverteilungsdiagramm und Plastizitätszahlen

Probe 6

Symbol und Gruppenname
USCS-Klassifikation
SN 670 004-2aNA

GM

Körngröße bei 50% (D_{50}) [mm]	1	Durchgang bei 2.00 mm [%]	58
Körngröße bei 60% (D_{60}) [mm]	2.2	Durchgang bei 0.06 mm [%]	28
Körngröße bei 30% (D_{30}) [mm]	0.08	w_L [%]	22.78
Körngröße bei 10% (D_{10}) [mm]	0.0025	w_P [%]	17.59
C _{cd} 1.164	C _{ud} 880	I_P [%]	5.19



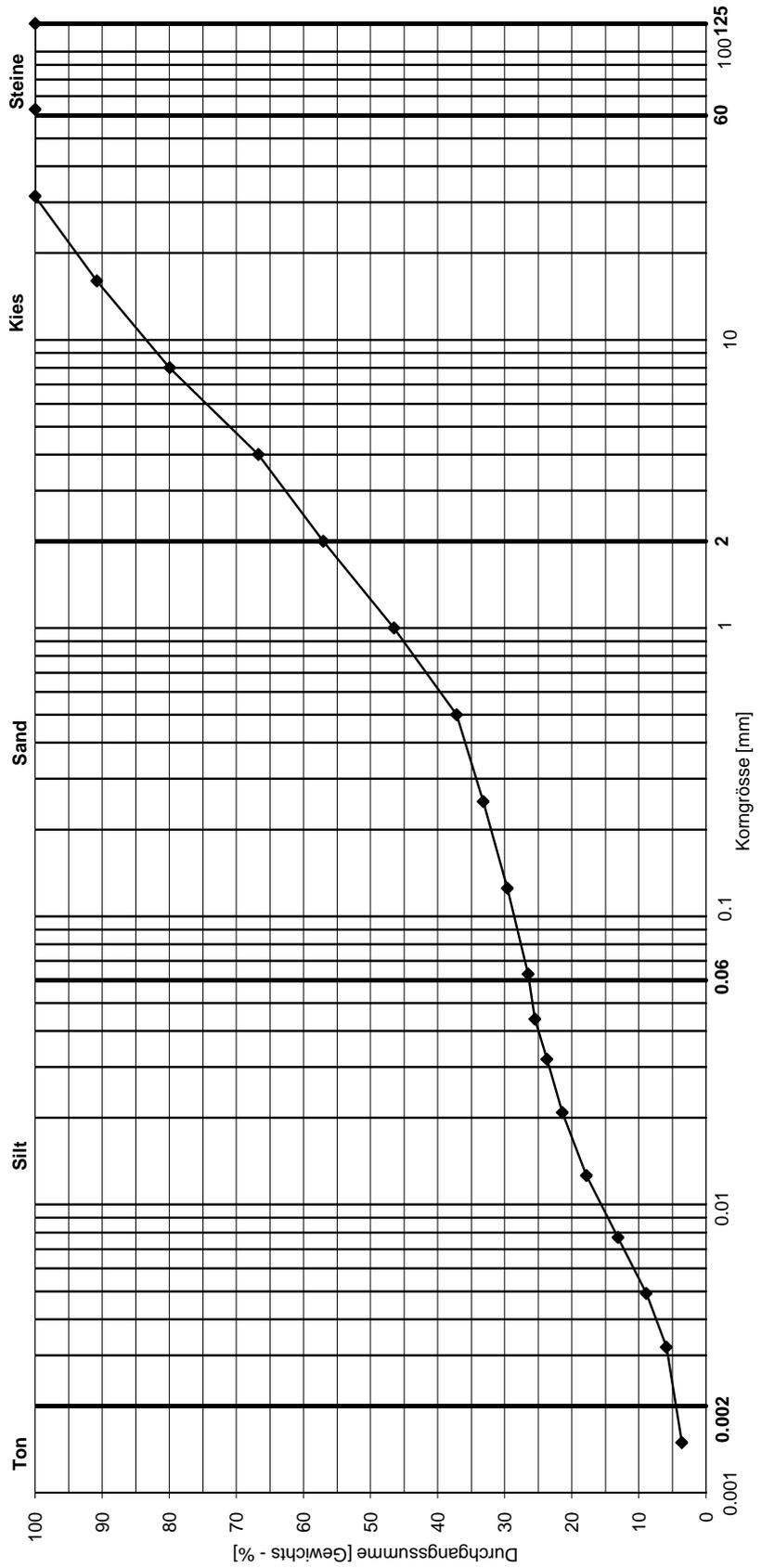
Kornverteilungsdiagramm und Plastizitätszahlen

Probe 7

Symbol und Gruppenname
USCS-Klassifikation
SN 670 004-2aNA

GM

Körngröße bei 50% (D_{50}) [mm]	1.3	Durchgang bei 2.00 mm [%]	57
Körngröße bei 60% (D_{60}) [mm]	2.5	Durchgang bei 0.06 mm [%]	26
Körngröße bei 30% (D_{30}) [mm]	0.125	w_L [%]	22.72
Körngröße bei 10% (D_{10}) [mm]	0.005	w_P [%]	23.81
C _{cd} 1.25..... C _{ud}	500	I_P [%]	-1.09



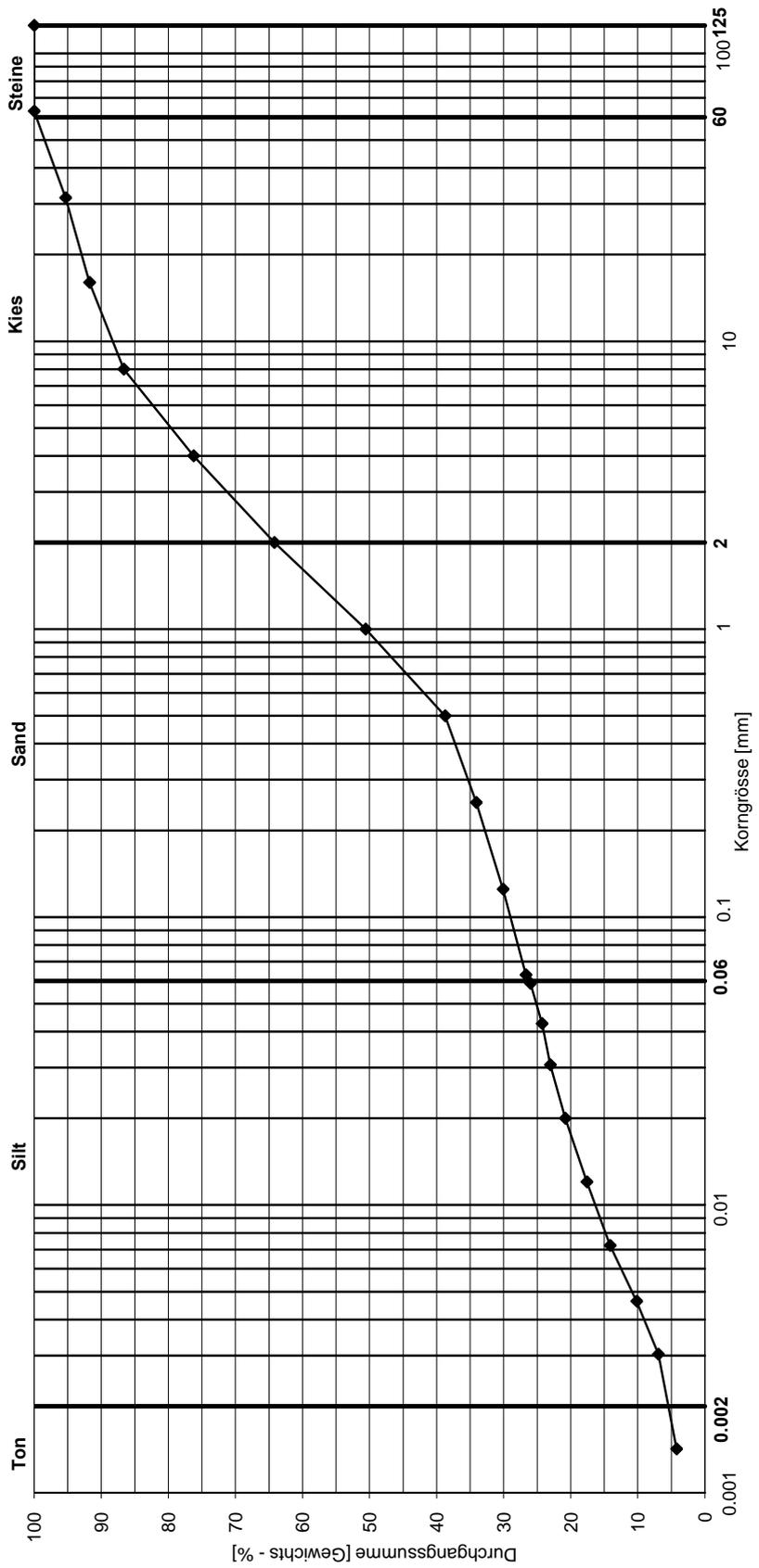
Kornverteilungsdiagramm und Plastizitätszahlen

Probe 8

Symbol und Gruppenname
USCS-Klassifikation
SN 670 004+2aNA

SC

Körngröße bei 50% (D_{50}) [mm]	1	Durchgang bei 2.00 mm [%]	64
Körngröße bei 60% (D_{60}) [mm]	1.7	Durchgang bei 0.06 mm [%]	26
Körngröße bei 30% (D_{30}) [mm]	0.125	w_L [%]	36.69
Körngröße bei 10% (D_{10}) [mm]	0.0037	w_P [%]	13.42
C _{cd} 2.484	Cud	I_P [%]	23.27



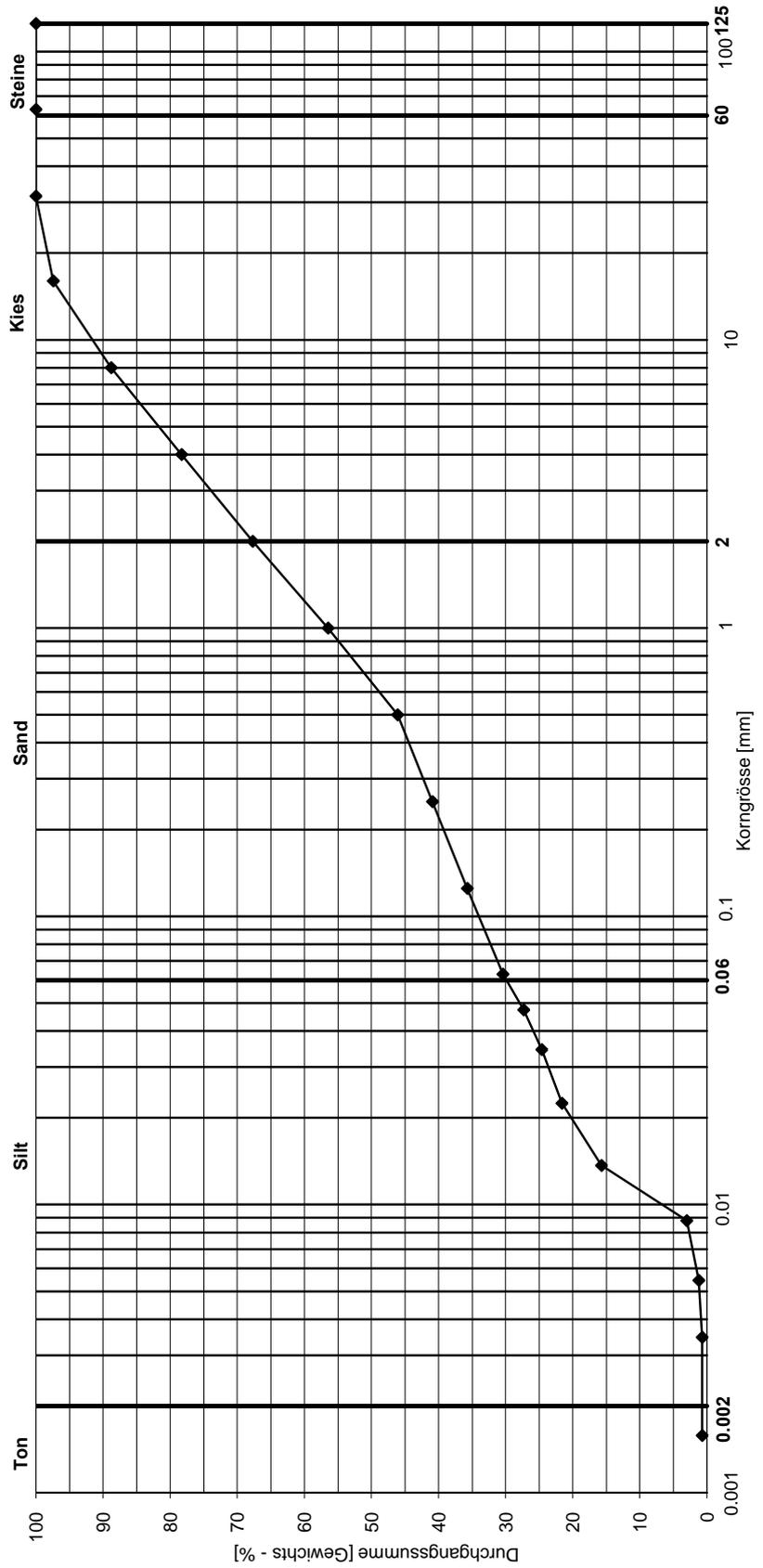
Kornverteilungsdiagramm und Plastizitätszahlen

Probe 9

Symbol und Gruppenname
USCS-Klassifikation
SN 670 004+2aNA

SM

Körngröße bei 50% (D_{50}) [mm]	0.64	Durchgang bei 2.00 mm [%]	67
Körngröße bei 60% (D_{60}) [mm]	1.3	Durchgang bei 0.06 mm [%]	30
Körngröße bei 30% (D_{30}) [mm]	0.06	w_L [%]	29.11
Körngröße bei 10% (D_{10}) [mm]	0.012	w_P [%]	19.32
C _{cd}	0.231	I_P [%]	9.79



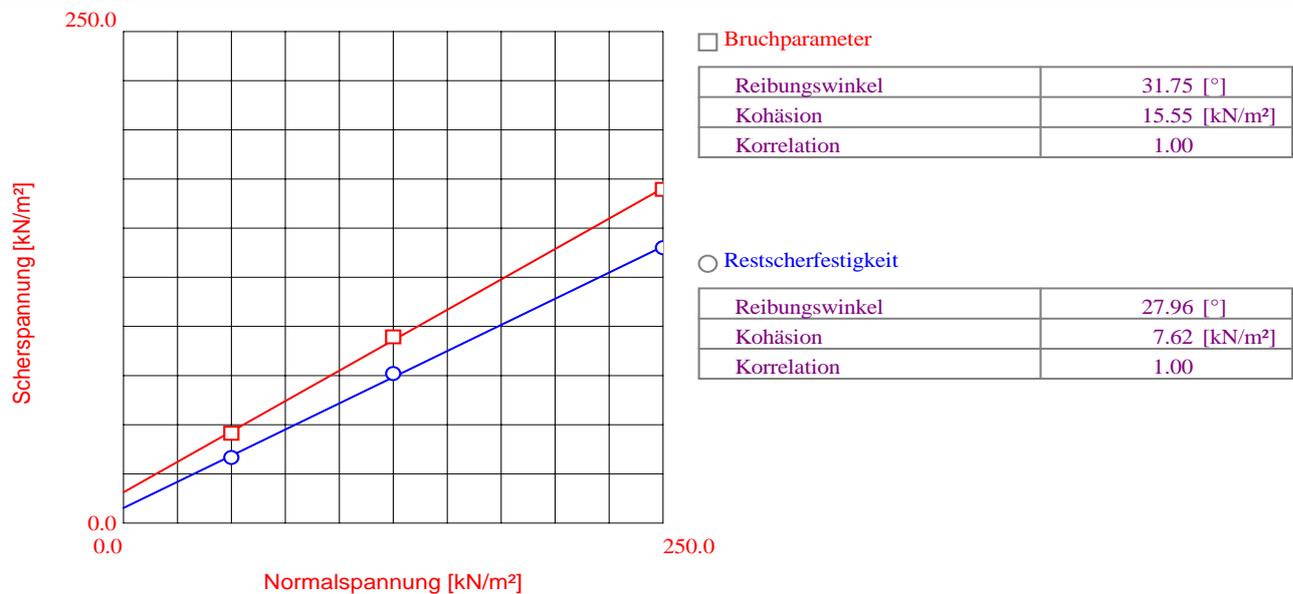
Institut für Geologie Dorian Gaar Baltzerstrasse 1+3 3012 Bern	Name SCH5 ProjNr. Anlage Projekt Masterarbeit Dorian Gaar
---	--

DIREKTER SCHERVERSUCH

Kreisringscherversuch

Schergeraden

Entnahmestelle Val Schais, 830081/164594
 Entnahmetiefe Oberfläche
 Entnahmetag 3. Oktober 2007
 Bodenart Ausfällung Suspensionsfracht
 Einbau 11.4.2008
 ausgeführt am 11.4. - 26.4.2008
 ausgeführt von Dorian Gaar



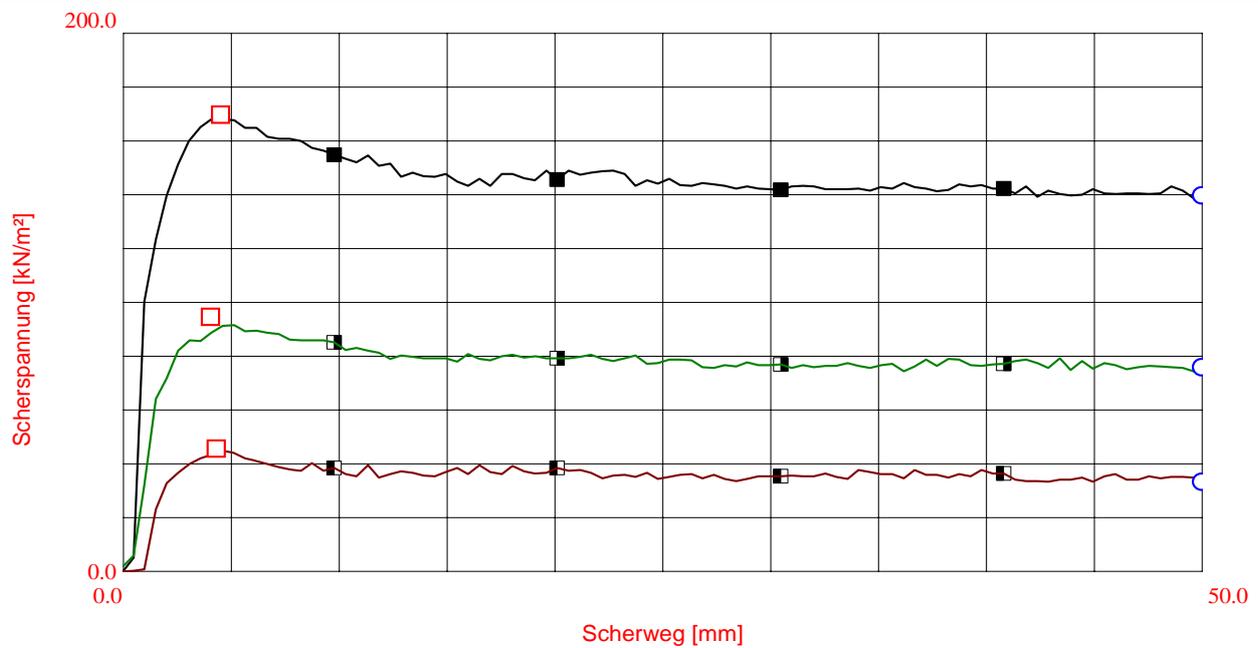
Nr.	Normalspannung kN/m ²		Bruchspannung kN/m ²	Bruchweg mm	Restsf-Spannung kN/m ²	Restsf-Weg mm
	Bruch	Restsf.				
3	250.0	250.0	169.64	4.51	139.70	50.00
1	50.0	50.0	45.51	4.32	33.10	50.00
2	125.0	125.0	94.43	4.04	75.69	50.00

Institut für Geologie
Dorian Gaar
Baltzerstrasse 1+3
3012 Bern

Name SCH5
ProjNr.
Anlage
Projekt Masterarbeit Dorian Gaar

DIREKTER SCHERVERSUCH Kreisringscherversuch Scherspannungs-Weg-Diagramm

Entnahmestelle Val Schais, 830081/164594
Entnahmetiefe Oberfläche
Entnahmetag 3. Oktober 2007
Bodenart Ausfällung Suspensionsfracht
Einbau 11.4.2008
ausgeführt am 11.4. - 26.4.2008
ausgeführt von Dorian Gaar



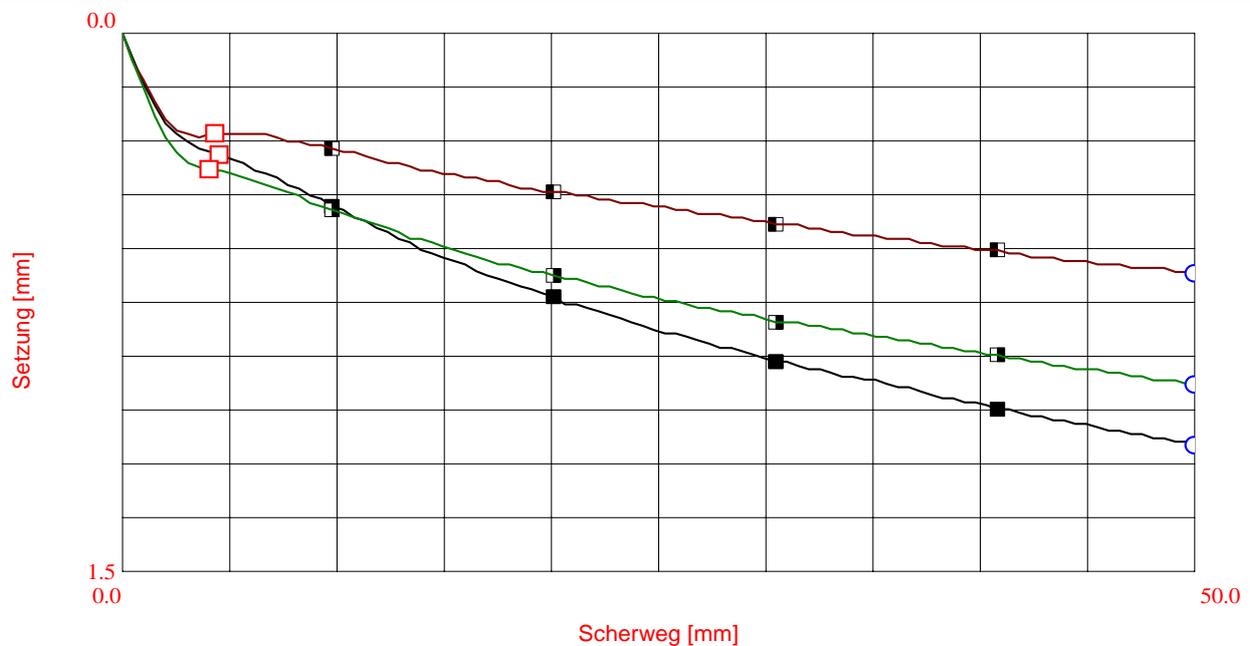
Nr.		Normalspannung kN/m ²		Bruchfläche cm ²	Bruchgeschw. mm/min	Restsf-Fläche cm ²	Restsf-Geschw. mm/min
		Bruch	Restsf.				
3	■	250.0	250.0	50.00	0.01000	50.00	0.01000
1	□	50.0	50.0	50.00	0.01000	50.00	0.01000
2	□	125.0	125.0	50.00	0.01000	50.00	0.01000

Institut für Geologie
Dorian Gaar
Baltzerstrasse 1+3
3012 Bern

Name SCH5
ProjNr.
Anlage
Projekt Masterarbeit Dorian Gaar

DIREKTER SCHERVERSUCH Kreisringscherversuch Setzungs-Weg-Diagramm

Entnahmestelle Val Schais, 830081/164594
Entnahmetiefe Oberfläche
Entnahmetag 3. Oktober 2007
Bodenart Ausfällung Suspensionsfracht
Einbau 11.4.2008
ausgeführt am 11.4. - 26.4.2008
ausgeführt von Dorian Gaar



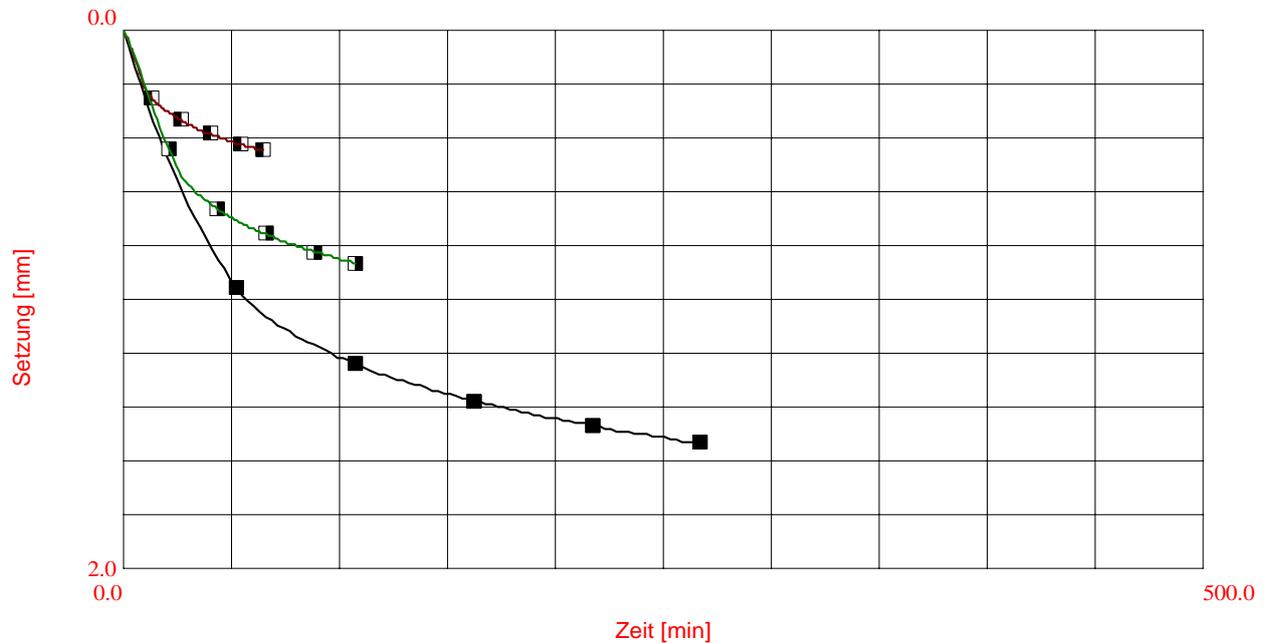
Nr.		Normalspannung kN/m ²		Setzung bei Bruch mm	Setzung bei Restsf. mm	Probenhöhe Scherbeginn mm	Maximale Setzung mm
		Bruch	Restsf.				
3	■	250.0	250.0	0.34	1.15	14.47	1.15
1	□	50.0	50.0	0.28	0.67	15.56	0.67
2	□	125.0	125.0	0.38	0.98	15.14	0.98

Institut für Geologie
Dorian Gaar
Baltzerstrasse 1+3
3012 Bern

Name SCH5
ProjNr.
Anlage
Projekt Masterarbeit Dorian Gaar

DIREKTER SCHERVERSUCH Kreisringscherversuch Konsolidierungs-Diagramm

Entnahmestelle Val Schais, 830081/164594
Entnahmetiefe Oberfläche
Entnahmetag 3. Oktober 2007
Bodenart Ausfällung Suspensionsfracht
Einbau 11.4.2008
ausgeführt am 11.4. - 26.4.2008
ausgeführt von Dorian Gaar



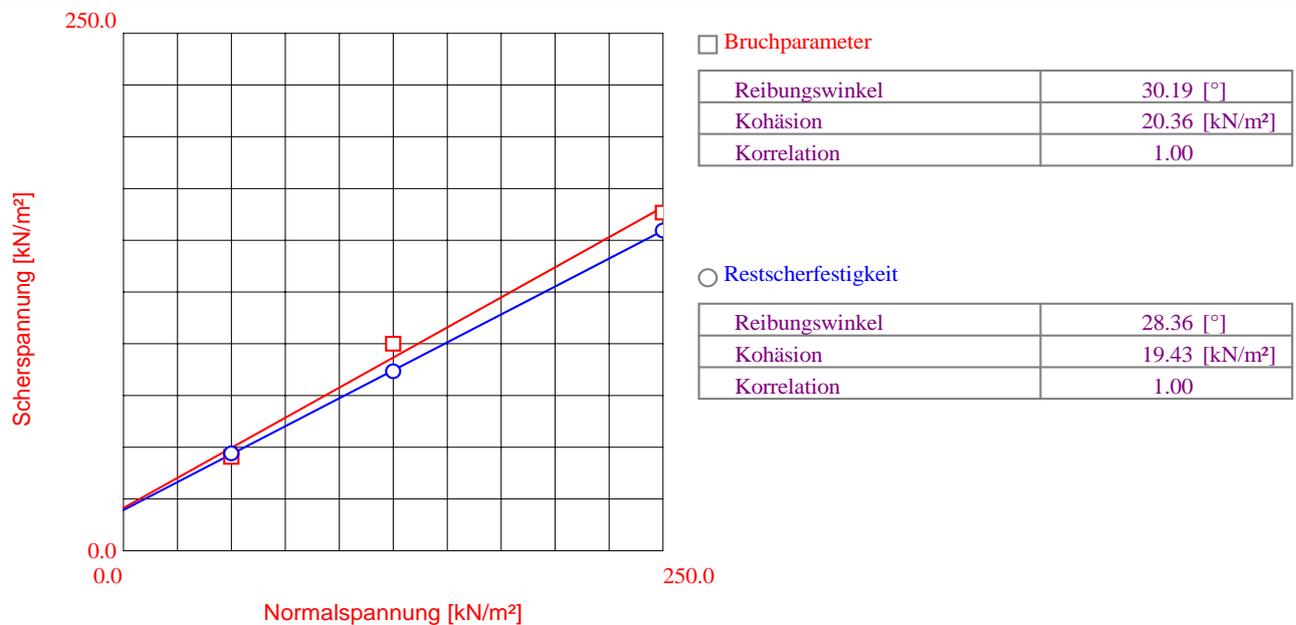
Nr.	Normalspannung kN/m²	Setzung mm	Konsolidierungsdauer min	Probenhöhe zu Beginn mm	Probenhöhe Ende mm
3 ■	250	1.53	260	16.00	14.47
1 □	50	0.44	62	16.00	15.56
2 □	125	0.86	104	16.00	15.14

Institut für Geologie
Dorian Gaar
Baltzerstrasse 1+3
3012 Bern

Name SCH7
ProjNr.
Anlage
Projekt Masterarbeit Dorian Gaar

DIREKTER SCHERVERSUCH Kreisringschersversuch Schergeraden

Entnahmestelle Val Schais, 830071/164802
Entnahmetiefe Oberfläche
Entnahmetag 3. Oktober 2007
Bodenart vorw. Verruccano
Einbau 26.4.08
ausgeführt am 26.4.08 bis 30.4.08
ausgeführt von Dorian Gaar



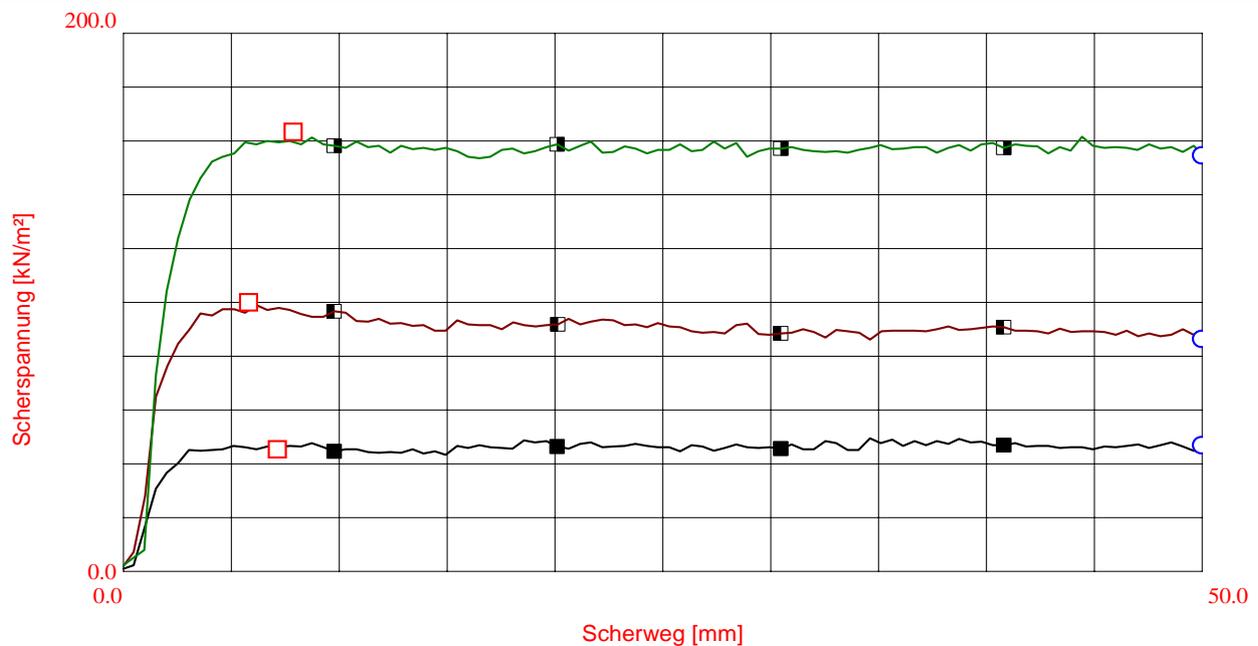
Nr.	Normalspannung kN/m ²		Bruchspannung kN/m ²	Bruchweg mm	Restsf-Spannung kN/m ²	Restsf-Weg mm
	Bruch	Restsf.				
1	50.0	50.0	45.27	7.15	46.73	50.00
2	125.0	125.0	99.79	5.81	86.40	50.00
3	250.0	250.0	163.31	7.87	154.55	50.00

Institut für Geologie
Dorian Gaar
Baltzerstrasse 1+3
3012 Bern

Name SCH7
ProjNr.
Anlage
Projekt Masterarbeit Dorian Gaar

DIREKTER SCHERVERSUCH Kreisringscherversuch Scherspannungs-Weg-Diagramm

Entnahmestelle Val Schais, 830071/164802
Entnahmetiefe Oberfläche
Entnahmetag 3. Oktober 2007
Bodenart vorw. Verruccano
Einbau 26.4.08
ausgeführt am 26.4.08 bis 30.4.08
ausgeführt von Dorian Gaar



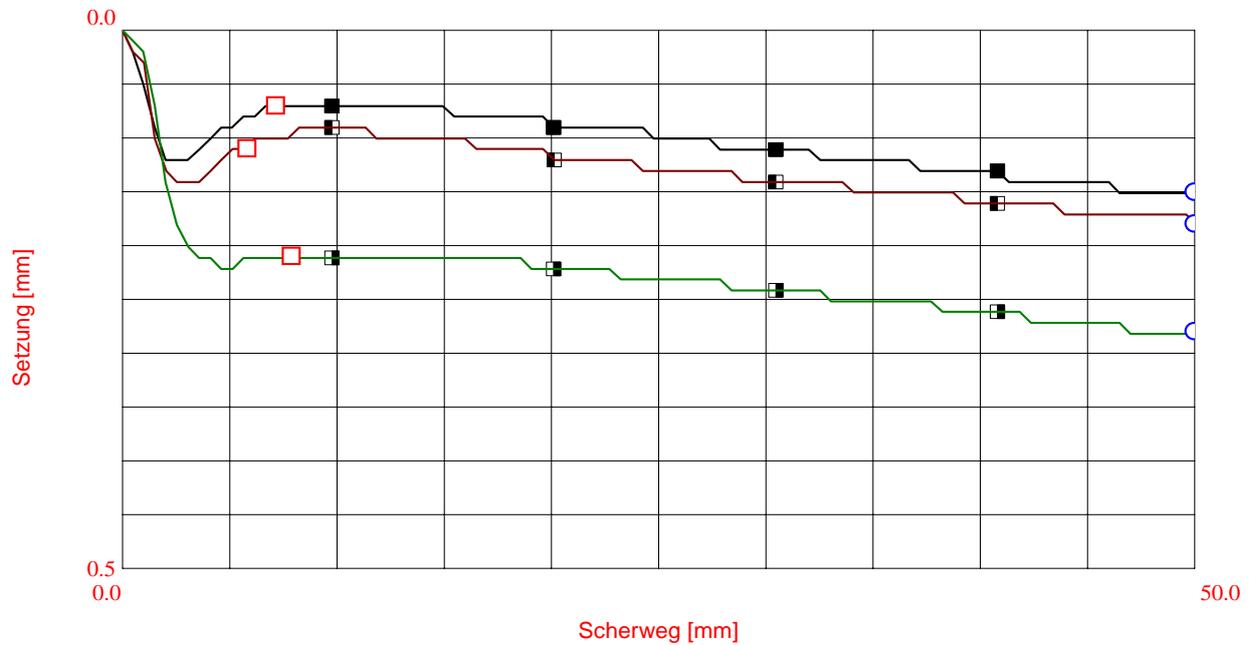
Nr.		Normalspannung kN/m ²		Bruchfläche cm ²	Bruchgeschw. mm/min	Restsf-Fläche cm ²	Restsf-Geschw. mm/min
		Bruch	Restsf.				
1	■	50.0	50.0	50.00	0.01000	50.00	0.01000
2	□	125.0	125.0	50.00	0.01000	50.00	0.01000
3	□	250.0	250.0	50.00	0.01000	50.00	0.01000

Institut für Geologie
Dorian Gaar
Baltzerstrasse 1+3
3012 Bern

Name SCH7
ProjNr.
Anlage
Projekt Masterarbeit Dorian Gaar

DIREKTER SCHERVERSUCH Kreisringscherversuch Setzungs-Weg-Diagramm

Entnahmestelle Val Schais, 830071/164802
Entnahmetiefe Oberfläche
Entnahmetag 3. Oktober 2007
Bodenart vorw. Verruccano
Einbau 26.4.08
ausgeführt am 26.4.08 bis 30.4.08
ausgeführt von Dorian Gaar



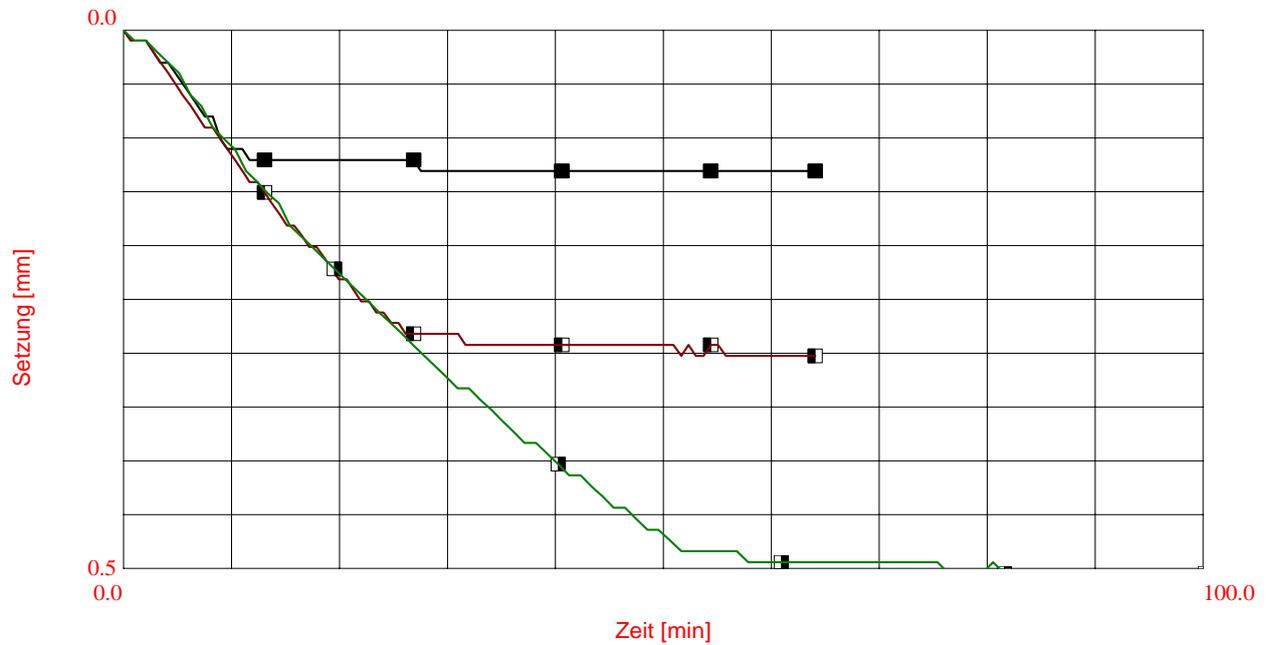
Nr.	Normalspannung kN/m ²		Setzung bei Bruch mm	Setzung bei Restsf. mm	Probenhöhe Scherbeginn mm	Maximale Setzung mm
	Bruch	Restsf.				
1	50.0	50.0	0.07	0.15	15.87	0.15
2	125.0	125.0	0.11	0.18	15.70	0.18
3	250.0	250.0	0.21	0.28	15.50	0.28

Institut für Geologie
Dorian Gaar
Baltzerstrasse 1+3
3012 Bern

Name SCH7
ProjNr.
Anlage
Projekt Masterarbeit Dorian Gaar

DIREKTER SCHERVERSUCH Kreisringscherversuch Konsolidierungs-Diagramm

Entnahmestelle Val Schais, 830071/164802
Entnahmetiefe Oberfläche
Entnahmetag 3. Oktober 2007
Bodenart vorw. Verrucano
Einbau 26.4.08
ausgeführt am 26.4.08 bis 30.4.08
ausgeführt von Dorian Gaar



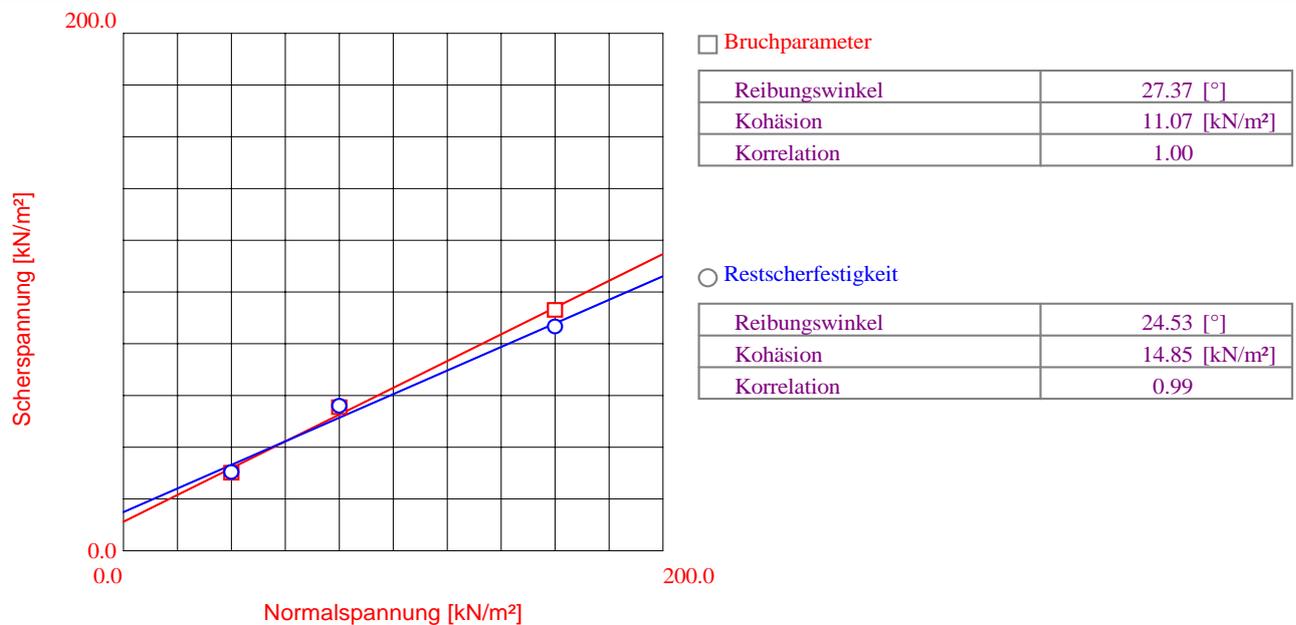
Nr.	Normalspannung kN/m ²	Setzung mm	Konsolidierungsdauer min	Probenhöhe zu Beginn mm	Probenhöhe Ende mm
1 ■	50	0.13	62	16.00	15.87
2 □	125	0.30	62	16.00	15.70
3 □	250	0.50	97	16.00	15.50

Institut für Geologie
Dorian Gaar
Baltzerstrasse 1+3
3012 Bern

Name SCH8
ProjNr.
Anlage
Projekt Masterarbeit Dorian Gaar

DIREKTER SCHERVERSUCH Kreisringschersversuch Schergeraden

Entnahmestelle Val Schais, 830189/164686
Entnahmetiefe Oberfläche
Entnahmetag 3. Oktober 2007
Bodenart Verruccano
Einbau 26.3.08
ausgeführt am 26.3.08 bis 11.4.08
ausgeführt von Dorian Gaar



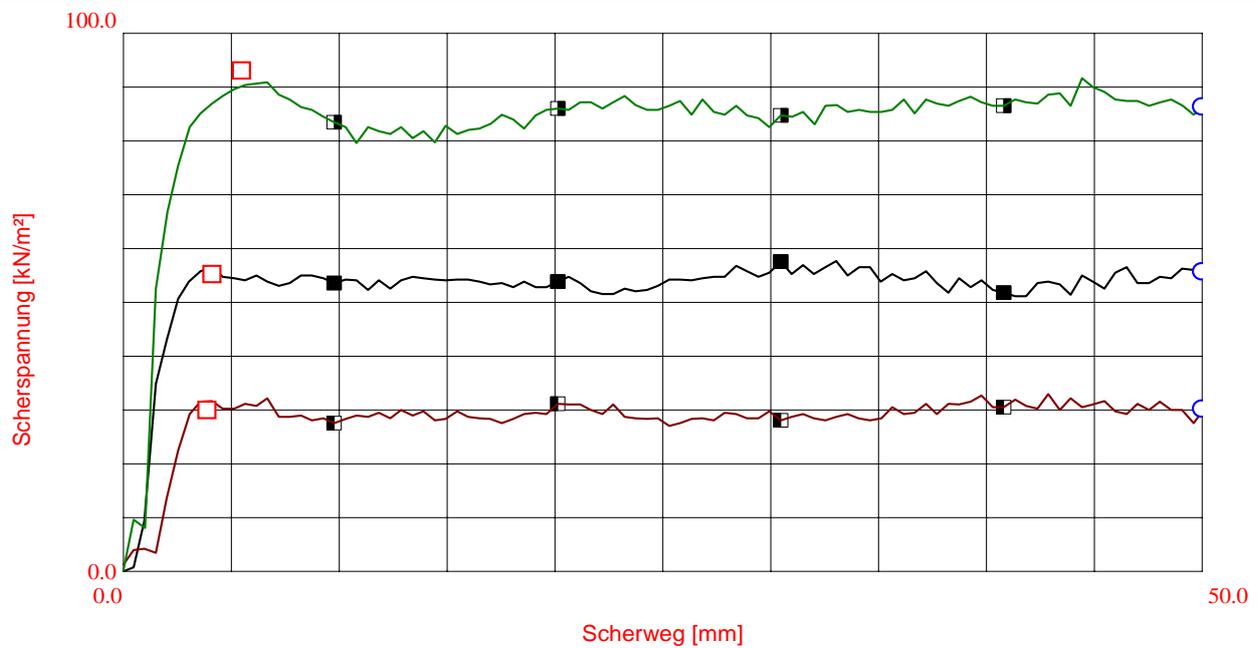
Nr.	Normalspannung kN/m²		Bruchspannung kN/m²	Bruchweg mm	Restsf-Spannung kN/m²	Restsf-Weg mm
	Bruch	Restsf.				
2	80.0	80.0	55.25	4.10	55.74	50.00
3	40.0	40.0	29.94	3.87	30.18	50.00
4	160.0	160.0	92.97	5.48	86.40	50.00

Institut für Geologie
Dorian Gaar
Baltzerstrasse 1+3
3012 Bern

Name SCH8
ProjNr.
Anlage
Projekt Masterarbeit Dorian Gaar

DIREKTER SCHERVERSUCH Kreisringscherversuch Scherspannungs-Weg-Diagramm

Entnahmestelle Val Schais, 830189/164686
Entnahmetiefe Oberfläche
Entnahmetag 3. Oktober 2007
Bodenart Verruccano
Einbau 26.3.08
ausgeführt am 26.3.08 bis 11.4.08
ausgeführt von Dorian Gaar



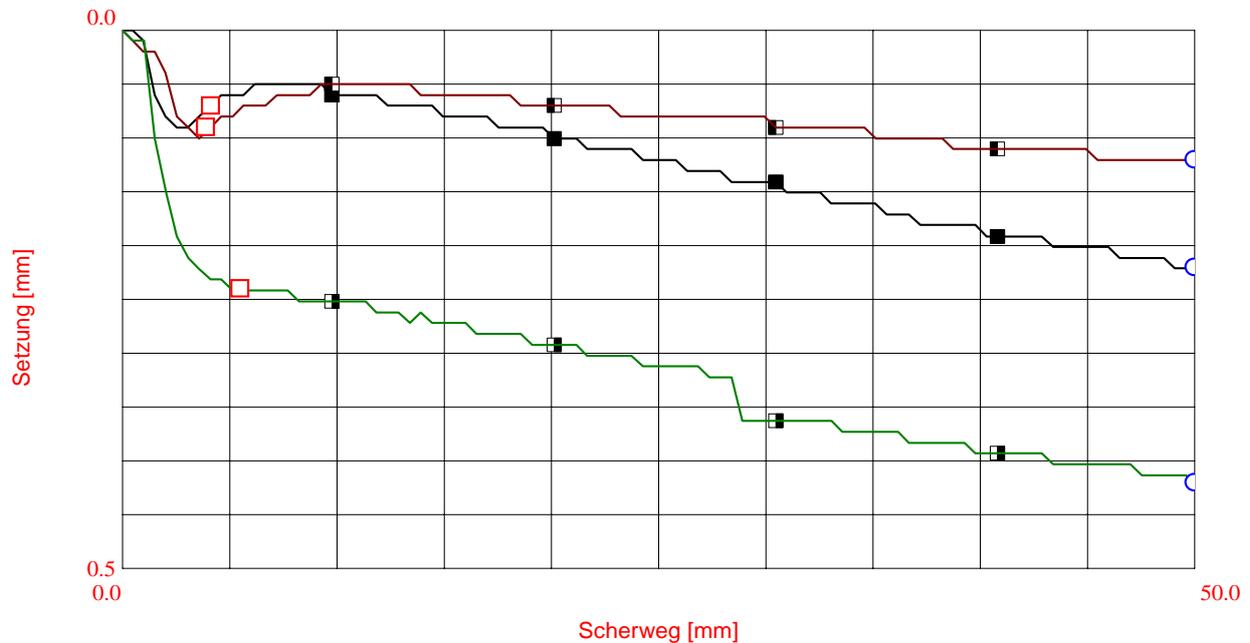
Nr.		Normalspannung kN/m ²		Bruchfläche cm ²	Bruchgeschw. mm/min	Restsf-Fläche cm ²	Restsf-Geschw. mm/min
		Bruch	Restsf.				
2	■	80.0	80.0	50.00	0.00900	50.00	0.00900
3	□	40.0	40.0	50.00	0.00900	50.00	0.00900
4	□	160.0	160.0	50.00	0.00900	50.00	0.00900

Institut für Geologie
Dorian Gaar
Baltzerstrasse 1+3
3012 Bern

Name SCH8
ProjNr.
Anlage
Projekt Masterarbeit Dorian Gaar

DIREKTER SCHERVERSUCH Kreisringscherversuch Setzungs-Weg-Diagramm

Entnahmestelle Val Schais, 830189/164686
Entnahmetiefe Oberfläche
Entnahmetag 3. Oktober 2007
Bodenart Verruccano
Einbau 26.3.08
ausgeführt am 26.3.08 bis 11.4.08
ausgeführt von Dorian Gaar



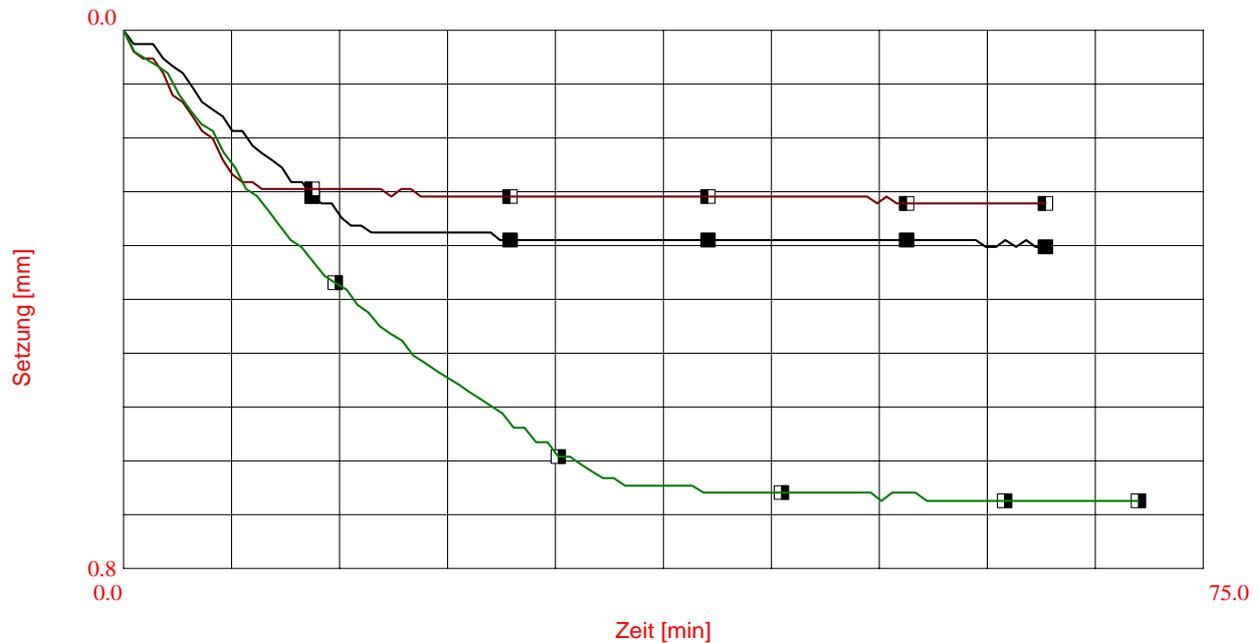
Nr.	Normalspannung kN/m ²		Setzung bei Bruch mm	Setzung bei Restsf. mm	Probenhöhe Scherbeginn mm	Maximale Setzung mm	
	Bruch	Restsf.					
2	■	80.0	80.0	0.07	0.22	15.70	0.23
3	□	40.0	40.0	0.09	0.12	15.76	0.13
4	□	160.0	160.0	0.24	0.42	15.35	0.42

Institut für Geologie
Dorian Gaar
Baltzerstrasse 1+3
3012 Bern

Name SCH8
ProjNr.
Anlage
Projekt MSc Dorian Gaar

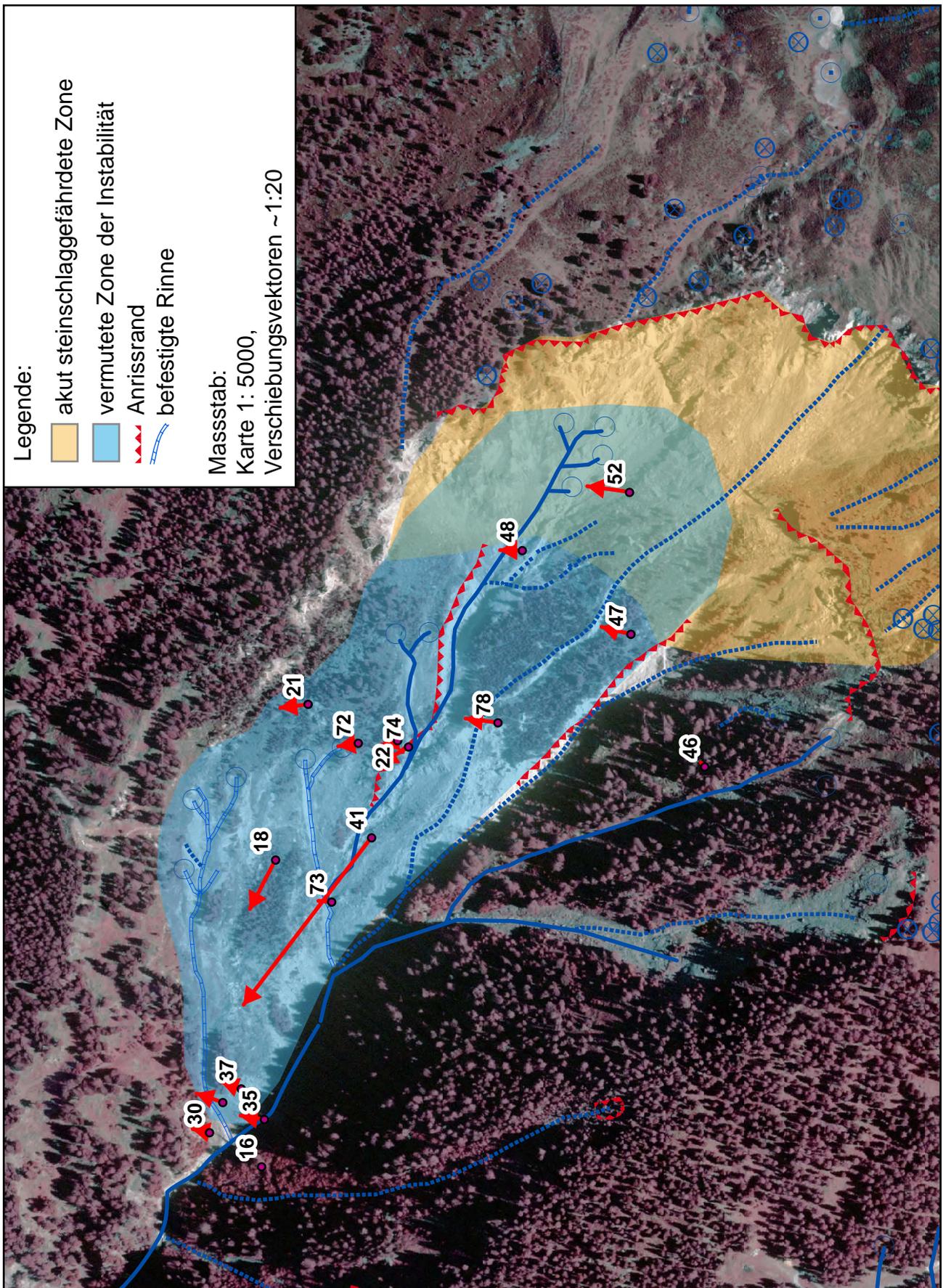
DIREKTER SCHERVERSUCH Kreisringscherversuch Konsolidierungs-Diagramm

Entnahmestelle Val Schais, 830189/164686
Entnahmetiefe Oberfläche
Entnahmetag 3. Oktober 2007
Bodenart Verruccano
Einbau 26.3.08
ausgeführt am 26.3.08 bis 11.4.08
ausgeführt von Dorian Gaar



Nr.	Normalspannung kN/m ²	Setzung mm	Konsolidierungsdauer min	Probenhöhe zu Beginn mm	Probenhöhe Ende mm
2 ■	80	0.30	62	16.00	15.70
3 □	40	0.24	62	16.00	15.76
4 □	160	0.65	68	16.00	15.35

11.5. Prozesskarte der Val Schais



11.6. Übersichtskarte Geoelektrik

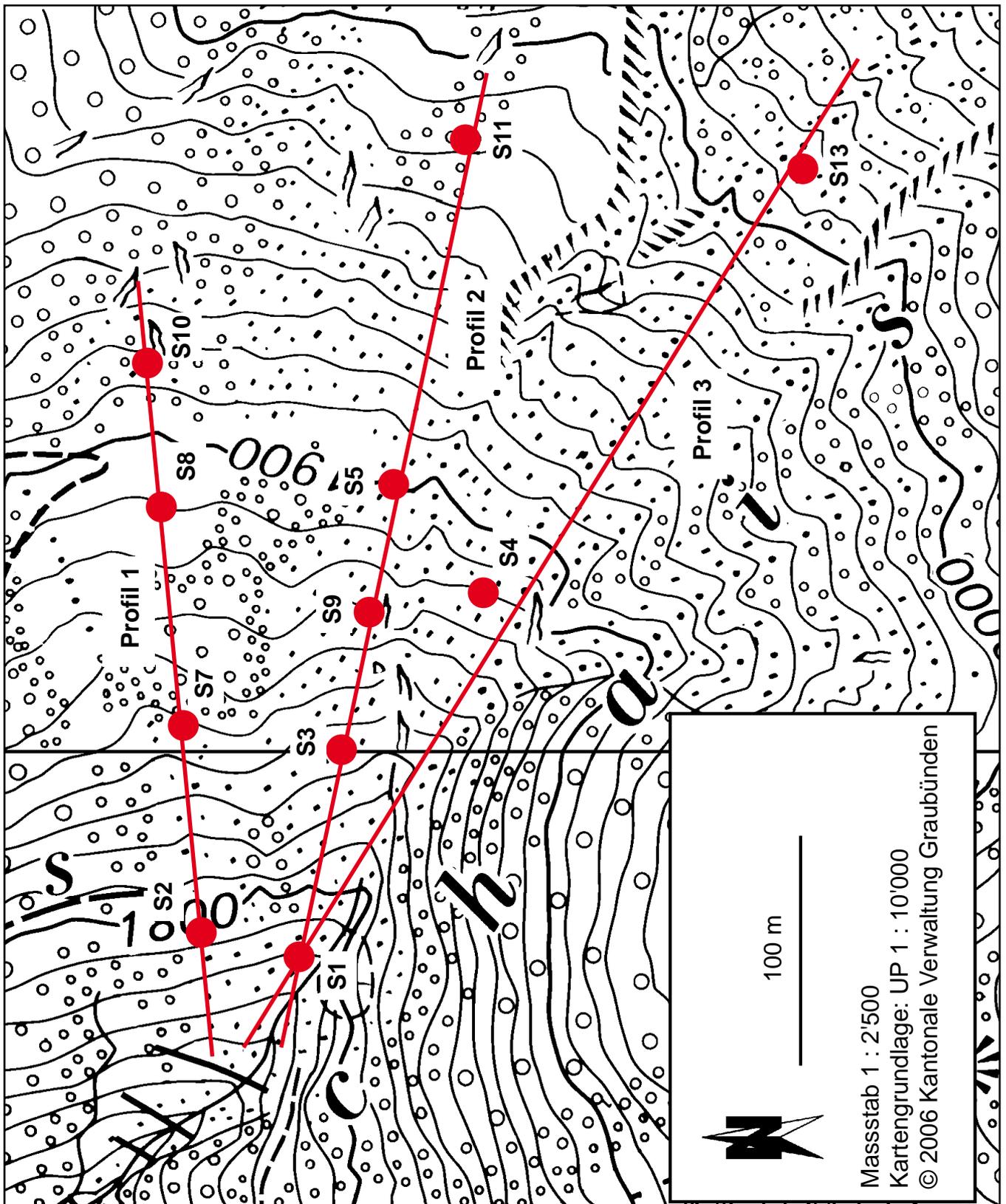
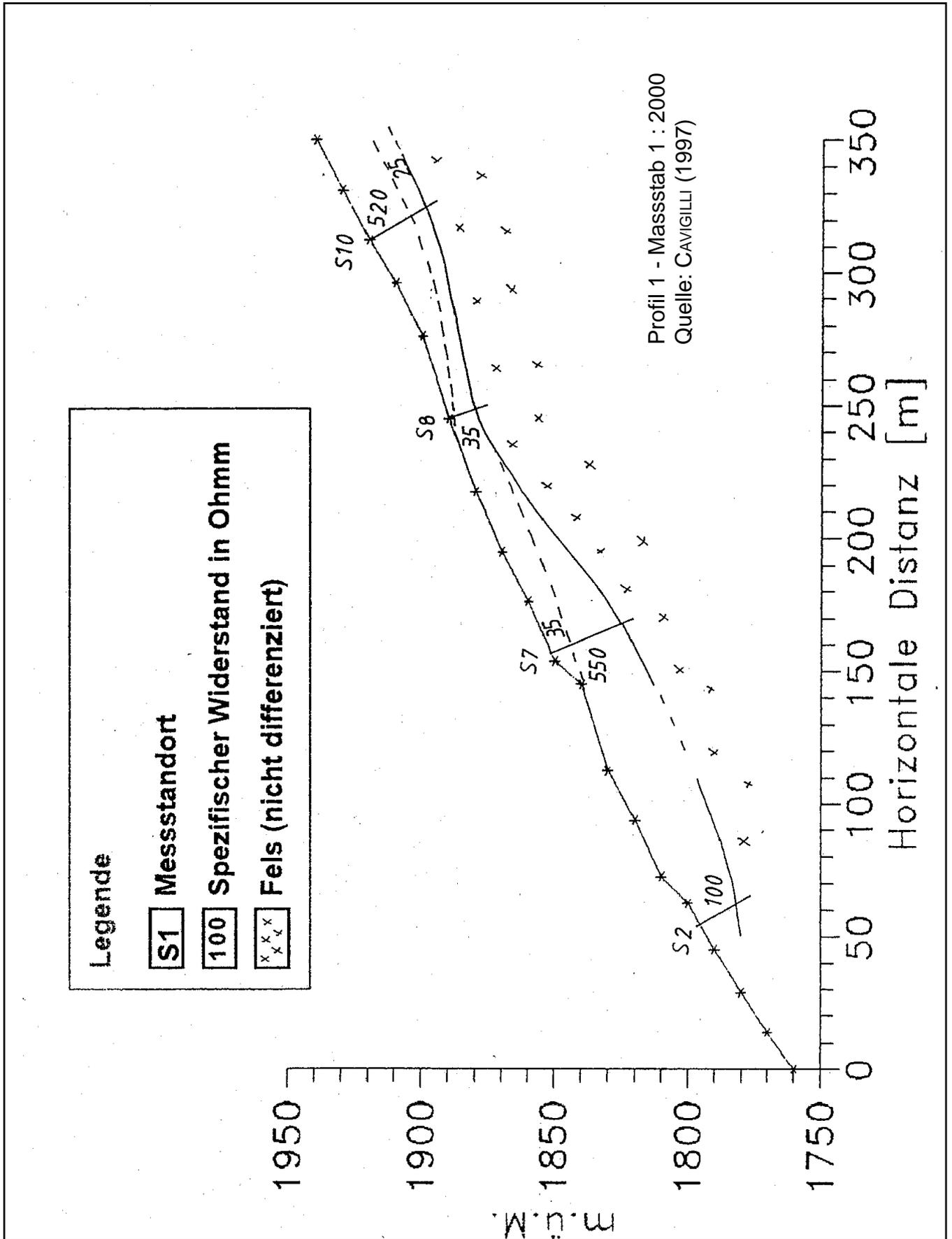
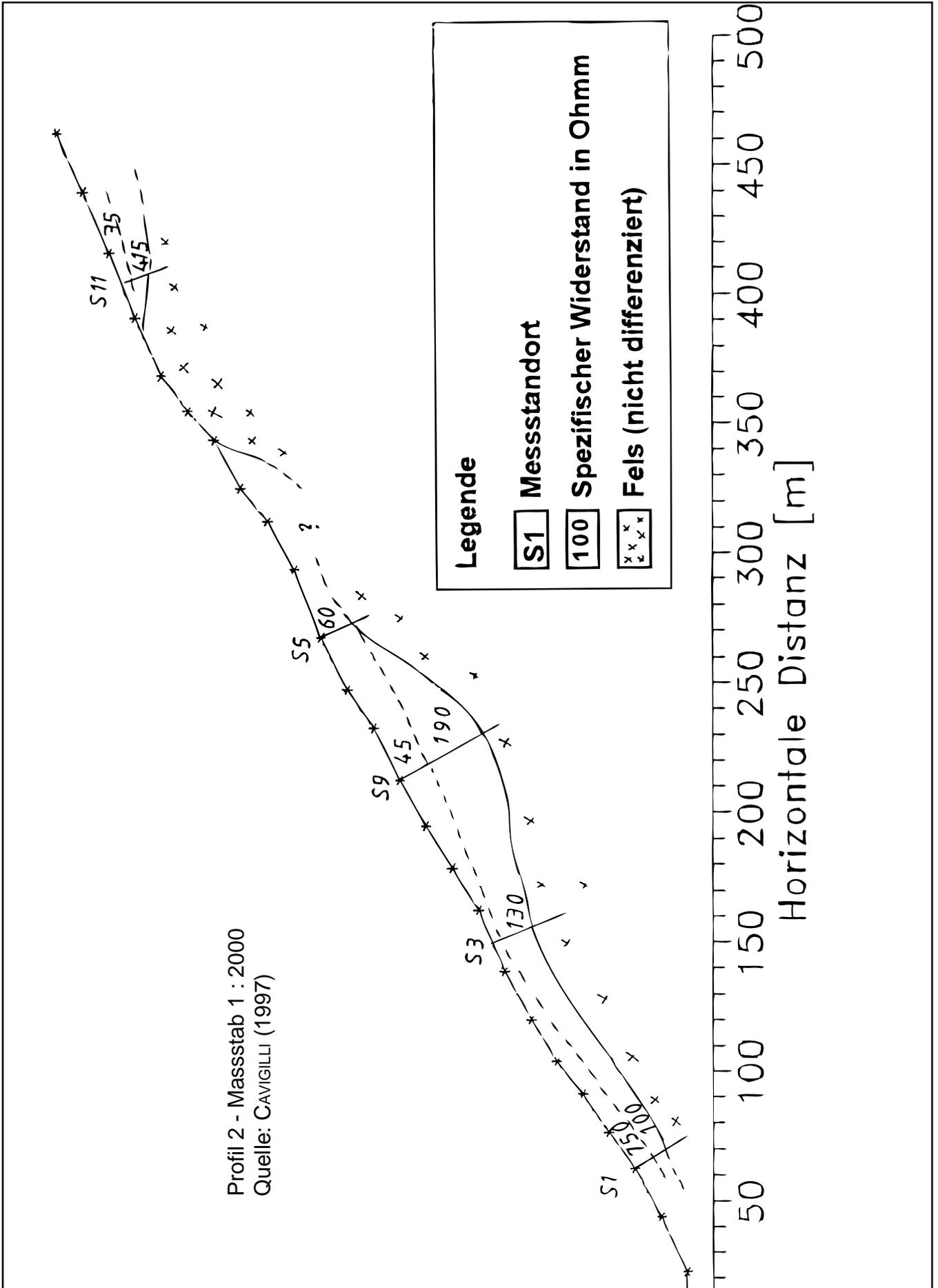
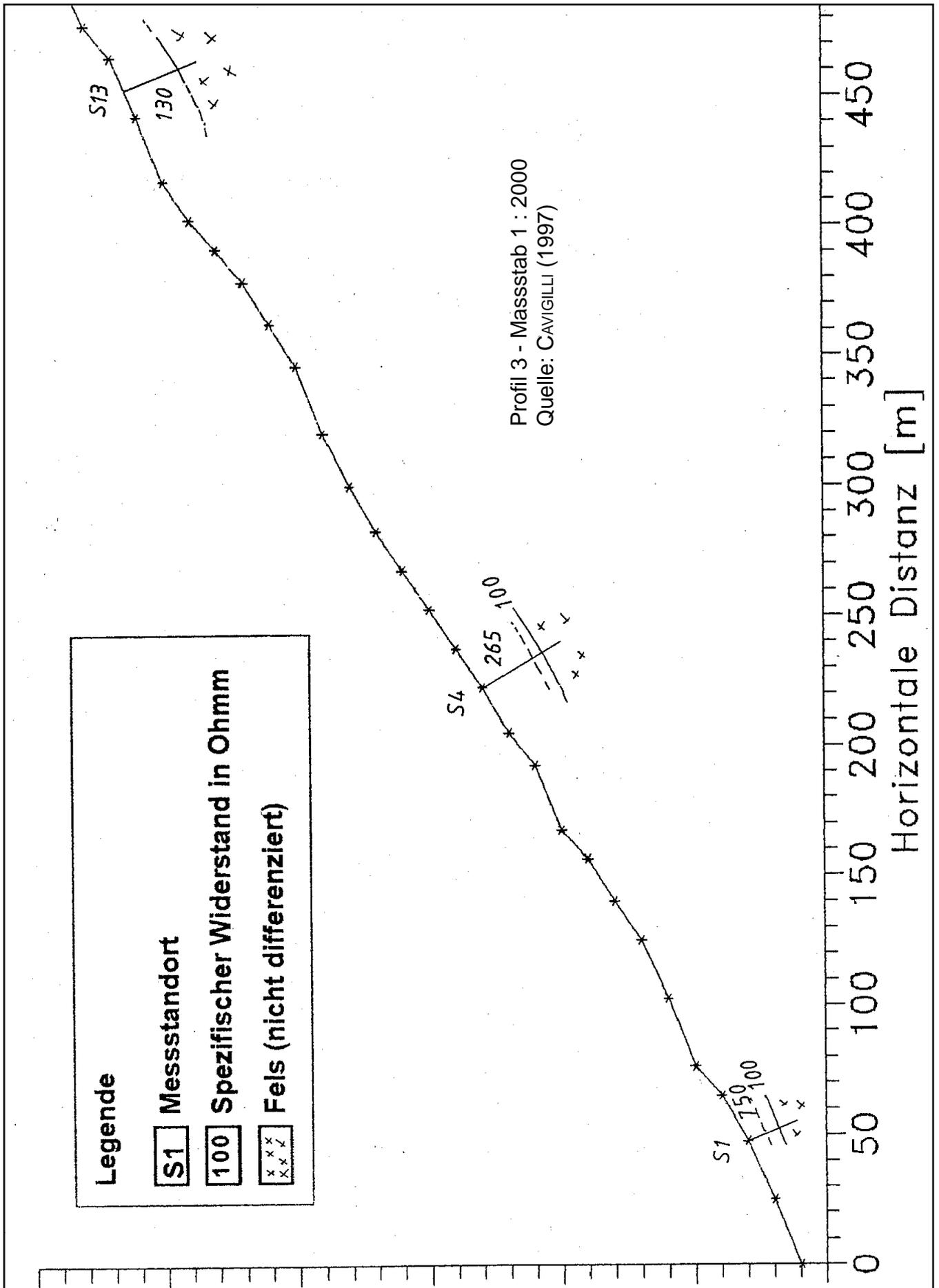


Abbildung 11.3.
 Übersichtskarte der geoelektrischen
 Profile von CAVIGLII (1997)

11.7. Geoelektrische Profile







11.8. Niederschlagssummen 1926 - 1928 Station Sta. Maria

Tag	Nieder- schlag mm										
01.01.1926	0	01.03.1926	0	01.05.1926	0	01.07.1926	0	01.09.1926	0	01.11.1926	7.5
02.01.1926	3.1	02.03.1926	0	02.05.1926	0	02.07.1926	0	02.09.1926	4	02.11.1926	11.2
03.01.1926	1.4	03.03.1926	0	03.05.1926	2	03.07.1926	0	03.09.1926	0	03.11.1926	0.2
04.01.1926	0	04.03.1926	0.3	04.05.1926	0	04.07.1926	0	04.09.1926	15.1	04.11.1926	0
05.01.1926	0	05.03.1926	0	05.05.1926	0	05.07.1926	0	05.09.1926	0.1	05.11.1926	0
06.01.1926	0	06.03.1926	6.4	06.05.1926	13.2	06.07.1926	3.1	06.09.1926	0	06.11.1926	0.1
07.01.1926	0	07.03.1926	7.2	07.05.1926	0.7	07.07.1926	4.2	07.09.1926	0	07.11.1926	5.7
08.01.1926	0	08.03.1926	0	08.05.1926	3.5	08.07.1926	0	08.09.1926	0	08.11.1926	20.3
09.01.1926	0	09.03.1926	0	09.05.1926	0	09.07.1926	0	09.09.1926	0	09.11.1926	0.5
10.01.1926	0	10.03.1926	2.5	10.05.1926	0	10.07.1926	0	10.09.1926	0	10.11.1926	0
11.01.1926	0	11.03.1926	0	11.05.1926	0	11.07.1926	1.5	11.09.1926	0	11.11.1926	0
12.01.1926	0	12.03.1926	0	12.05.1926	0	12.07.1926	0	12.09.1926	0.9	12.11.1926	6.1
13.01.1926	12.5	13.03.1926	0	13.05.1926	2.7	13.07.1926	2.1	13.09.1926	0	13.11.1926	5.4
14.01.1926	11.5	14.03.1926	0	14.05.1926	11.3	14.07.1926	0.2	14.09.1926	0	14.11.1926	0
15.01.1926	11	15.03.1926	0	15.05.1926	57.5	15.07.1926	0	15.09.1926	0	15.11.1926	0
16.01.1926	0	16.03.1926	0	16.05.1926	23.2	16.07.1926	0	16.09.1926	0	16.11.1926	0
17.01.1926	0	17.03.1926	0	17.05.1926	3.5	17.07.1926	0	17.09.1926	0	17.11.1926	0
18.01.1926	2.4	18.03.1926	0	18.05.1926	2.4	18.07.1926	0	18.09.1926	0	18.11.1926	6.6
19.01.1926	0	19.03.1926	0	19.05.1926	0	19.07.1926	0	19.09.1926	0	19.11.1926	19
20.01.1926	0	20.03.1926	0	20.05.1926	0	20.07.1926	1.2	20.09.1926	0	20.11.1926	15.6
21.01.1926	1.2	21.03.1926	2.1	21.05.1926	0	21.07.1926	0	21.09.1926	0	21.11.1926	19.2
22.01.1926	0	22.03.1926	0.6	22.05.1926	0	22.07.1926	0	22.09.1926	0	22.11.1926	18
23.01.1926	0	23.03.1926	0	23.05.1926	0	23.07.1926	0	23.09.1926	0	23.11.1926	9.1
24.01.1926	0	24.03.1926	0	24.05.1926	0	24.07.1926	0	24.09.1926	2	24.11.1926	0
25.01.1926	0	25.03.1926	4.2	25.05.1926	0	25.07.1926	1.2	25.09.1926	0.7	25.11.1926	0
26.01.1926	0	26.03.1926	0	26.05.1926	0	26.07.1926	4.5	26.09.1926	1.8	26.11.1926	0
27.01.1926	0	27.03.1926	2.2	27.05.1926	0	27.07.1926	25.4	27.09.1926	2.1	27.11.1926	0
28.01.1926	0	28.03.1926	4.3	28.05.1926	0	28.07.1926	0	28.09.1926	0	28.11.1926	0
29.01.1926	0	29.03.1926	2.1	29.05.1926	0	29.07.1926	0	29.09.1926	0	29.11.1926	0
30.01.1926	0	30.03.1926	16.2	30.05.1926	1.7	30.07.1926	0	30.09.1926	0	30.11.1926	2.6
31.01.1926	2	31.03.1926	2.3	31.05.1926	26.4	31.07.1926	0	01.10.1926	1.6	01.12.1926	0.9
01.02.1926	0	01.04.1926	0	01.06.1926	0	01.08.1926	0	02.10.1926	0	02.12.1926	0
02.02.1926	8.6	02.04.1926	0	02.06.1926	5.6	02.08.1926	0	03.10.1926	0	03.12.1926	0
03.02.1926	6.6	03.04.1926	0	03.06.1926	15.7	03.08.1926	14.5	04.10.1926	0	04.12.1926	0
04.02.1926	0	04.04.1926	0	04.06.1926	4	04.08.1926	3.2	05.10.1926	0	05.12.1926	0
05.02.1926	0	05.04.1926	0	05.06.1926	0	05.08.1926	0	06.10.1926	0	06.12.1926	0
06.02.1926	2.1	06.04.1926	0	06.06.1926	8.5	06.08.1926	0	07.10.1926	0	07.12.1926	0
07.02.1926	3	07.04.1926	0	07.06.1926	0	07.08.1926	14.6	08.10.1926	1.9	08.12.1926	0
08.02.1926	0	08.04.1926	10	08.06.1926	0	08.08.1926	0	09.10.1926	1.8	09.12.1926	0
09.02.1926	4	09.04.1926	0	09.06.1926	0	09.08.1926	0	10.10.1926	0	10.12.1926	0
10.02.1926	10.3	10.04.1926	0	10.06.1926	1.9	10.08.1926	0	11.10.1926	0	11.12.1926	0
11.02.1926	11.2	11.04.1926	0	11.06.1926	0	11.08.1926	1.8	12.10.1926	0	12.12.1926	0
12.02.1926	0	12.04.1926	0	12.06.1926	0	12.08.1926	0	13.10.1926	0	13.12.1926	0
13.02.1926	0	13.04.1926	0	13.06.1926	13.2	13.08.1926	0	14.10.1926	0	14.12.1926	0
14.02.1926	0	14.04.1926	0	14.06.1926	0	14.08.1926	0	15.10.1926	0	15.12.1926	0
15.02.1926	0	15.04.1926	0	15.06.1926	0	15.08.1926	0	16.10.1926	0	16.12.1926	0
16.02.1926	0	16.04.1926	0	16.06.1926	0	16.08.1926	0	17.10.1926	0	17.12.1926	0
17.02.1926	3.8	17.04.1926	0	17.06.1926	3.6	17.08.1926	6.5	18.10.1926	0	18.12.1926	1.7
18.02.1926	6.4	18.04.1926	0	18.06.1926	9.3	18.08.1926	0	19.10.1926	0	19.12.1926	0
19.02.1926	5.4	19.04.1926	18.7	19.06.1926	1.9	19.08.1926	0	20.10.1926	0	20.12.1926	1.6
20.02.1926	0	20.04.1926	0	20.06.1926	0	20.08.1926	0	21.10.1926	12.5	21.12.1926	0
21.02.1926	0	21.04.1926	6.5	21.06.1926	0	21.08.1926	0	22.10.1926	0	22.12.1926	0
22.02.1926	0	22.04.1926	35.7	22.06.1926	0	22.08.1926	0.8	23.10.1926	22.3	23.12.1926	0
23.02.1926	0	23.04.1926	18.6	23.06.1926	0	23.08.1926	0	24.10.1926	0	24.12.1926	0.9
24.02.1926	0	24.04.1926	35.7	24.06.1926	2.5	24.08.1926	0	25.10.1926	6.6	25.12.1926	0
25.02.1926	0	25.04.1926	9.3	25.06.1926	6	25.08.1926	0	26.10.1926	1.4	26.12.1926	0.3
26.02.1926	0	26.04.1926	0	26.06.1926	0	26.08.1926	0	27.10.1926	0	27.12.1926	0
27.02.1926	0	27.04.1926	0	27.06.1926	0	27.08.1926	0	28.10.1926	9.2	28.12.1926	0
28.02.1926	0	28.04.1926	0	28.06.1926	4.5	28.08.1926	0	29.10.1926	41.2	29.12.1926	3.1
		29.04.1926	0	29.06.1926	0	29.08.1926	0	30.10.1926	38.4	30.12.1926	0
		30.04.1926	0	30.06.1926	0	30.08.1926	0	31.10.1926	59.4	31.12.1926	0
						31.08.1926	0				

Tabella 11.4.
 Tagessummen der Niederschläge 1926,
 Station Sta. Maria
 NIEDERSCHLAGSDATEN ©
 METEOSCHWEIZ

11. Niederschlagssummen 1926 - 1928 Station Sta. Maria

Tag	Nieder- schlag mm										
01.01.1927	0	01.03.1927	6	01.05.1927	0	01.07.1927	9	01.09.1927	0	01.11.1927	0
02.01.1927	0	02.03.1927	13.8	02.05.1927	0	02.07.1927	2.2	02.09.1927	0	02.11.1927	0
03.01.1927	1.5	03.03.1927	0	03.05.1927	0	03.07.1927	0	03.09.1927	0	03.11.1927	0
04.01.1927	10.9	04.03.1927	0	04.05.1927	0	04.07.1927	0	04.09.1927	15.7	04.11.1927	0
05.01.1927	0	05.03.1927	14.5	05.05.1927	0	05.07.1927	0	05.09.1927	3.7	05.11.1927	0
06.01.1927	0	06.03.1927	1.2	06.05.1927	0	06.07.1927	0	06.09.1927	0	06.11.1927	0
07.01.1927	3.6	07.03.1927	0	07.05.1927	0	07.07.1927	0	07.09.1927	13.7	07.11.1927	3.5
08.01.1927	0.3	08.03.1927	1.4	08.05.1927	0.5	08.07.1927	18.4	08.09.1927	11.3	08.11.1927	1.5
09.01.1927	0	09.03.1927	4.5	09.05.1927	0	09.07.1927	2.4	09.09.1927	0	09.11.1927	29
10.01.1927	0	10.03.1927	0	10.05.1927	0	10.07.1927	9.8	10.09.1927	1.3	10.11.1927	35.2
11.01.1927	0	11.03.1927	0	11.05.1927	0	11.07.1927	0	11.09.1927	11.3	11.11.1927	7.5
12.01.1927	0	12.03.1927	1.4	12.05.1927	0	12.07.1927	6.5	12.09.1927	0	12.11.1927	0
13.01.1927	13.5	13.03.1927	8.3	13.05.1927	0	13.07.1927	0	13.09.1927	0	13.11.1927	2.9
14.01.1927	1.3	14.03.1927	0	14.05.1927	0	14.07.1927	4.9	14.09.1927	0	14.11.1927	0
15.01.1927	6.5	15.03.1927	0	15.05.1927	0	15.07.1927	9.2	15.09.1927	0	15.11.1927	0
16.01.1927	28.5	16.03.1927	0	16.05.1927	0	16.07.1927	3.5	16.09.1927	21.9	16.11.1927	0
17.01.1927	5.6	17.03.1927	0	17.05.1927	0	17.07.1927	8.6	17.09.1927	0	17.11.1927	0
18.01.1927	3	18.03.1927	0	18.05.1927	7.8	18.07.1927	0	18.09.1927	0	18.11.1927	0
19.01.1927	0	19.03.1927	0	19.05.1927	0	19.07.1927	0	19.09.1927	0	19.11.1927	1.8
20.01.1927	0	20.03.1927	0	20.05.1927	0	20.07.1927	0	20.09.1927	0	20.11.1927	10.3
21.01.1927	0	21.03.1927	0	21.05.1927	0	21.07.1927	0	21.09.1927	0	21.11.1927	13.2
22.01.1927	0	22.03.1927	0	22.05.1927	0	22.07.1927	5.6	22.09.1927	17.4	22.11.1927	27
23.01.1927	0	23.03.1927	0	23.05.1927	0	23.07.1927	20.3	23.09.1927	14.7	23.11.1927	7.5
24.01.1927	0	24.03.1927	9.8	24.05.1927	0	24.07.1927	0	24.09.1927	13.4	24.11.1927	0
25.01.1927	0	25.03.1927	0	25.05.1927	0	25.07.1927	0	25.09.1927	6.4	25.11.1927	0
26.01.1927	0	26.03.1927	0	26.05.1927	0	26.07.1927	0	26.09.1927	0	26.11.1927	0
27.01.1927	0	27.03.1927	15.2	27.05.1927	0.9	27.07.1927	3.6	27.09.1927	0	27.11.1927	0
28.01.1927	0	28.03.1927	0	28.05.1927	0.8	28.07.1927	10.1	28.09.1927	0	28.11.1927	0
29.01.1927	0	29.03.1927	0	29.05.1927	0	29.07.1927	3.6	29.09.1927	0	29.11.1927	0
30.01.1927	0.6	30.03.1927	0.1	30.05.1927	0	30.07.1927	0	30.09.1927	6	30.11.1927	0
31.01.1927	0	31.03.1927	0	31.05.1927	0	31.07.1927	0	01.10.1927	0	01.12.1927	0
01.02.1927	0	01.04.1927	0	01.06.1927	2.2	01.08.1927	0	02.10.1927	0	02.12.1927	0
02.02.1927	0	02.04.1927	0	02.06.1927	0	02.08.1927	0	03.10.1927	0	03.12.1927	0
03.02.1927	0	03.04.1927	0	03.06.1927	23.1	03.08.1927	0	04.10.1927	0	04.12.1927	2.2
04.02.1927	0	04.04.1927	0	04.06.1927	17.5	04.08.1927	0	05.10.1927	0	05.12.1927	3.7
05.02.1927	0	05.04.1927	0	05.06.1927	5.6	05.08.1927	0	06.10.1927	0	06.12.1927	5.2
06.02.1927	0.5	06.04.1927	0	06.06.1927	0	06.08.1927	5	07.10.1927	0	07.12.1927	2.1
07.02.1927	0	07.04.1927	4.5	07.06.1927	0	07.08.1927	0	08.10.1927	0	08.12.1927	0
08.02.1927	0	08.04.1927	28.2	08.06.1927	1.9	08.08.1927	15.3	09.10.1927	0	09.12.1927	0
09.02.1927	0	09.04.1927	17.3	09.06.1927	0	09.08.1927	0	10.10.1927	0	10.12.1927	0
10.02.1927	0	10.04.1927	17.5	10.06.1927	1.8	10.08.1927	0	11.10.1927	0	11.12.1927	0
11.02.1927	0	11.04.1927	0	11.06.1927	6.3	11.08.1927	9	12.10.1927	0	12.12.1927	0
12.02.1927	0	12.04.1927	0	12.06.1927	6.5	12.08.1927	2.3	13.10.1927	0	13.12.1927	0
13.02.1927	0	13.04.1927	0	13.06.1927	0.9	13.08.1927	0	14.10.1927	0.1	14.12.1927	0
14.02.1927	0	14.04.1927	0	14.06.1927	0	14.08.1927	1.1	15.10.1927	0	15.12.1927	0
15.02.1927	0	15.04.1927	0	15.06.1927	0	15.08.1927	5.2	16.10.1927	0	16.12.1927	0
16.02.1927	0	16.04.1927	0	16.06.1927	0	16.08.1927	0	17.10.1927	0	17.12.1927	0
17.02.1927	0	17.04.1927	0	17.06.1927	1	17.08.1927	0	18.10.1927	0	18.12.1927	0
18.02.1927	0	18.04.1927	0	18.06.1927	9.4	18.08.1927	4.2	19.10.1927	0	19.12.1927	0
19.02.1927	0	19.04.1927	0	19.06.1927	0.5	19.08.1927	13.1	20.10.1927	0	20.12.1927	0
20.02.1927	1.1	20.04.1927	0	20.06.1927	0	20.08.1927	0	21.10.1927	0	21.12.1927	0
21.02.1927	1.4	21.04.1927	0	21.06.1927	0	21.08.1927	0	22.10.1927	0	22.12.1927	0
22.02.1927	2	22.04.1927	0	22.06.1927	2.9	22.08.1927	0	23.10.1927	38	23.12.1927	0
23.02.1927	3.9	23.04.1927	0	23.06.1927	4.4	23.08.1927	0	24.10.1927	0	24.12.1927	0
24.02.1927	1.2	24.04.1927	0	24.06.1927	0	24.08.1927	27.4	25.10.1927	0	25.12.1927	3.1
25.02.1927	3.1	25.04.1927	0	25.06.1927	0.1	25.08.1927	11.4	26.10.1927	0	26.12.1927	0
26.02.1927	2.4	26.04.1927	0	26.06.1927	3.9	26.08.1927	0	27.10.1927	0	27.12.1927	1.8
27.02.1927	0	27.04.1927	0	27.06.1927	33.8	27.08.1927	0	28.10.1927	0	28.12.1927	0
28.02.1927	0	28.04.1927	0	28.06.1927	0	28.08.1927	0	29.10.1927	0	29.12.1927	0
		29.04.1927	0	29.06.1927	0	29.08.1927	0	30.10.1927	0	30.12.1927	0
		30.04.1927	0	30.06.1927	8.2	30.08.1927	0	31.10.1927	0	31.12.1927	0
						31.08.1927	0				

Tabelle 11.5.
 Tagessummen der Niederschläge 1927,
 Station Sta. Maria
 NIEDERSCHLAGSDATEN ©
 METEOSCHWEIZ

11. Niederschlagssummen 1926 - 1928 Station Sta. Maria

Tag	Nieder- schlag mm										
01.01.1928	0	01.03.1928	0	01.05.1928	0	01.07.1928	0	01.09.1928	0	01.11.1928	13.8
02.01.1928	0	02.03.1928	0	02.05.1928	0	02.07.1928	0	02.09.1928	16.8	02.11.1928	6.6
03.01.1928	0	03.03.1928	0	03.05.1928	0.2	03.07.1928	0	03.09.1928	1.2	03.11.1928	10
04.01.1928	0	04.03.1928	0	04.05.1928	0.8	04.07.1928	1.8	04.09.1928	0	04.11.1928	0
05.01.1928	0	05.03.1928	0	05.05.1928	5.8	05.07.1928	0	05.09.1928	0	05.11.1928	0
06.01.1928	3.9	06.03.1928	0	06.05.1928	1.7	06.07.1928	0.8	06.09.1928	0	06.11.1928	0
07.01.1928	0	07.03.1928	0	07.05.1928	0	07.07.1928	0	07.09.1928	0	07.11.1928	1.9
08.01.1928	0	08.03.1928	0	08.05.1928	0.2	08.07.1928	0	08.09.1928	0	08.11.1928	2.2
09.01.1928	0	09.03.1928	1.3	09.05.1928	0	09.07.1928	0	09.09.1928	0	09.11.1928	0
10.01.1928	0	10.03.1928	5.6	10.05.1928	0	10.07.1928	0	10.09.1928	0	10.11.1928	0
11.01.1928	0	11.03.1928	2.6	11.05.1928	0	11.07.1928	0	11.09.1928	18.7	11.11.1928	0
12.01.1928	0	12.03.1928	0	12.05.1928	0	12.07.1928	0	12.09.1928	0.8	12.11.1928	0
13.01.1928	0	13.03.1928	0	13.05.1928	0	13.07.1928	17.9	13.09.1928	5	13.11.1928	0
14.01.1928	0	14.03.1928	1.5	14.05.1928	0.6	14.07.1928	0	14.09.1928	17.6	14.11.1928	0
15.01.1928	0	15.03.1928	1.5	15.05.1928	0	15.07.1928	5.4	15.09.1928	0	15.11.1928	0
16.01.1928	21	16.03.1928	0	16.05.1928	4.6	16.07.1928	4.9	16.09.1928	4.2	16.11.1928	2.3
17.01.1928	0	17.03.1928	0	17.05.1928	17.6	17.07.1928	0	17.09.1928	2.5	17.11.1928	0.7
18.01.1928	0	18.03.1928	0	18.05.1928	0	18.07.1928	11.6	18.09.1928	0.3	18.11.1928	0
19.01.1928	0	19.03.1928	0	19.05.1928	6.6	19.07.1928	0	19.09.1928	0	19.11.1928	0
20.01.1928	0	20.03.1928	0	20.05.1928	12.4	20.07.1928	0	20.09.1928	0	20.11.1928	0
21.01.1928	0	21.03.1928	10	21.05.1928	0	21.07.1928	0	21.09.1928	0	21.11.1928	0
22.01.1928	0	22.03.1928	0	22.05.1928	8.2	22.07.1928	8.8	22.09.1928	9.1	22.11.1928	0
23.01.1928	0	23.03.1928	0	23.05.1928	1.8	23.07.1928	3.9	23.09.1928	0	23.11.1928	0
24.01.1928	0.3	24.03.1928	15	24.05.1928	0	24.07.1928	0	24.09.1928	1.8	24.11.1928	11.7
25.01.1928	0	25.03.1928	2	25.05.1928	0	25.07.1928	0	25.09.1928	3.6	25.11.1928	16.6
26.01.1928	3.4	26.03.1928	0	26.05.1928	0	26.07.1928	0	26.09.1928	0	26.11.1928	15.8
27.01.1928	2.9	27.03.1928	0	27.05.1928	0	27.07.1928	7.7	27.09.1928	0	27.11.1928	0
28.01.1928	0	28.03.1928	0	28.05.1928	0	28.07.1928	11	28.09.1928	4.9	28.11.1928	0
29.01.1928	0	29.03.1928	0	29.05.1928	0	29.07.1928	4.5	29.09.1928	0	29.11.1928	0
30.01.1928	0	30.03.1928	0	30.05.1928	0	30.07.1928	0	30.09.1928	0.4	30.11.1928	0
31.01.1928	0	31.03.1928	13	31.05.1928	0.8	31.07.1928	0	01.10.1928	0	01.12.1928	0
01.02.1928	0	01.04.1928	45.8	01.06.1928	0	01.08.1928	14.9	02.10.1928	0	02.12.1928	0
02.02.1928	0.4	02.04.1928	8.7	02.06.1928	0	02.08.1928	0	03.10.1928	0	03.12.1928	0
03.02.1928	0	03.04.1928	0	03.06.1928	0	03.08.1928	5.1	04.10.1928	1.2	04.12.1928	0
04.02.1928	0	04.04.1928	0	04.06.1928	0	04.08.1928	7.7	05.10.1928	0	05.12.1928	0
05.02.1928	0	05.04.1928	15.3	05.06.1928	2.9	05.08.1928	22.7	06.10.1928	0	06.12.1928	0
06.02.1928	0.3	06.04.1928	0	06.06.1928	0.5	06.08.1928	0	07.10.1928	0	07.12.1928	0
07.02.1928	0	07.04.1928	1.1	07.06.1928	2.7	07.08.1928	0	08.10.1928	0	08.12.1928	2.1
08.02.1928	0	08.04.1928	0	08.06.1928	0	08.08.1928	0	09.10.1928	5.9	09.12.1928	0
09.02.1928	0	09.04.1928	0	09.06.1928	0	09.08.1928	0	10.10.1928	1.1	10.12.1928	0
10.02.1928	0	10.04.1928	6.3	10.06.1928	7.4	10.08.1928	0	11.10.1928	0	11.12.1928	4.2
11.02.1928	1.9	11.04.1928	11.1	11.06.1928	2.5	11.08.1928	0	12.10.1928	2	12.12.1928	0
12.02.1928	1.7	12.04.1928	0	12.06.1928	0	12.08.1928	0	13.10.1928	0	13.12.1928	0
13.02.1928	5	13.04.1928	0	13.06.1928	0	13.08.1928	0	14.10.1928	0	14.12.1928	0
14.02.1928	6.1	14.04.1928	2.6	14.06.1928	5.5	14.08.1928	4.1	15.10.1928	0	15.12.1928	0
15.02.1928	2.4	15.04.1928	8.7	15.06.1928	2.8	15.08.1928	12.1	16.10.1928	0	16.12.1928	0
16.02.1928	0	16.04.1928	5.2	16.06.1928	0	16.08.1928	10.8	17.10.1928	0	17.12.1928	0
17.02.1928	0	17.04.1928	0	17.06.1928	0	17.08.1928	0	18.10.1928	0	18.12.1928	0
18.02.1928	0	18.04.1928	0	18.06.1928	0	18.08.1928	0	19.10.1928	0	19.12.1928	0
19.02.1928	0	19.04.1928	0	19.06.1928	1.4	19.08.1928	0	20.10.1928	5.1	20.12.1928	0
20.02.1928	0	20.04.1928	0	20.06.1928	0	20.08.1928	14.2	21.10.1928	59.1	21.12.1928	0
21.02.1928	0	21.04.1928	0.1	21.06.1928	0	21.08.1928	15.2	22.10.1928	36.2	22.12.1928	0
22.02.1928	0	22.04.1928	0	22.06.1928	0	22.08.1928	0	23.10.1928	0	23.12.1928	0
23.02.1928	0	23.04.1928	11.2	23.06.1928	4.8	23.08.1928	0	24.10.1928	0	24.12.1928	0
24.02.1928	0	24.04.1928	0	24.06.1928	5.5	24.08.1928	0	25.10.1928	0	25.12.1928	0
25.02.1928	0	25.04.1928	0	25.06.1928	0	25.08.1928	0	26.10.1928	2	26.12.1928	0
26.02.1928	0	26.04.1928	0	26.06.1928	0.7	26.08.1928	0	27.10.1928	10.4	27.12.1928	0
27.02.1928	0	27.04.1928	0	27.06.1928	2.4	27.08.1928	0	28.10.1928	10.9	28.12.1928	0
28.02.1928	0	28.04.1928	3.5	28.06.1928	0	28.08.1928	0	29.10.1928	0	29.12.1928	0
29.02.1928	0	29.04.1928	5.6	29.06.1928	0	29.08.1928	22.8	30.10.1928	11.6	30.12.1928	5.7
		30.04.1928	3.5	30.06.1928	0	30.08.1928	12.5	31.10.1928	67.2	31.12.1928	0
						31.08.1928	0				

Tabelle 11.6.
 Tagessummen der Niederschläge 1928,
 Station Sta. Maria
 NIEDERSCHLAGSDATEN ©
 METEOSCHWEIZ