

# INGENIEUR- UND QUARTÄRGEOLOGISCHE UNTERSUCHUNG NÖRDLICH VON SCUOL (JONVRAI, ENGADIN)

---

Masterarbeit der Philosophisch - naturwissenschaftlichen Fakultät  
der Universität Bern



vorgelegt von  
Sabine Schwienbacher  
2009



Leiter der Arbeit:  
Prof. Christian  
Schlüchter





„In seiner wilden Urwüchsigkeit gehört das Unterengadin zu den schönsten Tälern der Schweizer Alpen. Die lichtüberfluteten Sonnenterrassen der Nordseite mit ihren stattlichen Dörfern und Kornfeldern stehen in eigenartigem Kontrast zu den ausgedehnten Fichtenwäldern, die auf der Südseite vom Ufer des Inns bis in die alpine Stufe hinaufreichen und aus deren Dunkel hell, fast blendend die massigen Gipfel der Unterengadiner Dolomiten ins lichte Blau des Himmels emporragen. Grossartig ist der Fluss, der auf weite Strecken uneingedämmt, bald eingeeengt zwischen Felsen, in ungestümem Lauf, rauschend und schäumend, bald in viele Arme sich ausbreitend, still und gemächlich, sein eigenartig blaugrünes Wasser nach Osten, zur Donau und zum Schwarzen Meer hinführt“

von A. Nadig, aus: Ökologische Untersuchungen im Unterengadin (1969), Band 12, (Lüdin AG) Liestal.



# Zusammenfassung

---

Das wissenschaftliche Interesse an der Entwicklung und der Stabilität von Hängen, welche von Talgletschern in den Eiszeiten beeinflusst und möglicherweise stabilisiert wurden, sowie das bessere Verständnis der geomorphologischen Prozesse und ihrer Erscheinungsformen im Gelände in und um den Schweizerischen Nationalpark, sind hoch. Diese Arbeit ist ein Beitrag zur weiterführenden Forschung in diesem Gebiet und insbesondere der Arbeit von Annina Margreth (2004), mit dem Ziel einer geologischen Erstaufnahme in Form einer detaillierten Kartierung des Gebiets N' von Scuol, östlich der Clozza. Sie soll als Plattform für weitere Untersuchungen dienen.

Die Basis bildet eine quartär- und ingenieurgeologische Untersuchung, deren Erkenntnisse in die Erstellung einer quartärgeologischen, lithologisch-tektonischen und einer hydrologischen Karte im Massstab 1:5000, an Schlüsselstellen 1:2000, eingeflossen sind.

Lockermaterial, welches einen Grossteil des Gebietes bedeckt, kann durch typische Charakteristika wie Ritzspuren an Einzelklasten, polymikte Lithologie und teilweise gut gerundeten Klasten, eindeutig als glaziales Sediment bezeichnet werden. Auffallend sind die unterschiedlichen Zusammensetzungen des Materials, welche genauer untersucht wurden.

Die geotechnischen Eigenschaften unterstreichen die bereits im Feld festgestellte unterschiedliche Herkunft des Lockersediments. Die Problematik liegt im Zusammenspiel von unterschiedlichem Ausgangsmaterial, unterschiedlichen Transportwegen und somit dessen unterschiedlichen Eigenschaften. Interessant sind die Ergebnisse der Plastizität, welche ebenfalls Ähnlichkeiten mit einem glazialen Sediment zeigen.

Die Ergebnisse der Scherversuche geben wichtige Hinweise auf die Stabilität des Gebietes. Hierbei kann festgestellt werden, dass die gemessenen Scherwinkel höher sind als die durchschnittliche Neigung des gesamten Hanges und dieser somit eine gewisse Stabilität bzw. eine gewisse Restsicherheit aufweist. Bei den beprobten Hängen, welche im mittleren Teil des Gebietes direkt zur Clozza hin neigen, entspricht die Hangneigung etwa dem ermittelten Scherwinkel und übersteigt ihn auch teilweise. Rutschungen und starke Erosion in diesem Bereich wird durch die Kartierung und dem höheren Erosionsindex  $k_s$  in der Clozza bestätigt.

Zahlreiche Erratiker, welche mit dem Talgletscher transportiert wurden und die bis auf eine Höhe von etwa 2300m gefunden wurden, markieren die minimale Eishöhe des LGM. Das  $^{14}\text{C}$  Alter eines Holzstrunkes, gefunden auf 2100m Höhe, deutet auf eine Warmphase vor etwa 5k Jahren hin.



# Dank

---

Mein Ziel für die Auswahl des Masterthemas war eine praktische Arbeit mit viel Bezug zum Gelände und Laborarbeit im Bereich der Geotechnik. Deshalb habe ich mich sehr gefreut, als Prof. Christian Schlüchter mir den Vorschlag unterbreitete, eine Arbeit mit diesen Schwerpunkten im Raum Scuol zu verfassen. Vor Allem die Aussicht auf eine Kartierung in einem Gebiet mit Hanginstabilitäten begeisterte mich.

Lange werden mir die Tage im Feld und die anregenden Diskussionen mit Prof. Schlüchter in Erinnerung bleiben. Dafür, sowie für die tatkräftige Unterstützung und die herzliche Betreuung der Arbeit, möchte ich ihm besonders danken.

Grosser Dank gilt auch Herrn Dr. Flurin Filli, Leiter der Forschung des Schweizerischen Nationalparks, welcher diese Arbeit über die Forschungskommission finanziell mit unterstützte. Die Analysen meiner Proben durfte ich dank Dr. Martin Stolz im Geozentrum der Berner Fachhochschule in Burgdorf durchführen. Besten Dank für die Verfügbarkeit der Laborgeräte über einen sehr langen Zeitraum hinweg. Besonders erwähnen möchte ich dabei die stets geduldige Unterstützung von Diplomgeologin Franziska Nyffenegger.

Bei der Gemeinde Scuol, insbesondere bei Herrn Parolini und Frau Sempert sowie J. Stecher und M. Merz, möchte ich mich für die nette Unterstützung bedanken.

Die Begleitung von Annina Margreth im Gelände, und die Verwendung ihrer Daten, waren eine grosse Bereicherung für die Arbeit.

Für die Unterstützung in ArcGIS möchte ich mich herzlich bei Kevin Norton bedanken.

Viel Zeit und Geduld bei der Korrektur der Arbeit brachte mein Bruder Elmar auf: Vielen Dank dafür. Die technische und moralische Unterstützung vonseiten meines Freundes Bruno haben die Erstellung der Arbeit wesentlich erleichtert.

Zu guter Letzt möchte ich meinen Eltern von Herzen danken. Sie haben diese Arbeit, sowie mein gesamtes Studium überhaupt möglich gemacht.



# Inhalt

1.	Einleitung	15
2.	Geographie	17
2.1	Lage des Untersuchungsgebietes	17
2.2	Die Geologie	18
2.2.1	Abriss der Entstehung der Alpen	18
2.2.2	Das Engadiner Fenster	20
2.2.3	Zuordnung und Aufteilung der „Randzone“ des Engadiner Fensters	22
2.3	Das Quartär	24
2.3.1	Die quartäre Landschaft des Unterengadins	24
2.3.2	Bodenbildung	26
2.3.3	Klima	26
2.3.4	Hydrologie	27
2.3.5	Vegetation und Siedlung	28
2.4	Das Untersuchungsgebiet	30
3.	Durchgeführte Untersuchungen	31
3.1	Kartierung	31
3.2	Probenahme	32
3.2.1	Sedimente	32
3.2.2	Wasser	33
3.3	Methodik	33
3.3.1	Dichte und Trockendichte	34
3.3.2	Feucht- und Trockenraumgewicht	34
3.3.3	Wassergehalt	34
3.3.4	Glühverlust	35
3.3.5	Zustandsgrenzen bzw. Plastizität	35
3.3.6	Kornverteilung	37
3.3.7	Klassifizierung nach USCS	38

3. 3. 8	Scherversuche	39
3. 4	Wasserproben	41
3. 4. 1	Ionenchromatographie	41
4.	Resultate	43
4. 1	Kartierung	43
4. 1. 1	Geologisch- tektonische Kartierung	44
4. 1. 2	Quartärgeologische Kartierung	47
4. 1. 3	Hydrologische Kartierung	54
4. 2	Geotechnik	55
4. 2. 1	Beschreibung der Proben	55
4. 2. 2	Klassifizierung der Proben nach USCS	56
4. 2. 3	Kornverteilung	56
4. 2. 4	Plastizität	57
4. 2. 5	Wassergehalt	58
4. 2. 6	Dichte und Trockendichte sowie Feucht- und Trockenraumgewicht	59
4. 2. 7	Glühverlust	59
4. 2. 8	Scherversuche	59
4. 3	Wasserproben	61
4. 3. 1	Ionenchromatographie	61
4. 4	<sup>14</sup> C Alter	63
5.	Vergleich und Interpretation	65
5. 1	Bodenmechanische Eigenschaften	65
5. 1. 1	Scherdaten und Profil	69
5. 1. 2	Hydrologie	71
5. 2	<sup>14</sup> C Analysen	72
6.	Literaturverz.	73

# Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Ausschnitt des Unterengadins	21
Abb. 2	Geologische Skizze der Alpen	22
Abb. 3	Schematisches Querprofil der Tethys	23
Abb. 4	Das Brioconnais zwischen Piemont-Ozean und dem Walliser Trog	23
Abb. 5	Detailausschnitt des Engadiner Fensters	24
Abb. 6	Tetkonische Einheiten im Unterengadin	25
Abb. 7	Tektonische Übersicht des Engadiner Fensters	25
Abb. 8	Die Entwicklung des Engadiner Fensters	26
Abb. 9	Ausschnitt der Aufteilung der „Randzone“ nach Gürler und Schmutz (1995)	27
Abb. 10	Foto des Hanges oberhalb der Gemeinde Scuol	29
Abb. 11	Ausschnitt aus der Bodenkarte des Tirolatlas	30
Abb. 12	Ausschnitt der Klimakarte des Tirolatlas	31
Abb. 13	Ausschnitt aus der Karte der Schneehöhen des Tirolatlas	31
Abb. 14	Mineralisierte Quellen in der Umgebung von Scuol (Bissig 2006)	32
Abb. 15	Ausschnitt aus der Vegetationskarte des Tirolatlas	33
Abb. 16	Foto des Dorfes Scuol mit Kartiergebiet	34
Abb. 17	Handcomputer GeoXH von Trimble	35
Abb. 18	Beprobte Lockersedimente an ihrem Ablagerungsort	36
Abb. 19	Überblick über die beprobten Quellen	37
Abb. 20	Dreiphasenmodell des Bodens	38
Abb. 21	Apparatur nach Casagrande	39
Abb. 22	Schematische Zusammenfassung der Plastizitätseigenschaften	41
Abb. 23	Skizze eines Aerometersversuchs	41
Abb. 24	Vergleich ungewaschene und gewaschen Probe 276	42
Abb. 25	Kreisring- und Rahmenschergerät im geotechnischen Labor in Burgdorf	43
Abb. 26	Schubspannung- Scherweg- Diagramm	44
Abb. 27	Relative Höhenverteilung im Kartiergebiet.	47
Abb. 28	Blick auf den unteren Teil des kartierten Hanges	48

Abb. 29 Übergang von feinkörnigen zu sandigen Bündnerschiefer	49
Abb. 30 Aufschlüsse im Norden des Kartiergebietes	51
Abb. 31 Faltenbildung im feinkörnigen Material des Bündnerschiefers	51
Abb. 32 Levees und Moränenrücken	52
Abb. 33 Gehängeschutt in Form von Schneehaldenmoränen	52
Abb. 34 Vermutete Rutschung bei Sur Bos~cha	53
Abb. 35 Stark kopiertes Gelände bei Patain	53
Abb. 36 Hochebene Sur Bos~cha mit Anrisskante bei Salaniva	54
Abb. 37 Zugriss bei Taslaina	54
Abb. 38 Thufur	55
Abb. 39 Rasengirlanden bei Jonvrai	55
Abb. 40 Lockergesteinsaufschluss mit Serpentin	56
Abb. 41 Endmoränen südlich des Piz Champatsch	56
Abb. 42 Moränenartiger Rücken bei Marcurin	56
Abb. 43 Von Tiefen- und Seitenerosion geprägte Landschaft	57
Abb. 44 Erosierte Oberfläche mit Sumpf an Quellaustritten	59
Abb. 45 Kornverteilungskurven aller Lockergesteinsproben	60
Abb. 46 Plastizitätsdiagramm nach Casagrande	61
Abb. 47 Skizzierte Scherspannungs- und Setzungskurven	63
Abb. 48 Beprobte Quellen im Kartiergebiet	65
Abb. 49 Anionen und Kationen der gemessenen Wasser- und Schneeproben	66
Abb. 50 Kornsummendigramm mit Kornsummenkurven	70
Abb. 51 Diagramm von Casagrande verändert nach Boulton & Paul (1976)	71
Abb. 52 Gut gerundeter Serpentiniklast der Probe 274	72
Abb. 53 Profil Marcurin mit Scherwinkel	73
Abb. 54 Profil Jonvrai mit Scherwinkel	74
Abb. 55 Erosions- und Akkumulationsindex der Clozza	74
Abb. 56 Modell zur Grundwasserzirkulation bei Scuol von Bissig (2006)	75
Abb. 57 Zeitleiste des Holozäns mit Rückzugsphasen und <sup>14</sup> C- Datierung	76

# Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Tabelle der Plastizitätsindizes	40
Tab. 2	Parameter für Kreis- und Rahmenschergerät	44
Tab. 3	Klassifizierung nach USCS	60
Tab. 4	Bestimmung des Ungleichförmigkeitsgrades und der Krümmung nach USCS	61
Tab. 5	Mittelwerte von Fließgrenze $W_L$ , Ausrollgrenze $W_p$ und Plastizitätsindex $I_p$	62
Tab. 6	Wassergehalt, Schrumpfgrenze, Konsistenzzahl und die Liquiditätszahl	62
Tab. 7	Dichte und Trockendichte, sowie Feucht- und Trockenraumgewicht	63
Tab. 8	Angabe der effektiven Scherparameter des Kreisringschergerätes	64
Tab. 9	Angabe der effektiven Scherparameter des Rahmenschergerätes	64
Tab. 10	Temperatur, pH-Wert und Redoxpotential der Quellen.	65
Tab. 11	Ergebnisse der Anionen- und Kationenanalyse	66



## 1. Einleitung

---

Im Quartär wurde der Alpenraum grossteils und wiederholt von Gletschereis bedeckt, allein im Holozän sind etliche kleinere Vorstösse und Rückgänge der Gletscher nachzuweisen. Betrachtet man die alpine Landschaft, finden sich an vielen Orten gross-skalare Hinweise auf die Aktivität der Gletscher im LGM und früher. Bei genauerer Untersuchung erkennt man Oberflächen, welche zu einem sehr grossen Teil durch Gletschererosion oder eben Gletscherablagerungen geprägt sind: Grund genug das Wissen über dieses Thema zu erweitern. Sei es aus wissenschaftlichem Interesse zum besseren Verständnis der Entstehung, sei es durch deren indirekte Aussagen über klimatische Hintergründe oder durch die **alltägliche Berührung** mit diesem Material bei Bauvorhaben in den Alpentälern. So ist es verwunderlich, dass geotechnische Eigenschaften dieses Materials in Bezug auf deren Lithologie nicht schon ausführlich erforscht und beschrieben wurden. Es sind genaue Kartierungen einzelner Gebiete notwendig, wie in diesem Fall das Gebiet nördlich von Scuol, welche im Zusammenhang mit weiteren, grossräumige Ergebnisse ermöglichen.

Auch scheint eine genaue Beschreibung und Charakterisierung dieses, vom Gletscher zurückgelassenen Materials, unumgänglich. Die Ergebnisse wurden somit um die geotechnische Charakterisierung des dort abgelagerten Materials erweitert.



## 2. Geographie

Nach dem Prinzip des länderkundlichen Schemas, welches Grundlegendes vor dem Veränderlichen und vor dem, was sich daraus ergibt, beschreibt, wird in dieser Arbeit zuerst das Relief skizziert, also die Geologie und das Quartär. Anschliessend folgen Klima, Gewässer (Hydrologie) Vegetation und Siedlung; Wirtschaft und Verkehr hingegen werden hier nicht behandelt.

### 2.1 Lage des Untersuchungsgebietes

Das Kartiergebiet liegt nördlich des Dorfes Scuol, welches der Hauptort des Unterengadins ist (Abb. 1). Das Unterengadin und das Oberengadin zusammen bilden das bekannte Hochtal des Engadins. Dieses liegt im Kanton Graubünden, im Osten der Schweiz und grenzt im Norden direkt an Österreich, im Osten und Süden an Italien. Das Tal, mit einer Länge von 91km, wird vom Oberen Inn durchflossen. Ausgehend vom Malojapass auf 1815m überwindet

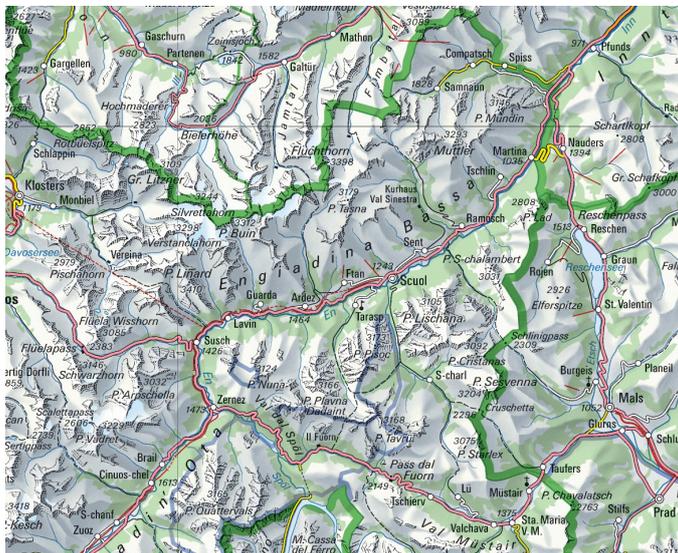


Abb. 1 Ausschnitt des Unterengadins aus der Topografischen Karte 1:500000 der Schweiz.

er dabei ein Gefälle von ca. 800 Höhenmetern bis nach Finstermünz auf 1035m. Das Oberengadin, welches vom Malojapass bis zur Enge Zernez-Susch reicht, ist ein breites Muldental mit relativ mildem Klima. Es ist mit dem Puschlav über den Berninapass, mit dem Bergell über den Malojapass und mit dem Ofenpass mit dem Vinschgau (Italien) verbunden. Das Unterengadin wird über den Flüela mit Davos, über die Norbertshöhe mit Nauders

(Österreich) und mit dem Ausgang des Inns bei Martina mit dem österreichischen Inntal verbunden (Quelle: Swisstopo). Der Name „Engadin“ (Engiadina) wird vom rätoromanischen Namen des Flusses Inn = En abgeleitet (Broschüre Scuol).

## 2.2 Die Geologie

### 2.2.1 Abriss der Entstehung der Alpen

Obwohl die Alpen ein erdgeschichtlich sehr junges Gebirge sind, was an markanten Bergketten, schroffen Felswänden, scharfen Graten und steilen, tiefen Tälern sichtbar ist, wobei sich andauernde Hebung und Abtragung durch Erosion in etwa die Waage halten (Labhart 1992), beginnt die komplexe geologische Geschichte der Schichtenabfolge des Engadiner Fensters und somit die des Kartiergebietes schon sehr früh in der Bildung der Alpen (Abb. 2).

Im Perm und in der Trias besteht der Riesenkontinent Pangäa als Folge der variszischen Gebirgsbildung, welche den Grundstock für die alpinen Sedimentabfolgen bildet. Ein passiver Kontinentalrand, aus welchem später Ost- und Südalpin hervorgehen, bildet den

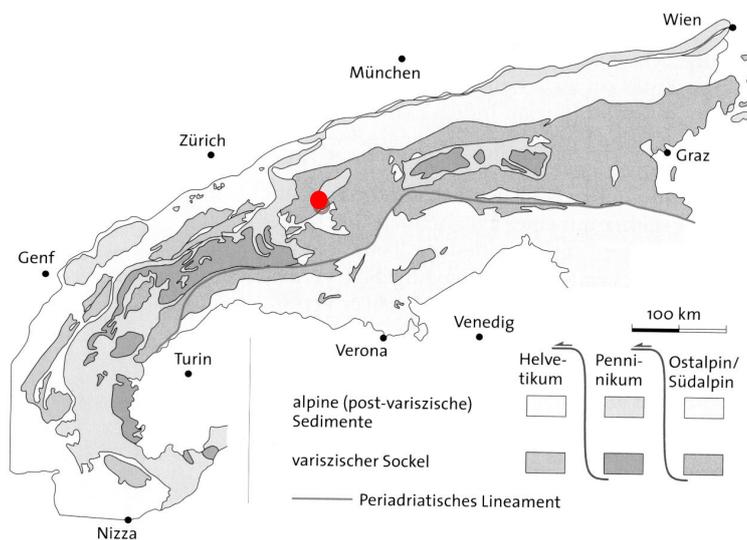


Abb. 2 Geologische Skizze der Alpen (W. Frisch und M. Meschede 2005). Der rote Punkt markiert die Lage des Untersuchungsgebietes.

Afrika von Europa. Zeitlich wird die Öffnung des Ozeans nach Schmid et al. (1990) der späten Jura, nach Frisch (1979) und Stampfli (1993) der frühen Kreide zugeordnet. Die Öffnung des Walliser Trogs beginnt in der frühen Kreide (Florineth und Froitzheim 1994), vermutlich an einer „low-angle detachment fault“ in der Tasna-Decke (Froitzheim 1998).

Zwischen den Schelfgebieten eingebettet liegt das Briançonnais -eine kontinentale Schwelle- (Mittelpenninikum), welche im Norden vom Walliser Trog (Nordpenninikum) und im Süden vom Piemonteser Trog (Südpenninikum) umgeben wird (Abb. 3 und Abb. 4). Überreste des Piemont-Ligurischen Ozeans werden in der Arosa Zone, der Platta Decke, in den Malenco-, Forno- und Lizuneinheiten und in den Bündnerschiefern des Avers gefunden. Die Tambo und Suretta-Decke, sowie die Sedimente der Schams-, Falknis und Sulzfluh-Decke, welche der Tasna-Decke zugeordnet wird (Trümpy 1972), entstanden aus der Briançonnais-Schwelle (Trümpy, 1980). Die Bündnerschiefer des Engadiner Fensters, sowie die Nordpenninischen Flysch-Decken der Zonen von Roz-Champatsch und Ramosch werden dem Walliser Trog zu-

Übergang zur Tethys. In der Trias sinkt der passive Kontinentalrand ab und wird von einem Schelfmeer überflutet, wobei Flachwassersedimente abgelagert werden (Labhart 1992, Trümpy 1980). Interessant für das Kartiergebiet ist die Entstehung des Penninischen Ozeans durch die Trennung

geordnet (Tektonische Karte der Schweiz 1:500.000). In jüngeren Arbeiten (Schmid et al. 1990, Dürr et al. und Stampfli et al. 1993 und Steinmann 1994) wird im Walliser Trog ozeanische Kruste vermutet und von Florineth und Froitzheim (1994) auch bestätigt (Abb. 3).

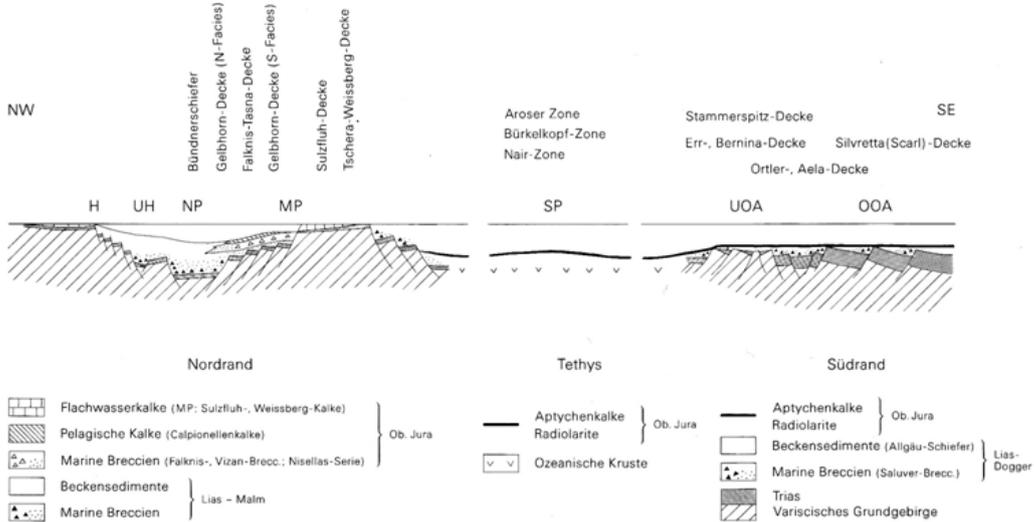


Abb. 3 Schematisches Querprofil der Tethys im späten Malm. H = Helvetikum, UH = Ultrahelvetikum, NP = Nordpenninikum, MP = Mittelpenninikum, SP = Südpenninikum, UOA = Unterostalpin und OOA = Oberostalpin (Gürler und Schmutz 1995)

In der Unterkreide spaltet sich die Adriatische Mikroplatte von der Afrikanischen Platte ab und kollidiert mit der Europäischen Platte. Im Paläozän beginnt das Brioçonnais zu subduzieren, im frühen Eozän ist dieser Vorgang beendet und der Walliser Trog geschlossen. Das Engadiner Fenster wölbt sich an der Grenze Oligozän/Miozän auf, die Engadiner Linie trifft auf die Schlingüberschiebung (Oberhauser 1980).

Insgesamt kann das Nordpenninikum als Überbleibsel eines Akkretionskeiles, welcher im Paläogen an einer südvergente Subduktionszone entstanden ist, interpretiert werden (Steinmann 1994).

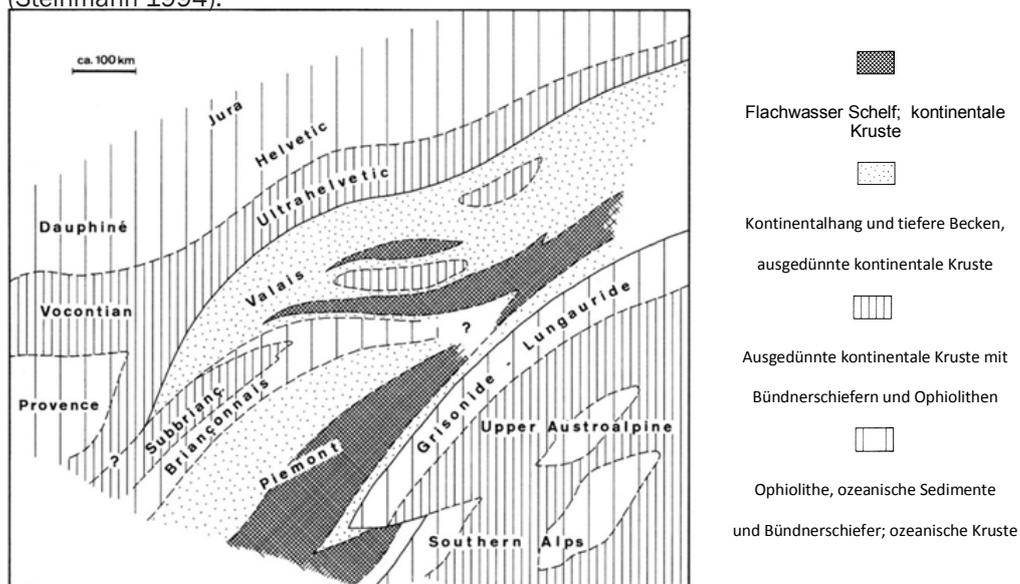


Abb. 4 In dieser Abbildung ist das Brioçonnais zu erkennen, welches zwischen Piemont-Ozean und dem Walliser Trog (Valais) liegt (Trümpy 1980).

Die Hauptorogenese findet im Tertiär als Folge der Schliessung des Penninischen Ozeans statt. Teile der erodierten Sedimente, vor allem Basalte und Ultrabasite, werden als Penninische-Decke nach Nordwesten geschoben. Der ostalpine Deckenstapel, bestehend aus dem hochmetamorphen, kristallinen Gestein der Adriatischen Mikroplatte, wird über den Eurasischen Südrand (Helvetikum) und die Penninische Decke transportiert und verfaultet. Entlang der Insubrischen Linie findet eine Rücküberschiebung nach Süden statt. Im Norden treten diese Gesteine an einigen Stellen wieder zu Tage. So entsteht ein Deckenstapel, der von oben nach unten das Ostalpin, das Penninikum und das Helvetikum umfasst (Frisch und Meschede 2005) wie es auch in der Detailansicht in der geologischen Karte des Engadiner Fensters sichtbar wird. In den letzten 20Ma bis heute führt die Verdickung der Kruste zu einer Propagation des Orogenes in südliche und nördliche Richtung. Verstärkte Erosion findet statt und die Vorländer füllen sich mit Sedimenten (Labhart 1992, Trümpy 1980).

## 2. 2. 2 Das Engadiner Fenster

Das Engadiner Fenster liegt in den östlichen Zentralalpen. Diese werden im Wesentlichen in zwei tektonische Stockwerke eingeteilt. Das obere Stockwerk wird von ostalpinen Altkristallindecken gebildet, welche durch ein massiges kristallines Fundament geprägt sind; das darunter liegende Stockwerk von kleinräumigen, unterostalpinen, penninischen und helvetischen Decken. Diese Decken treten, zusätzlich zum Engadiner Fenster, in weiteren Fenstern wie z.B. dem Tauernfenster, dem Gargellenfenster und dem Prättigauer Halbfenster an die Oberfläche.

Das Engadiner Fenster mit einer Länge von 55km und einer Breite von 17km wurde erstmals von Pierre Termier 1904 als solches erkannt. Hier stehen tiefer-gelegene penninische Decken, umgeben von austroalpinen Decken in Form eines Fensters an. Die im Fensterinneren liegenden Bündnerschiefer werden von den Zonen Roz-Champatsch und Ramosch,

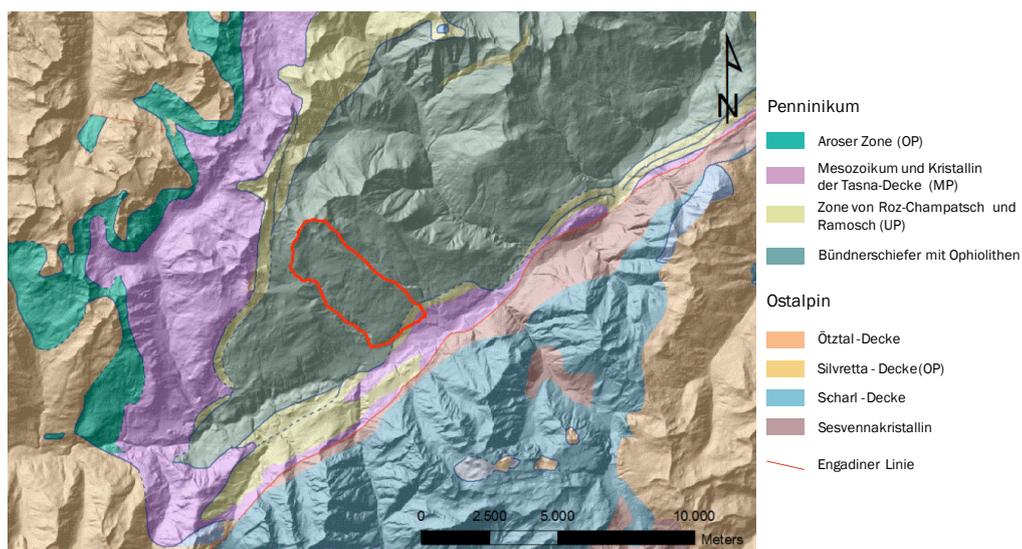


Abb. 5 Detailausschnitt des Engadiner Fensters, in rot eingezeichnet das Kartiergebiet. Um das Relief besser erkennbar zu machen, wurde die digitale geologische Karte der Schweiz mit einer Reliefkarte in ArcGIS hinterlegt.

Walliser Trog Dist. Europ. Kontinental- rand; z.T. ozean. Kruste	<p>Unterpenninische Sedimentdecken und -schuppen, Ophiolithe</p> <p><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #8B873E; border: 1px solid black;"></span> Nordpenninische Flysch-Decken → Zone von Roz-Champatsch und Ramosch</p> <p><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #4682B4; border: 1px solid black;"></span> Bündnerschiefer → des Engadiner Fensters</p>
Briançonnais- Schwelle Terrain mit kontinentaler Kruste und Subbriançonnais- Abhang	<p>Mittelpenninische Kristallindecken (z.T. mit Sedimentbedeckung)</p> <p><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #FF69B4; border: 1px solid black;"></span> Kristalline Deckenkerne → Tasna-Decke</p>
Piemont- esisch- ligurischer Ozean	<p>Ophiolithführende oberpenninische Sedimentdecken und -schuppen</p> <p><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #00CED1; border: 1px solid black;"></span> → Aroser Zone</p>

Abb. 6 Tektonische Einheiten im Unterengadin, nach der Tektonischen Karte der Schweiz 1:500 000.

welche dem Unteren Penninikum (bzw. Nordpenninikum) zugeteilt werden, umgeben. Diese wiederum werden eingefasst vom Mesozoikum und Basement der Tasna-Decke (Mittelpenninikum) und der Aroser Zone des Oberen Penninikums (Südpenninikum). Auf die Diskussion der Einteilung der Decken wird im Abschnitt: Zuordnung und Aufteilung der „Randzone“ genauer darauf eingegangen. Den eigentlichen Rahmen des Fensters bilden im Nordwesten und Westen das Altkristallin der Silvretta-Decke und im Süden die Unterengadiner Dolomiten der S-charl-Decke und das Sesvennakristallin. Im Osten wird die Silvretta-Decke vom Altkristallin der Ötztal-Decke abgelöst (Abb. 5, Tektonische Karte der Schweiz, 1:500000 und Abb. 6). Gegen Osten hin taucht der Deckenstapel des Engadiner Fensters ab und setzt sich im Prättigauer Halbfenster an der Oberfläche fort (Cadisch 1951, Abb. 7).

Allerdings kann die Sulzfluh-Decke des Prättigauer Halbfensters im Engadiner Fenster nicht nachgewiesen werden; die Falknis-Decke des Prättigauer Halbfensters wird im Engadiner Fenster der Tasna-Decke zugeordnet. Die Aroser Zone, sowie die Bündnerschiefer treten in beiden Gebieten auf. Das Engadiner Fenster ist im Gegensatz zu der einfachen Deckenan-

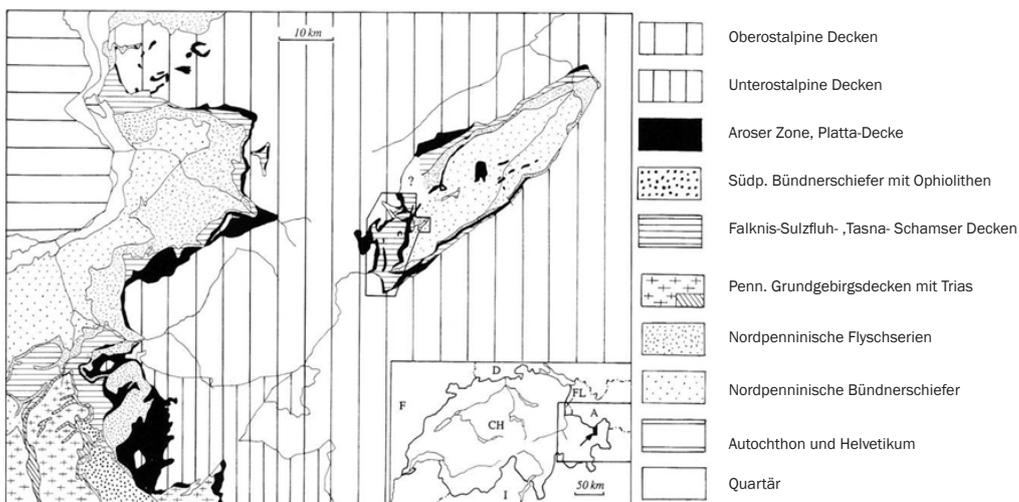


Abb. 7 Tektonische Übersicht des Engadiner Fensters im Zusammenhang mit dem Prättigauer Halbfenster (Gürler 1995).

ordnung im Prättigauer Halbfenster durch Deckenstapelung mit komplizierten Verschüppungen charakterisiert (Hsü 1991, Gürlér und Schmutz 1995). In Abb. 8 von Hitz (1994), erstellt aus Reflexionsprofilen, wird der Untergrund des Engadiner Fensters dargestellt.

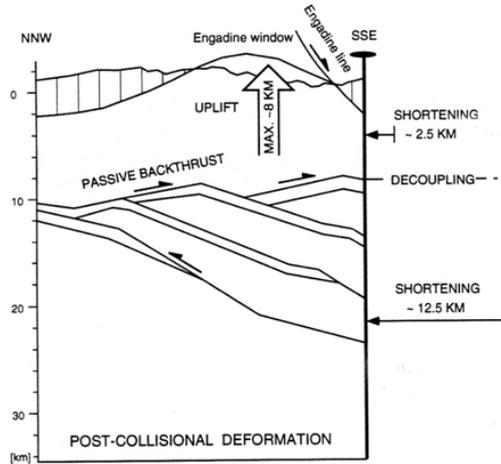


Abb. 8 Im linken Bild ist ein Modell der Entwicklung des Engadiner Fensters dargestellt, welches aufgrund der Reflexionsprofile E2 und E3, aufgenommen im Rahmen des NFP20-Forschungsprojektes, erstellt wurde. Passive Rückverfaltung, Verkürzung des gesamten Gebietes und Hebung prägen das Bild. Im rechten Bild wurden die seismischen Daten mit geologischen Informationen hinterlegt.

Die Engadiner Linie, eine steile Abschiebung im Süden des Engadiner Fensters, trennt die S-charl-Decke vom Penninikum. Nach Schmid (1993) wurden hier die Penninischen Decken relativ zu den südöstlich gelegenen Ostalpinen Decken um ca. 6km angehoben, der Linksversatz beträgt 5-15 km (Oberhauser 1980). Im Westen wird die Engadiner Linie im Bergell wirksam und trifft etwa nördlich von Nauders mit der Schliniglinie zusammen. Zwischen der Silvretta-Decke und dem Penninikum liegt eine ausgeprägte Überschiebungsfläche vor. Zwischen Ötztal-Decke und den beiden ostalpinen Decken, sowie dem Penninikum, liegen die Wennser Linie und die Schliniger Linie, bzw. Schlinigüberschiebung (Mattmüller 1998).

Nach Pfiffner (2009) können die Briançonnais-Sedimente vom Engadiner Fenster und die Klippen der Zentralalpen bis in die penninischen Decken der Westalpen paläogeographisch als dieselbe Zone verstanden werden.

(Anmerkung: Es gilt zu beachten, dass die Begriffe „Ostalpin“ und „Penninisch“ mit Eigenschaften eines Ablagerungsraumes verbunden werden. Allerdings werden diese Begriffe in der Alpengeologie vorwiegend als Bezeichnung für Fazies aber auch für tektonische Stockwerke verwendet, was jedoch nicht immer übereinstimmt (Mattmüller 1999)).

### 2. 2. 3 Zuordnung und Aufteilung der „Randzone“ des Engadiner Fensters

Im sedimentologischen Einzugsbereich im Norden des Kartiergebietes grenzen die Gesteine der Tasna-Decke an die Bündnerschiefer an. Da somit das Sediment im Kartiergebiet davon beeinflusst ist, wird an dieser Stelle auf die Diskussion der Aufteilung der „Randzone“ bzw. die tektonische Stellung der Tasna-Decke und die Einteilung der Zonen Roz-Champatsch und Ramosch in der Literatur eingegangen: Die Arbeiten vor allem von J. Cadisch et al. (1938, 1939, 1942, 1956, 1963 und 1968) dienen als Grundlage für zahlreiche Arbeiten im Unterengadin. Hier werden die Bündnerschiefer im Inneren des Fensters von einer Randzone eingefasst, welche aus oberpenninischen und unterostalpinen Einheiten zusammen-

gesetzt ist. Die von Cadisch benannte „Randzone“ wurde von den verschiedenen Autoren unterschiedlich bezeichnet und zugeordnet.

Bei Cadisch (1941) wird die Tasna Decke dem Unterostalpin zugeteilt. Im Geologischen Atlas der Schweiz 1:25.000, Blatt 14, Ardez, bei Spaenhauer et al. (1940) wird sie weiter unterteilt in die Serie von Ardez und in die Crap-Putèr-Schuppe. Trümpy (1972) stellt sie in das Mittelpenninikum. Durch seine Einteilung trennt er die Aroser Zone von der Tasna-Decke tektonisch ab. Gürler und Schmutz (1995) stellen diese, ebenso wie Florineth (1994) und Florineth und Froitzheim (1994), Zimmermann (1999) und Hecker (1999), in das Mittelpenninikum. Nach Cadisch et al. (1941) wird die Zone zwischen Tasna-Decke und Bündnerschiefer dem Südpenninikum, bzw. als Zone von Ramosch und Roz-Champatsch (oder Roz-Champatsch-Pezid bei Oberhauser, 1980) bei Trümpy (1972) und Florineth und Froitzheim (1994) dem Nordpenninikum, zugeteilt. Florineth und Froitzheim (1994) erkennen in der Tasna-Decke einen Übergang von kontinentalem Basement der Briançonnais Schwelle zur ozeanischen Kruste des Valais Ozeans (Walliser Trog), welche durch das Tasna-Kristallin und den Piz Nair Serpentinitt gebildet werden. Die Ramosch-Zone, welche auf die Roz-Champatsch-Zone aufgeschoben ist, wird als Mélangezone betrachtet. Gürler und Schmutz (1995, Abb. 9) unterscheiden noch die Nair-Zone und die Fuorcla-Soèr-Zone (Bündnerschiefer) im Südpenninikum, sowie die Champatsch-Schuppe im Mittelpenninikum. Hsü und Briegel (1991), Hecker (1999) und Zimmermann (1999) benennen diese Zwischenzone ebenfalls als Mélange-Zone, wobei Letztere diese dem Nordpenninikum zuordnen. Allerdings kann Hecker (1999) keine Metamorphose-Diskontinuität zwischen Tasna-Decke und den Bündnerschiefern feststellen. Die Bündnerschiefer, klar dem Nordpenninikum zugeteilt, benennen Cadisch et al. (1968) als Zone der Rozschiefer, Hecker und Zimmermann teilen sie in obere, mittlere und untere Bündnerschiefer ein.

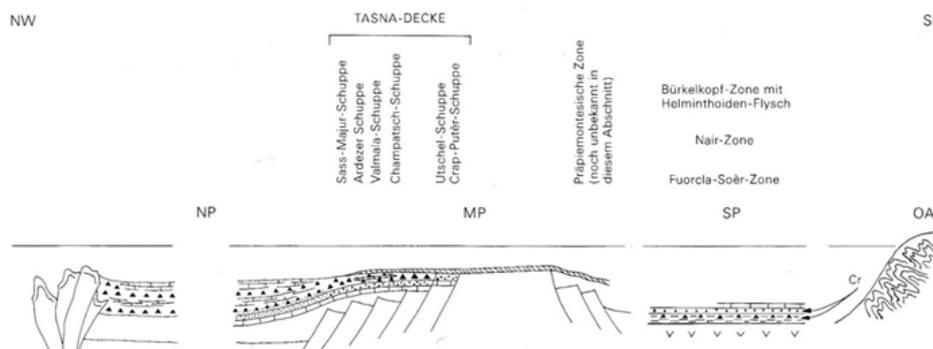


Abb. 9 Ausschnitt der Aufteilung der „Randzone“ nach Gürler und Schmutz (1995), dargestellt in einem schematischen Querprofil. NP = Nordpenninikum, MP = Mittelpenninikum, SP = Südpenninikum.

## 2.3 Das Quartär

### 2.3.1 Die quartäre Landschaft des Unterengadins

Das Unterengadin wird im Norden von der Silvretta-Gruppe eingegrenzt, im Süden säumen die Engadiner Dolomiten das Tal. Bei Zernez öffnet sich das Unterengadin mit einem überraschend weiten Becken, im weiteren Talverlauf wechseln sich Talengen und Weitungen mit beckenartigem Charakter und geringem Gefälle ab. Vor Scuol gräbt sich der Inn durch rückschreitende Erosion tief in den Bündnerschiefer ein. Von Scuol bis Ramosch weitet sich das Tal, bevor es sich bei Martina wieder zu einer Schlucht verengt. Diese Abwechslung von Engstellen und Talweitungen schreibt Schlusche (2003) der unterschiedlichen Erosionsbeständigkeit zu. Im Raume Martina-Sur En prägen Schwemmkegel das Landschaftsbild.

Die Form des Tales ist aufgrund von glazialer Erosion leicht Trogförmig. Schlusche (2003) kartiert Terrassen, welche auf einer Höhe von 1400m bis 1600 m dem Tal folgen. Durch die tiefere (glaziale und vermutlich auch fluviatile) Erosion im Haupttal bedingt, bilden die Nebentäler Hängetäler aus. Der Unterschied im Gefälle wird durch Schlucht- bzw. Klamm-bildung (Clemgiaschlucht und Mündungsschluchten von Valle d` Uina, Val Sinestra, Val d` Assa, Nauderer Stillerbachschlucht und Samnaun) überwunden (Schlusche 2003).

Die Meinung über die Entwicklung von Tälern hat sich mit der Zeit sehr geändert. Während man früher die Eintiefung der Täler in der Warmzeit betrachtete, gehen aktuellere Forschungen davon aus, dass sich der Eintiefungsprozess über die Warmzeiten hinaus auch in die Kaltzeiten erstreckte. Bei einem Vorstoss von Gletschereis in zuvor nicht vergletscherte Gebiete und dem anschliessenden Zurückweichen, kommt es zu einer Eintiefung, welche u.a. von der Erosionsbasis abhängt. Erst durch das Absenken der Erosionsbasis kann anschliessend die Umgebung erodiert werden.

Penck (1912) sah den Grund der Entstehung von Trogtälern (U-Tälern) in der Tiefenerosion der Gletscher, wohingegen Louis (1952) sie in der Ausweitung der Talseiten durch die Gletscher sah. Seit Kuhle 1991 gilt, dass zähplastisches Eis Sohle und Wände abschleift und die höchste Erosionsrate in der Mitte der Sohle liegt, weil dort das Eis die höchste Fließgeschwindigkeit hat.

Im Unterengadin ist aufgrund der vorherrschenden petrografischen Unterschiede und dem tektonischen Gefüge der Talquerschnitt des Inns ab Scuol sehr asymmetrisch. Das Tal kann hier als Deckenrandtal bezeichnet werden. Orografisch links des Inns sind die Hänge aus Bündnerschiefer flach und stufenförmig (Abb. 10), die rechte Talseite wird von der Strin-flucht der Unterengadiner Dolomiten dominiert.

Älteste Reste eines Inntalbodens aus dem ausklingenden Tertiär sehen die Autoren Penck & Prückner (1909), sowie Machatschek (1933) und Sölch (1935) an den Terrassen bei Guarda, Ftan, Tschlin, Serfaus und Fiss. Die weitere Taleintiefung erfolgt dann phasenweise während der Glaziale und Interglaziale rückschreitend vom Alpenrand her. Von der würmeiszeitlichen Vergletscherung und ihren Spätphasen ist vielerorts noch eine Grundmoränendecke erhalten (Schlusche 2003).

Das Landschaftsbild in den Alpen wird vorwiegend durch das Verhalten von Gletschern in den letzten 20k Jahren geprägt, wobei eine maximale Ausdehnung der Gletscher vor ca. 20k Jahre vor heute (LGM) stattgefunden hat. In den folgenden 10k Jahren gibt es mehrere Gletschervorstösse, bzw. Rückzüge, in denen die grössten Täler der Alpen eisfrei werden. Ab der Jüngeren Dryas gibt es kein zusammenhängendes Gletschernetz mehr. Sedimentabtragung und Sedimentablagerung wechseln sich in den verschiedenen Vereisungsphasen ab (Hinderer 2001). Schlusche geht ebenfalls von einer Hauptzerfallsphase des Inngletschersystems vor der Alleröd-Wäremschwankung (ca. 12.000BP) aus. Es kommt zu erneuten kleineren Vorstössen der Lokalgletscher (im Unterengadin zeitlich kaum zuordenbar), welche im Inntal teilweise noch auf Toteis treffen. Die Talentwicklung wird nun von Abschmelzprozessen und Stauseebildungen an Eisträndern, sowie durch Seeablagerungen und Schmelzwassersedimenten geprägt.



Abb. 10 Foto der orografisch linken Seite des Inns, im Vordergrund das Dorf Scuol. Der Hang oberhalb der Gemeinde Scuol (hier links im Bild) wird von der Clozza durchschnitten (© Photoramacolor AG, 1997). Blick nach Osten.

Vorwiegend bei den angeschnittenen und übersteilen Hängen der linken Talseite kommt es durch die Eisentlastung zu talwärts gerichteten, hangparallelen Massenbewegungen und durch das Gefüge bedingt zu Felsgleitungen. Insgesamt kann der gesamte linke Hang von Ftan bis Martina in einzelne Sackungssegmente unterteilt werden, welche teilweise nach wie vor in Bewegung sind (Schlusche 2003).

Ein nacheiszeitlicher Bergsturz vom Mundinhang in die Finstermünzer Innschlucht, von Cadisch 1938 verzeichnet, hatte die Bildung eines Stausees zur Folge, welcher bis nach Scuol zurückreichte. Die Reste dieser Schwemmebene sind - allerdings verkippt - in Scuol an der Bahnhofsterrasse (Cottüra plana) erhalten (Schlusche 2003). Scuol selbst liegt auf einem grossen Schwemmkegel (Abb. siehe Anhang).

### 2.3.2 Bodenbildung

Im Tal selbst sind karbonatische Schwemmböden vorhanden (hellgrün), im restlichen Untersuchungsgebiet herrschen Pararendzinen (grau) vor (Abb. 11). Diese Bodenart entwickelt sich vorwiegend auf Geschiebemergeln: der A-Horizont ist weniger als 40cm mächtig (Scheffer/Schachtschabel 2002). Im Nordwesten reicht eine Zunge von alpinem Podsol (hellrosa) bei Champatsch in das Gebiet. Dieser ist gekennzeichnet durch Auswaschung von

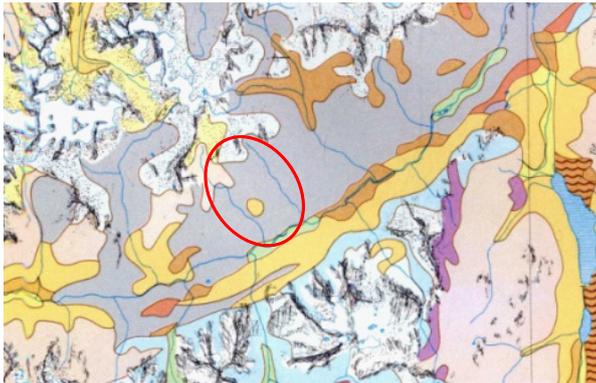


Abb. 11 Ausschnitt aus der genordeten Bodenkarte 1:300000 des Tirolatlas. Erklärung der Legende im Text. Das Untersuchungsgebiet befindet sich innerhalb der roten Ellipse.

Nährstoffen mit Sickerwasser und Mangel an Tonmineralen im oberen Bodenhorizont. Podsole entwickeln sich vorwiegend auf eher sauren Ausgangsgesteinen, welche arm an Calcium und Magnesium und leicht durchlässig sind. Nach Scheffer und Schachtschabel (2002) werden Podsole im alpinen Bereich auch als Nanopodsole mit geringmächtigen Bleichhorizonten charakterisiert. Diese kommen selbst auf Ca- und

Mg-reichen Gesteinen, wie eben Serpentiniten, vor. Gut zu erkennen ist der Einfluss des verschiedenen Lockermaterials auf den Bodentyp. Interessanterweise liegt nach der Bodenkarte auch mitten im geologischen Untergrund des Bündnerschiefers eine kleine Fläche von Semipodsol (gelb) vor.

### 2.3.3 Klima

Nach Bätzing (2003) können die Alpen in vier Hauptklimaregionen eingeteilt werden. Dazu gehören die warmen inneralpinen Trockenzone, der warme geprägte Süd- und der kühl geprägte Nordsaum sowie der kontinental geprägte trockene östliche Teil der Ostalpen. In allen Gebieten ist ein „hochgebirgstypischer Klimawandel“, womit eine Temperaturabnahme von ca. 0,5°C/100m Höhe gemeint ist, wichtig. Das Engadin gehört mit einem mittleren jährlichen Niederschlag (1971-1990) von bis zu 1200mm zur Inneralpinen Trockenzone.

Nach der Klimakarte des Tirolatlas (Abb. 12) herrscht im Tal des Unterengadins, ebenso bei Scuol, der Klimatyp B vor, welcher durch ein mittleres Temperaturmaximum im Juli (von 1931-1960) von 13,5°-25°C definiert wird. B1 bedeutet ein inneralpines Trockengebiet mit weniger als 100mm Winterniederschlag und relativer Sonnenscheindauer von über 55%. In der Zone B2 erhöht sich der Winterniederschlag auf 150mm, die Sonnenscheindauer ist etwas verkürzt. Derselbe Niederschlag, aber etwas tiefere mittlere Tagesmaxima von 13,5° bis 5°C, liegen in der Stufe C2 vor. Im Norden grenzt das untersuchte Gebiet an die Stufe C3 mit denselben Temperaturen, jedoch höheren Winterniederschlägen (150-300mm).

Die mittlere jährliche Niederschlagsmenge der Stufe 1 und 2 liegt hier zwischen 400 und 1000mm (Scuol bei 690mm von 1901-1960, bzw. 721mm von 1970-2008), in der Stufe 3 bis 1500mm.

Beim Vergleich der Niederschläge der letzten Jahre fallen die niederschlagsreichen Jahre 1999, 2000 und 2002 auf, wobei die beiden letzteren von Starkniederschlägen mit 220 bis 270mm jeweils im November gekennzeichnet sind. Die Jahre von 2003 bis 2007 fallen mit maximal 600mm pro Jahr sehr trocken aus. Niederschlag ( $\geq 1\text{mm}$ ) fällt im Mittel an knapp 100 Tagen im Jahr. Die Niederschläge im Jahr 2008 sind über das ganze Jahr verteilt und liegen mit 801mm im mittleren Bereich.

Mit dem geringen Niederschlag gehen viele Sonnenstunden und eine geringe Bewölkungsdauer einher. Im Winter steigert sich die maximale Schneehöhe von 75cm im Tal auf über 300cm in Richtung der Bergspitzen (Abb. 13, Fliri 1970).

Uttinger (in Walser 1968) stellt bei der Messstation Scuol (von 1901-1960) eine mittlere Jahrestemperatur von  $5^\circ\text{C}$  fest. In den Jahren 1970 bis 2008 steigt diese auf  $5,2^\circ\text{C}$  bzw.  $5,8^\circ\text{C}$  im Jahr 2008.

Bei der Messstation Motta Naluns (Schlivera) auf einer Höhe von 2400m (W des Kartiergebietes), liegt die mittlere Jahrestemperatur von 1970 bis 2008 bei  $0,5^\circ\text{C}$ ; im Jahr 2008 bei knapp  $0^\circ\text{C}$  (Niederschlagsdaten von 1970-2008 von Meteoschweiz).

## 2. 3. 4 Hydrologie

Der Inn entwässert das Engadin mit einem mittleren jährlichen Abfluss von 39 bis  $77\text{m}^3/\text{s}$ . Bei Hochwasser kann er bis zu mehreren  $100\text{m}^3$  Wasser führen. Darauf Einfluss hat auch der Rückzug der Gletscher- und Firnflächen im schweizerischen Innggebiet. M. Maisch (1992) errechnet im Kanton Graubünden einen Rückgang der Gletschervolumina von  $18\text{ km}^3$  auf  $\sim 10,6\text{ km}^3$  zwischen 1850 und 1973, was einem Wasseräquivalent von etwa  $6,7\text{ km}^3$  entspricht. Ein Beispiel hierfür ist der grösste Gletscher des Unterengadins, der Sesvenna Vad-

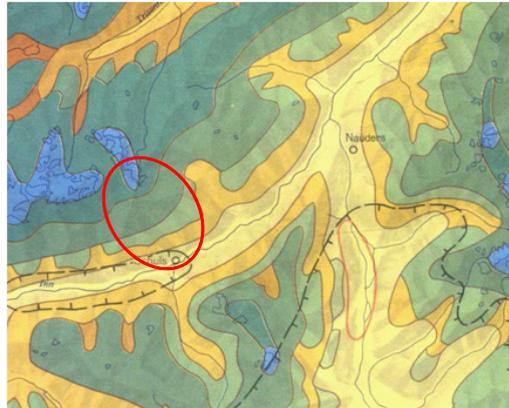


Abb. 12 Ausschnitt des Unterengadins der Klimakarte des Tirolatlas. Scuol ist mit einem roten Kreis gekennzeichnet.



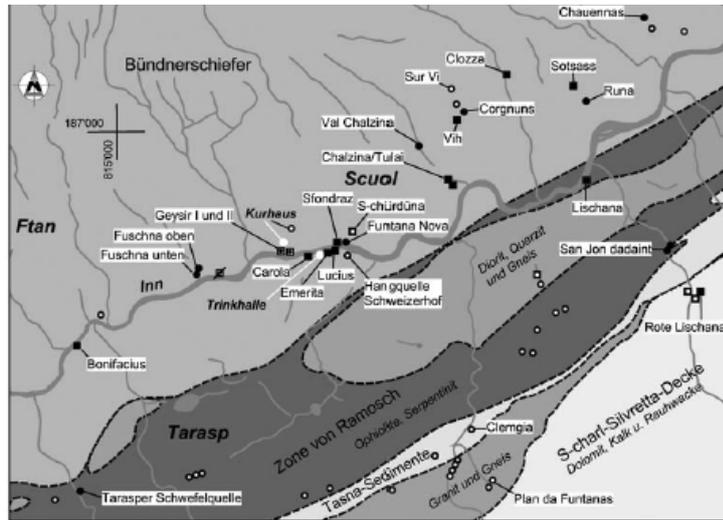
Abb. 13 Ausschnitt aus der Karte der Schneehöhen des Tirolatlas im Massstab 1:300000. Hier wird der Durchschnitt der grössten, jährlich gemessenen, Schneehöhe (von 1930/1931 bis 1959/1960) angegeben. In braun sind die Stufen von 0 bis 50m Schneehöhe dargestellt; von dunkel nach hellblau von 50 bis 300cm. Das Untersuchungsgebiet ist mit einer roten Ellipse eingrahmt, die Karte ist genordet.

ret Da, mit einem Rückgang zwischen 1850 von 1,5km<sup>2</sup> auf 0,79 km<sup>2</sup> (1973) im Jahr 1973. Entlang des Unterengadins münden zahlreiche Gebirgsbäche in den Inn, bei Scuol ist dies beispielsweise die Clozza. Die Quantität dieser Zuflüsse ist stark von den Jahreszeiten und der regionalen Wetterlage abhängig.

Das Gebiet bei Scuol ist bekannt für seine zahlreichen Mineralquellen, welche von P. Bissig

(2006) genauer untersucht und klassifiziert wurden. Dabei stellte sich heraus, dass wie in Abb. 14 gezeigt, einige Quellen von Tiefenwässern gespeist werden. Jene am Hang nördlich von Scuol, welche für das Kartiergebiet von Bedeutung sind, werden vorwiegend durch Meteorwasser beliefert.

Dieses sickert in Hanglagen ein, zirkuliert mit einer Verweilzeit von



Legende □ ○ Quelle gefasst / ungefasst erbohrte Mineralquelle / «Geysir»-Bohrung  
 ● Mineralquelle gefasst / ungefasst (et. Leitfähigkeit > 1000µS/cm)

Abb. 14 zeigt die Verteilung der mineralisierten Quellen in der Umgebung von Scuol (Bissig 2006).

weniger als 5 Jahren im Bündnerschiefer und kommt dann wieder an die Oberfläche. Diese Quellen, mit teilweise hohen Gehalten an freiem CO<sub>2</sub>, werden von Bissig zu den Calcium-Hydrogenkarbonat-Wässern zugeordnet. Etwas höher im Kartiergebiet befinden sich zahlreiche Quellen, welche im Laufe der Arbeit genauer kartiert und untersucht werden. Auffallend hierbei ist das aktive und verwobene Gewässernetz und die vielen vernässten Stellen östlich von Jonvrai.

### 2. 3. 5 Vegetation und Siedlung

Das Engadin beherbergt eine mannigfaltige Mischflora und -fauna. Durch die Öffnung nach Osten, welche in der Schweiz einzigartig ist, kommen auch Arten pontischer und sarmatisch-sibirischer Herkunft hier vor (Heller 1978).

In der Vegetationskarte (Abb. 15) sind die grossen Täler wie das untere Engadin und der obere Vinschgau mit ihrer typischen Vegetation zu erkennen. Am Talboden des Engadins erstreckt sich ein schmaler Streifen Auwald mit Schwarzerlen bzw. Bruchwald (dunkelblau). Auf der rechten Talseite grenzt dieser an eine inneralpine Trockenheide mit Kiefernwald und südalpinem Hopfenbuchenwald (rot). An nördlicher Seite schliessen sich inneralpiner Trockenrasen und Trockengebüsche an. Diese werden bei Scuol von einem Streifen (hellgrün) montanen und subalpinen Fichtenwaldes bzw. Lärchen-Fichtenwaldes gesäumt.

Auf einer Höhe von knapp 2000m NN schliesst sich ein subalpiner Zirbelwald mit Lärchen

an, nur bei Jonvrai und weiter, Richtung Westen, gibt es Legföhren-Krummholz: Dazu gehören Silberwurzheide mit Zwerg-, Glatt- und Bäumchenweidengebüsch und Schneeheidebestände. Das nördlichste Gebiet wird von Pioniervegetation, Schutt- und Schneetälchenvegetation und alpinen Grasheiden geprägt.

Menschliche Aktivitäten reichen im Oberengadin bis in die Bronzezeit zurück. Dies konnte unter anderem durch Pollenanalysen aus Seebohrkernen aus dem St. Moritzsee nachgewiesen werden. Die Pollen des damaligen, natürlichen Waldbestandes von Fichte, Wald- und

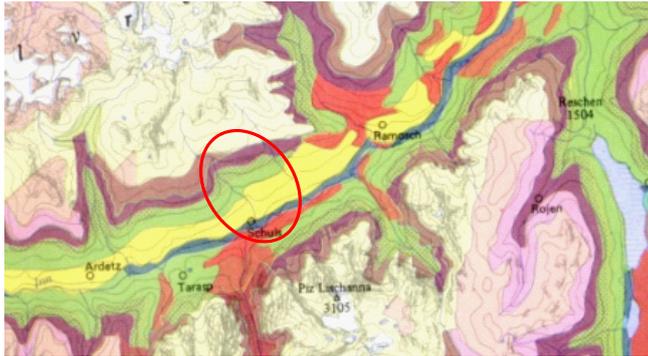


Abb. 15 Ausschnitt aus der Vegetationskarte des Tirolatlas, 1:300000. Die Karte ist genordet, die Legende wird im Text erklärt.

Bergföhre, Arve und Lärche wurden in der Bronzezeit stark minimiert, was mit der Rodung des Waldes, aufgrund von Besiedelung und Schaffung neuer Weideflächen, korreliert wird.

<sup>14</sup>C Altersdatierungen, welche an Holzkohleresten in 15 Bodenprofilen in der Terrassenlandschaft bei Ramosch direkt über dem Festgestein ermittelt

wurden, sind sogar jungsteinzeitlich. Offen bleibt, ob das Gebiet brandgerodet wurde oder ob es schon Ackerflächen gab. Der Bau der Terrassen selbst steht vermutlich im Zusammenhang mit dem Sesshaftwerden in der Bronzezeit (A. Raba 1996).

Urkundlich erwähnt wird das Dorf Scuol erstmals im Jahr 1078. Scuol, was vermutlich von dem lateinischen Wort scopulus abgeleitet wurde, bedeutet soviel wie Klippe. Von dem Chronisten Durich Chiampell erfährt man 1573 von den Mineralquellen.

Die etwa 14.400ha grosse Fläche der Gemeinde wird in 55% Wiesen und Weiden, 12% Wald und 33% unproduktive Fläche eingeteilt (Angaben der Gemeinde Scuol). Im Talboden, in und um das Dorf Scuol, gibt es vorwiegend Ackerland und Fettwiesen, welche durch Düngung und Bewässerung zweimal im Jahr geschnitten werden können. Auf der nördlichen Talseite gehen diese in eine langsam ansteigende Terrassenlandschaft über, welche ursprünglich mit Getreide bebaut und nun im Frühjahr und Herbst als Weide genutzt wird (Abb. 16). Ab einer Höhe von 1.400m NN prägen Blumen- und Bergwiesen das Bild, welche nur einmal geschnitten werden. Auf einer Höhe über 1.700m werden die Bergwiesen intensiv durch Kühe, Rinder und Schafe von Juni bis September beweidet. Diese Beweidung führt zu nicht unerheblicher Erosion.

## 2.4 Das Untersuchungsgebiet

Das untersuchte Gebiet umfasst den nördlichen Teil der Gemeinde Scuol im Engadin. Es hat eine Grösse von ungefähr 10km<sup>2</sup>. Die Grenze des kartierten Gebietes verläuft von der Clozzabrücke bei Scuol der Clozza entlang Richtung Nordwesten bis nach Jonvrai. Bei Champatsch folgt sie dem Bergrücken bis zum Piz Champatsch und orientiert sich dann am Grat bis zum Sattel Fuorcla da Soèr. Von dort läuft sie im Tal vor dem Rücken des Piz Soèr und hinter der Schiliftstation Salaniva schräg südlich nach Taslaina, um dann über Mot San Peder und Vastur, erneut in südliche Richtung am Bächlein des Val Schüra zur Stradella vers



Abb. 16 Luftbild bei Scuol. Das Kartiergebiet ist rot eingrahmt.

Scuol und dieser folgend, nach Scuol zurückzufinden (Abb. 16).

Den tiefsten Punkt bildet das schon zuvor beschriebene Dorf Scuol mit 1250m NN an der Clozzabrücke, die höchsten Spitzen im Kartiergebiet sind der Piz Champatsch im Nordwesten mit 2920m NN und der Piz Soèr im Nordosten mit 2912m NN, welche durch die Fuorcla da Soèr getrennt werden.

Eckkoordinaten des Untersuchungsgebietes:

NO: Fuorcla da Soèr: 816.204 / 191.903

NW: N' von Jonvrai: 815.300 / 190.731

SO: Nähe Sent: 820.552 / 188.376

SW: Scuol, Clozzabrücke: 818.561 / 187.202

## 3. Durchgeführte Untersuchungen

### 3.1 Kartierung

Das Hauptaugenmerk der Kartierung im Massstab 1:5000 galt dem anstehenden bzw. vermutlich anstehenden Gestein. Das Streichen und Fallen wurde eingemessen und geomorphologische Besonderheiten kartiert. Desweiteren wurde eine hydrologische Karte erstellt. Als Grundlage wurden topographischen Karten im Massstab von 1:10000 verwendet (UP Blatt 4997 und 4995). Um eine möglichst hohe Genauigkeit zu erreichen, wurde im Gelände zusätzlich mit einem Satelliten gestützten System gearbeitet. Vor allem im nördlichen Abschnitt des Gebietes war dieses eine grosse Hilfe, da es kaum Anhaltspunkte gab und



Abb. 17 Handcomputer GeoXH von Trimble

das Blickfeld durch die hügelige Landschaft eingeschränkt wurde. Das Gerät, ein GeoXH von Trimble (Abb. 17) ist ein handlicher Feldcomputer mit integriertem GPS-Empfänger. Da der GeoXH mit der Software ArcPad von ESRI ausgestattet ist, können im Gelände Punkte aufgenommen und bereits mit Symbolen versehen werden. Nach der Kartierung werden die gewonnenen Daten ins ArcGis 9.2 von ESRI übertragen und korrigiert, d.h. sie werden mit einer Referenzstation abgeglichen wodurch der eingemessene

Punkt noch genauer bestimmt werden kann. Der Fehlerbereich liegt im cm-Bereich, wenn man in der Nähe einer Referenzstation arbeitet. Im Engadin beträgt der Fehler einige dm. Die Daten des GeoXH und der Kartierung von Hand wurden anschliessend im Programm ArcGis bearbeitet. Zusätzlich zu den digitalen topografischen Karten wurden die digitale Geologische Karte der Schweiz und ein digitales Höhenmodell der Schweiz (DHM25) verwendet.

## 3. 2 Probenahme

### 3. 2. 1 Sedimente

Für geotechnische Untersuchungen wurden im quartärgeologisch interessanten Mittelteil, östlich von Jonvrai, sieben gestörte Lockergesteinsproben genommen. Jede besteht aus 5-10kg Lockermaterial und wurde mit Pickel und Hammer aus einer Tiefe von ca. 20cm. herausgearbeitet. Die Aufschlüsse befinden sich an steilen Abrisskanten und in Einschnitten von Bächen.



Abb. 18 Beprobte Lockersedimente an ihrem Ablagerungsort. Die Proben 234, 235 und 276 wurden etwas weiter talwärts genommen. Aufnahme des Fotos im September 08, etwas oberhalb von Motta Naluns.

Die auffällige Färbung des Lockermaterials wurde als Auswahlkriterium für Probeentnahmestellen herangezogen. Die farblichen Unterschiede kommen durch die verschiedenen lithologischen Ressourcen, bzw. den unterschiedlichen Einzugsgebieten des Materials zustande. Im Gebiet bei Jonvrai hat das Korngemisch eine türkise Farbe. Hier wurde die Probe 255 entnommen (Abb. 18). In Richtung Nordosten geht die Farbe allmählich in ein bräunlich-gräuliches Sediment über, wobei die bräunliche Farbe auch unterhalb des türkisen Materials mit zunehmender Entfernung zu Jonvrai zum Vorschein kam. Schon die Probe 237, welche knapp unterhalb der vorherigen Probe liegt, ist bereits von braunerem Material geprägt. Desweiteren wurden türkis-braun gemischte Aufschlussorte entlang des Weges von Jonvrai nach Flöna ausgewählt. Interessant sind hierbei die Probenpaare 274/275 und 234/235. Diese wurden jeweils aus einem grossen Aufschluss geholt, wobei die höher gelegenen Abschnitte eher türkis und die tiefer gelegenen eher braun geprägt sind.

Um das Bild der Lockersedimente in diesem Gebiet zu vervollständigen, wurde auch eine lockere Probe von verwittertem Bündnerschiefer im Einschnitt der Clozza geholt. Somit decken die Proben einen Grossteil des verschiedenartigen Lockermaterials im Gebiet ab.

N' von Jonvrai konnte auch eine ungestörte Probe (214) genommen werden. In einem steilen Bachanschnitt wurde der Hang etwas abgegraben und ein ca. ein kg schweres Stück herausgearbeitet, wobei die Härte des Materials den Einsatz von Hammer und Meisel ver-

langte. Die Probe wurde anschliessend in Alufolie eingepackt, um den Wasserverlust einzudämmen und eingepipst, damit sie sicher transportiert werden konnte.

### 3. 2. 2 Wasser

Im Untersuchungsgebiet wurden elf Wasserproben genommen, um einige wichtige und kennzeichnende Ionen zu bestimmen, welche vielleicht auf die Herkunft des Wassers schliessen lassen und somit eine Idee der Fliesswege des Wassers zulassen.

Die Quellen 257 bis 263 liegen an den höchsten Quellhorizontlinien oberhalb des grossen

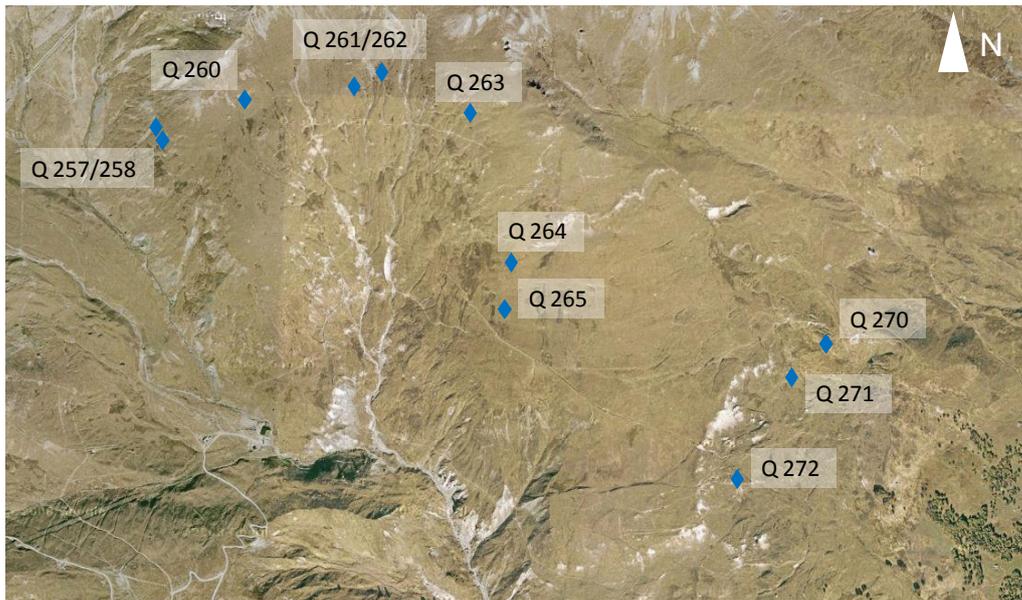


Abb. 19 Überblick über die beprobten Quellen im Norden und Nordosten von Jonvrai (Quelle: google-earth).

Plateaus bei Salaniva (Abb. 19), zwei weitere auf dem grossen Plateau westlich von Sur Bos~cha (264/265). Unterhalb des Plateaus wurden in südöstlicher Richtung (zwischen Davo Mot, Patain und Martaros) drei weitere Quellen (270-272) beprob. Diese Quellen wurden als perennierend vermutet und liegen im Bereich einer grösseren Anrisskante.

Pro Quelle wurden ca. 200 ml Wasser mit einer Spritze aufgesogen. Das Wasser wurde mit einem 0,2 µm Filter filtriert und in Plastikfläschchen abgefüllt. Bis zur Messung wurde darauf geachtet, diese möglichst kühl zu lagern.

Anfang Oktober wurden Referenzproben vom ersten Schneefall bei der Bahnstation auf Motta Naluns (2150m NN) und in Scuol (1300m NN) eingesammelt.

### 3. 3 Methodik

Alle geotechnischen Versuche wurden im Labor des Geozentrums in Burgdorf durchgeführt. Dabei kam für die jeweiligen Versuche die Schweizer Norm der Vereinigung Schweizer Strassenfachleute zur Anwendung. Ausnahmen werden im Bericht angegeben.

### 3.3.1 Dichte und Trockendichte

#### a) Allgemein und Anwendung

Die Dichte des Bodens ist die Masse des feuchten Bodens bezogen auf das Volumen der Prob einschliesslich der mit Flüssigkeit oder Gas gefüllten Poren. Diese wird anhand folgender der Formel berechnet:

$$\sigma = \frac{m}{v} \quad [\text{g/cm}^3]$$

Zur Bestimmung der Trockendichte wird die Probe bei 105 °C getrocknet und kann dann anhand folgender Formel bestimmt werden:

$$\sigma = \frac{m_d}{v} \quad [\text{g/cm}^3]$$

### 3.3.2 Feucht- und Trockenraumgewicht

Feucht- und Trockenraumgewicht werden in kN/m<sup>3</sup> angegeben, wobei die jeweilige Dichte mit der Erdbeschleunigung multipliziert wird:

$$\gamma = \rho * g \quad [\text{kN/m}^3]$$

#### a) Allgemein und Anwendung

Nach der Bestimmung des Gewichtes der trockenen Probe ermittelt man ihr Volumen durch eine Tauchwägung. Dazu wird sie mit einer Paraffinschicht umgeben, bis sich eine wasserundurchlässige Schicht bildet. Anschliessend wird die Probe in die Tauchflüssigkeit eingetaucht und das Gewicht bestimmt. Aus der Differenz des Gewichtes kann das Volumen bestimmt werden. Dafür benötigt werden die Temperatur der Tauchflüssigkeit, die Dichte der Tauchflüssigkeit und des Paraffins sowie das Gewicht des Paraffins und des Kunststofffadens (genaue Berechnung im Anhang). Bei der Bestimmung des Feucht- und Trockenraumgewichtes kam DIN 18125 zur Anwendung.

### 3.3.3 Wassergehalt

#### a) Allgemein

Wasser kann im Boden (Boden wird hier verwendet als Sammelbegriff für Lockergesteine und lockergesteinsartige, verwitterte Festgesteine)

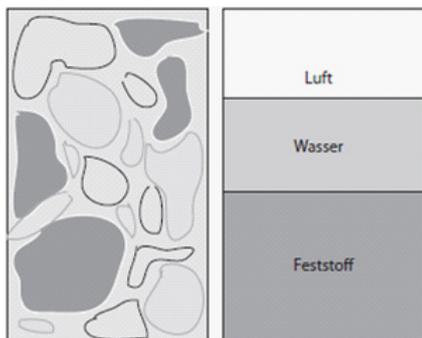


Abb. 20 Einteilung eines Bodens in drei Phasen: Feststoff, Luft- und wassergefüllte Poren.

in unterschiedlichen Arten auftreten: als Hydrations- und Adsorptionswasser, als Haftwasser und als mobiles Porenwasser. Bei der Messung des Wassergehalts wird vorwiegend letzteres erfasst. Der Wassergehalt wird definiert als Quotient des sich im Boden befindenden Wassers und der Trockenmasse (Abb. 20). Die Ofentrocknung erfolgt bei 110 °C, wobei in tonigen Böden (bzw. Sedimenten) bereits auch Haft- und Adsorptionswasser verdampft werden kann. Der Wassergehalt bestimmt

im Zusammenhang mit dem Korngefüge die Festigkeit, das Verformungsverhalten und die Durchlässigkeit eines feinkörnigen Bodens (Strauß 2006).

## b) Anwendung

Für den Wassergehalt wurde das Gewicht der feuchten Masse ( $M_1$ ) gewogen, anschliessend bei  $110^\circ\text{C}$  ( $\pm 5^\circ\text{C}$ ) getrocknet und dann das Trockengewicht ( $M_2$ ) bestimmt. Durch mehrmaliges Wägen wurde eine genügende Massenkonstanz erreicht.

Anhand der Formel

$$W = \frac{M_1 - M_2}{M_2} * 100$$

kann der Wassergehalt ermittelt werden. Der Wassergehalt wird als prozentueller Anteil der Trockenmasse der Probe angegeben (SN 670 903-5a, Element: EN 1097-5: 1999).

### 3.3.4 Glühverlust

## a) Allgemein und Anwendung

Bevor die Bestimmung des Glühverlustes durchgeführt werden kann, muss der Karbonatanteil anhand einer 10% Salzsäure bestimmt werden. Ist kein Karbonat vorhanden, kann der Versuch nach Norm durchgeführt werden (SN 670 370, Mai 1999). Für diesen Versuch wurde ein Porzellantiegel 20 min vorgeglüht und anschliessend mit ca. 20g eines getrockneten Bodens ( $< 0,5\text{mm}$ ) aufgefüllt. Dieser wurde im Glühofen bei  $500^\circ\text{C}$  eine Stunde lang geglüht. Der Glühverlust (loss on Ignition) ergibt sich aus der Massendifferenz der Probe vor und nach dem Glühen:

$$LOI = \frac{m_d - m_{gl}}{m_d} * 100[\%]$$

wobei  $m_d$  die Trockenmasse der Bodenprobe vor und  $m_{gl}$  nach dem Glühen angibt.

### 3.3.5 Zustandsgrenzen bzw. Plastizität

## a) Allgemein

Die Zustandsgrenzen geben Aufschluss über die Plastizität des Bodens und seine Reaktion auf eine Änderung des Wassergehaltes. Bei hohem Wassergehalt sind bindige Böden eher breiig und gehen bei abnehmendem Wassergehalt in eine plastische, eine halbfeste und schliesslich in eine feste Zustandsform über. Diese Grenzen der Zustandsformen werden Atterberg'sche Konsistenzgrenzen genannt. Bei geringem Wassergehalt werden die Körner von freien Oberflächenkörnern angezogen, bei einem höheren Wassergehalt sind diese von einer Wasserhülle umgeben, d.h. die Haftfestigkeit nimmt ab (Schmidt 2006, Strauß 2006). Die Fließgrenze  $W_L$  gibt in einem Boden den Wassergehalt an, bei welchem das Material



Abb. 21 Apparatur nach Casagrande. In die „goldene Schale“ wurden die Proben mit ca. 1 cm Dicke eingearbeitet.

von einem fließenden in einen plastischen Zustand übergeht. Sie ist durch denjenigen Wassergehalt definiert, bei welchem sich eine gezogene Furche auf einer Länge von einem cm nach 25 Schlägen schließt.

Der Übergang von einem plastischen in einen festen Zustand wird durch die Ausrollgrenze  $W_p$  angegeben (SN- 670 345a).

Der Vollständigkeit halber kann auch die Schrumpfgrenze  $W_s$  ermittelt werden. Diese gibt den Wassergehalt einer Probe nach Trocknung an, bei der diese keine Volumenänderung mehr erfährt.

$$W_s = W_L - 1,25 I_p$$

Der Plastizitätsindex  $I_p$  ist die Differenz der beiden Plastizitätszustände:  $I_p = W_L - W_p$

Dieser ist ein Mass für die Plastizität eines Bodens (Tab. 1). Im Plastizitätsdiagramm nach Casagrande wird nach bodenmechanischer Definition Silt von Ton unterschieden. Proben, welche mit einer Plastizitätszahl  $I_p > 7$  oberhalb der A-Linie liegen, werden in Tone, die darunterliegenden in Silte eingeteilt (SN670 345a, Strauß 2006).

Plastizitätszahl	Plastizitätszustand
2 - 4	nicht plastisch
4 - 7	gering plastisch
7 - 10	ziemlich plastisch
10 - 20	plastisch
> 20	sehr plastisch

In Verbindung mit der Plastizität ist auch die Liquiditätszahl ein Mass für die Festigkeit eines Bodens. Wird ein Sediment durch die Auflast eines Gletschers konsolidiert, wird dabei die Porosität verringert und die Liquiditätszahl  $I_L$  sinkt, die Festigkeit steigt. Sie wird folgendermassen berechnet:

$$I_L = \frac{W - W_p}{I_p}$$

Die Ermittlung der Fließ- und Ausrollgrenze und des Wassergehaltes lassen eine qualitative Beschreibung der Festigkeit eines Bodens zu. Dies wird mit der Konsistenzzahl  $I_c$  (Zustandszahl) beschrieben:

$$I_c = \frac{W_L - W}{I_p}$$

#### b) Anwendung

Für die Bestimmung der Fließ- und Ausrollgrenzen wurden ca. 150g Material <0,5mm mit destilliertem Wasser durchgeknetet und für einen Tag ohne nennenswerten Feuchtigkeitsverlust stehen gelassen. Anschliessend wurde das Probenmaterial in den Casagrande-Apparat (Abb. 21) mit max. 10mm Dicke eingebracht und eine Furche senkrecht zur Nockenwelle gezogen. Durch das Zurückfallen der Schale auf den Untergrund soll sich die Furche bei 10 bis 35 Schlägen auf einer Länge von 10mm schliessen. Aus der Mitte der Probe wurde ein Teil herausgestochen und der Wassergehalt bestimmt. Die mindestens drei Wiederholungen wurden in einem Diagramm aufgetragen. Die x-Achse gibt den Wassergehalt linear und die y-Achse die Schlagzahlen logarithmisch wieder. Die Punkte bilden eine Gerade und der Wassergehalt, bzw. die Fließgrenze  $W_L$  konnten bei der Schlagzahl 25 abgelesen werden. Die Ausrollgrenze  $W_p$  wurde erreicht, wenn die Röllchen beim Ausrollen bei einem Durchmesser von drei Millimeter zu zerbröseln begannen. Während des Ausrollens verlieren sie

ständig an Wasser. Wiederrum wurde das Material getrocknet und der Wassergehalt konnte so bestimmt werden (SN670 345a, Abb. 22).

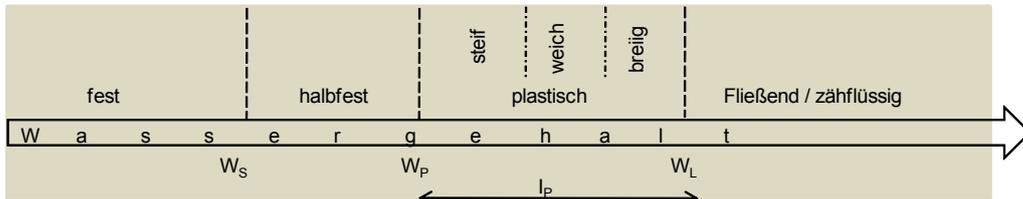


Abb. 22 Schematische Zusammenfassung der Plastizitätseigenschaften, verändert nach Ch. Schlüchter (Schlüchter, 1989).

### 3.3.6 Kornverteilung

#### a) Allgemein

Die Kornverteilung gibt die jeweiligen Anteile der einzelnen Korngrößen in Bezug auf die Trockensubstanz (in Prozent) in einem Lockergestein an. Korngrößen über 0,5mm werden gesiebt, jene darunter durch Sedimentation ermittelt. Mittlere Korngrößen werden zusätz-

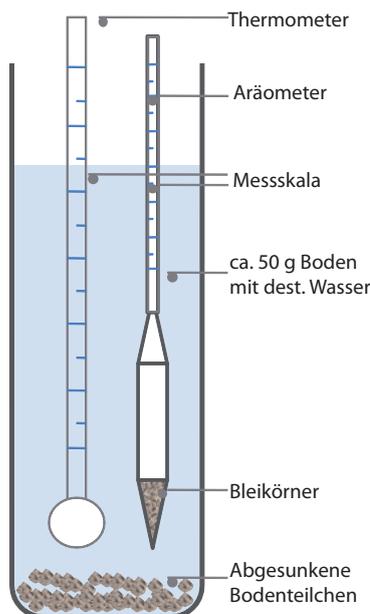


Abb. 23 Skizze eines Aerometerversuchs

lich nass gesiebt und abgewogen. Zusammen werden diese Ergebnisse in einem Kornverteilungsdiagramm als Körnungslinie dargestellt. Einerseits vermittelt diese einen schnellen Überblick über die Zusammensetzung des Materials und lässt die Abschätzung geotechnischer Parameter zu, andererseits wird durch bestimmte Kenngrößen der Körnungslinie die Bodenbestimmung nach USCS durchgeführt (SN 670 902-1b). Auch die Neigung der Körnungslinie, also der Unförmigkeitsgrad  $C_{ud}$  und die Krümmung  $C_c$  sind für verschiedene Bodeneigenschaften z.B. der „Verdichtbarkeit“ von Bedeutung (Strauß 2006). Auch kann die Ungleichförmigkeitszahl als Kriterium für die Frostanfälligkeit eines Bodens herangezogen werden. Kiese und Sande sind nicht empfindlich gegen Frost, Tone und Schluffe dagegen schon (Genske 2006). Der Unförmigkeitsgrad  $C_{ud}$  und die Krümmung  $C_c$  werden folgendermassen berechnet:

$$C_{UD} = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad \text{und} \quad C_{CD} = \frac{d_{30}^2}{d_{10} * d_{60}}$$

Das Prinzip des Aerometerverfahrens (Sedimentation) beruht auf der unterschiedlichen Absinkgeschwindigkeit von verschiedenen grossen Körnern in einer Suspension (Abb. 23). Diese wird durch das Stokes'sche Gesetz beschrieben. Zu beachten ist dabei, dass eine einheitliche Korndichte angenommen wird. Die Methode trennt also nicht nach Korndurchmessern sondern nach Masse.

#### b) Anwendung: Sieben

Die gesamte Probe wurde nach der Trocknung vorsichtig gemörsert um Verklumpungen zu trennen und anschliessend gesiebt. Danach wurden die einzelnen Kornfraktionsanteile bestimmt und der Feinanteil  $<0,5$  wurde für weitere Versuche abgetrennt.

Aufgrund des hohen Feinkornanteiles und der Verdichtung des Materials klebten bei den bindigen Proben die einzelnen Körnchen trotz des Mörsers zusammen (Abb. 24). Deshalb



Abb. 24 Vergleich der Probe 276 trockengesiebt vor und nach dem Einweichen und Waschen. Zu beachten ist, dass im linken Bild der Feinanteil  $<0,5$  noch nicht entnommen wurde.

war der Anteil des grobkörnigeren Materials zu hoch, weshalb jeweils die gesamte Probe für 24 Stunden in Wasser mit einem Benetzungsmittel eingeweicht wurde. Damit konnte erreicht werden, dass sich die restlichen Verklumpungen auflösten. Anschliessend wurden die Proben über einen  $0,5\text{mm}$  Sieb gewaschen. Das ausgeschwemmte Material wurde verworfen und die übrig gebliebene Probe erneut getrocknet und trockengesiebt (SN 670 902-1b).

#### c) Anwendung: Schlämmen und Nasssieben

Für den Schlämmversuch wurden  $50\text{g}$  der Korngrössen  $<0,5$  abgewogen, mit  $300\text{ml}$  Wasser und einem Dispergierungsmittel für 24 Stunden stehen gelassen um Koagulation (Flockenbildung) zu verhindern. Anschliessend wurde alles in einen Glaszylinder umgeschüttet und mit destilliertem Wasser auf einen Liter aufgefüllt. Sobald das Aerometer (Abb. 23) in die Suspension eingelassen wurde, konnte in festgelegten Zeitabständen die Absinktiefe abgelesen werden. Nach Ablesen der letzten Messung wurde die Probe in die Nasssiebmaschine umgeschüttet, gesiebt und getrocknet. Hierbei wurden die Korngrössen  $0,25$ ,  $0,125$  und  $0,063$  bestimmt und ebenfalls in die Kornverteilungskurve eingetragen.

### 3. 3. 7 Klassifizierung nach USCS

Das Unified Soil Classification System (USCS) dient dazu, Angaben über den Zustand eines Bodens zu machen. Es basiert auf der Korngrössenverteilung und dem Plastizitätsdiagramm. Sofern organische Substanz vorliegt muss diese berücksichtigt werden, weil sie die Plastizität beeinflussen kann.

Nach USCS wird ein Boden durch ein Gruppensymbol -je nach Feinanteil und Zuordnung im Plastizitätsdiagramm- mit einem oder zwei Doppelbuchstaben gekennzeichnet. Hierfür können folgende Bestandteile verwendet werden: Kies, Sand, Silt, Ton, organisch und Torf. Damit die Korngrössenverteilung berücksichtigt werden kann, wird das Symbol durch einen Gruppennamen ergänzt.

### 3.3.8 Scherversuche

#### a) Allgemein

Der Kreisringscherversuch und der Rahmenscherversuch (Abb. 25) zählen zu den Direktscherversuchen, mit denen die Scherfestigkeit eines Materials bestimmt werden kann. Die Scherfestigkeit wird der Festigkeit gleichgesetzt. Die Festigkeit ist ein Mass für die Empfindlichkeit eines Materials gegenüber Änderungen des Spannungszustands (Schmidt 2006). Sie bezeichnet also den Zustand eines unter Schubspannung stehenden Materials, ohne dass dieses plastisch versagt d.h. zu brechen oder zu fließen beginnt. Die Festigkeit ist überschritten, wenn Verschiebungen im Material stattfinden, ohne dass eine weitere Steigerung der Scherkräfte aufgebracht wird (Maximum des Scherwiderstandes ( $\tau_s$ ) ist überschritten; siehe Abb. 26, Strauß, 2006).

Die Scherfestigkeit ist abhängig von der Beschaffenheit, der Struktur, dem Wassergehalt und gegebenenfalls auch von der Vorbelastung eines Materials.

Der Scherwiderstand eines Bodens hängt von den Anziehungskräften zwischen den Körnern ab: einerseits von kohäsiven und andererseits von adhäsiven (z.B. Reibung, Benetzung durch Flüssigkeiten) Kräften. Es wirken also Haftkräfte vorwiegend zwischen tonigen Bestandteilen in bindigen Böden oder Oberflächenspannungen des Wassers in den Poren. Diese sind stark abhängig von der Art der Tonminerale, deren Anteil an der Zusammensetzung des Bodens und dem Wassergehalt eines Materials. Bei zunehmendem Sättigungsgrad nimmt die Kohäsion  $c$  ab.

Beim Kreisringscherversuch wird der Probenkörper in zwei übereinander liegenden Kreisringen eingebaut, welche sich um eine gemeinsame Achse drehen. Der Vorteil gegenüber einem Rahmenschergerät liegt darin, dass aufgrund des unbegrenzten Scherweges auch die Restscherfestigkeit ermittelt werden kann. Allerdings kann der Porenwasserdruck nicht gemessen werden, was bei einem Schnellversuch eine Erhöhung der Kohäsion  $c$  und eine Verringerung des Reibungswinkels  $\varphi$  bedeuten kann. Im Rahmenschergerät wird die Probe wie beim Kreisringscherversuch eingebaut und konsolidiert. Das Abscheren erfolgt durch das Verschieben der Rahmen gegeneinander (DIN 18 137, 1990).

Nach Coulomb (1773) wird der Scherwiderstand  $\tau$  im Grenzzustand durch die lineare Beziehung

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

beschrieben. Dabei sind die Kohäsion  $c$  und der Reibungswinkel  $\varphi$  materialtypische Eigenschaften eines Bodens. Der Grenzspannungszustand der Scherfestigkeit kann im



Abb. 25 Kreisring- und Rahmenschergerät im geotechnischen Labor in Burgdorf.

Mohr'schen Spannungskreis als Verhältnis der Hauptspannungen  $\sigma_1$  und  $\sigma_3$  wiedergegeben werden. Mehrere Spannungskreise haben eine gemeinsame Umhüllende, welche in der Bodenmechanik als Gerade angenommen wird. Diese wird als Mohr-Coulomb'sche Grenzbedingung bezeichnet (Schmidt 2006).

Bei den materialtypischen Eigenschaften des Bodens muss zwischen den „totalen“ Scherparametern  $c$  und  $\phi$ , welche von einem undrained bindigen Boden abgeleitet werden, und

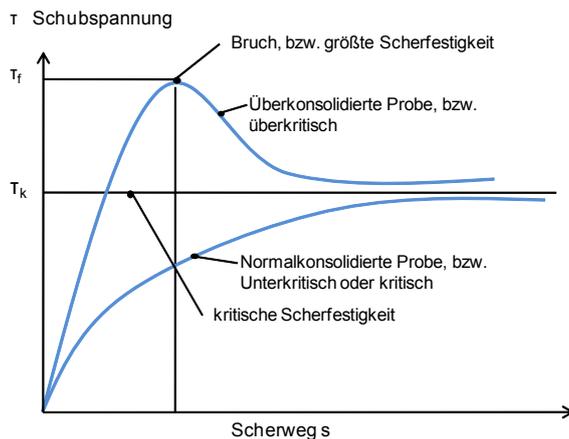


Abb. 26 Schubspannung- Scherweg- Diagramm mit je einem Beispiel für über-, bzw. normalkonsolidierten Boden.

den effektiven Scherparameter  $c'$  und  $\phi'$ , welche Parameter eines entwässerten, dränierten Bodens sind, unterschieden werden. Die effektiven Scherparameter werden durch die Grenzbedingungen der effektiven Spannungen ausgedrückt, d.h. diese Scherparameter werden für überkonsolidierte Böden ermittelt (Strauß 2006). Die Restschubfestigkeit oder Gleitfestigkeit ist der minimale

Scherwiderstand nach grossen aufgebrauchten Scherverschiebungen (DIN 18 137). Diese ist durch die Einregelung von plättchenförmigen Aggregaten in der Scherfuge bedingt (Schmidt 2006).

#### b) Anwendung

Für den Scherversuch wurde das gesiebte Probenmaterial  $<0,5\text{mm}$  mit destilliertem Wasser zu einem Teig geknetet und ruhen gelassen. Nach einigen Tagen bis Wochen wurde der Teig erneut geknetet und in den Schertopf eingebaut und mit Wasser befüllt. Sobald die Sättigung erreicht ist, beginnt die Konsolidation. Für jede Probe wurde der Scherversuch dreimal mit konstanter Normalspannung bei der Konsolidation und verschiedenen Normalspannungen bei der Scherung ausgeführt (DIN 18 137). Beim Einbau, sowie beim Ausbau der Probe aus dem Schertopf werden der Wassergehalt und die Dichte bestimmt. Die Aufbereitung, der Einbau und die Versuchsdurchführung erfolgten angelehnt an DIN 18 137.

Für die Scherversuche wurden die Proben jeweils einen Tag (1440min) mit einer Normalspannung von  $500\text{kN/m}^2$  und einer Belastungsänderung von  $10\text{kN/m}^2/\text{min}$  konsolidiert. Für das Scheren wurden die Parameter, welche in Tab. 2 dargestellt sind, verwendet.

Tab. 2 Parameter für Kreis- und Rahmenschergerät.

Tastzeit	5 s
Normalspannung (Teilversuche 1-3)	200 / 350 / 500 $\text{kN/m}^2$
Vorschub	0,01 mm/min
Scherweg: Kreis- und Rahmenschergerät	130mm/25mm

## 3.4 Wasserproben

Bei der Entnahme der Wasserproben wurde die Wassertemperatur sogleich mit einem einfachen Flüssigkeitsthermometer gemessen. Der pH-Wert und das Redoxpotential wurden mit einem pH-Messgerät von Mettler (Mettler Toledo pH-Messgerät FiveGo TM) ermittelt. Die Fehlergrenzen des Gerätes liegen bei  $\pm 0,01\text{pH}$  und  $\pm 1\text{mV}$ .

### 3.4.1 Ionenchromatographie

#### a) Allgemein

In einem Ionenchromatographen werden Ionen einer Flüssigkeit anhand verschiedener Interaktionen zwischen den Bestandteilen einer mobilen Phase und einer stationären Phase aufgetrennt und detektiert. Die Probe bildet zusammen mit einem Eluenten die mobile Phase. Zusammen werden diese in die Maschine injiziert. An der Chromatographiesäule werden die Ionen aufgrund deren Affinität zur stationären Phase unterschiedlich lange zurückgehalten und somit aufgetrennt. Wie stark ein Ion am Austauscher gebunden wird steigt mit der Wertigkeit und dem Pauling'schen Ionenradius. Da man die Retentionszeiten der einzelnen Ionen kennt kann die Konzentration anschliessend im Detektor gemessen werden. Die Ergebnisse werden in einem Zeit/Konzentrationsdiagramm aufgezeichnet.

#### b) Anwendung

Die Wasserproben wurden mit dem Ionenchromatographen von Dionex DX-120 der Universität Bern gemessen. Nach der Kalibrierung des Gerätes wurden die Eluenten für die Anionen ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) und Kationen ( $\text{CH}_4\text{O}_3\text{S}$ ) erstellt. Mit zwei Geräten konnten die ausgewählten Ionen simultan gemessen werden. Es wurden folgende Ionen gemessen:

Anionen: Chlorid ( $\text{Cl}^-$ ), Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) und Sulfat ( $\text{SO}_4^-$ )

Kationen: Natrium ( $\text{Na}^+$ ), Kalium ( $\text{K}^+$ ), Magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) und Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ )

Die relative Genauigkeit der Analysen liegt nach Haemmig und Strasky (2003) bei 5%, die Untergrenzen ist ionenabhängig und liegt nach den Erfahrungen von Gaar (2008) bei 100 bis 200ppb, bzw.  $\mu\text{g}/\text{l}$ .



## 4. Resultate

### 4.1 Kartierung

Das Ziel der Erstaufnahme dieses Gebietes kann nur dann erfüllt werden, wenn grosser Wert auf die Kartierung gelegt wird. Für das Gebiet werden eine geologische Karte mit Geologie und Tektonik, eine quartär-geomorphologische Karte mit quartären Landschaftsformen und eine hydrologische Karte ausgedruckt. Die unterschiedlichen jahreszeitlichen Veränderungen konnten durch Kartiertage im Frühling, Sommer und Herbst 2008 sowie einer Abschlussbegehung im Frühling 09 in die Karte einfließen.

Schwierig gestaltete sich die Kartierung im unteren Drittel wegen der anthropogen veränderten Landschaft. Hier gibt es kaum Aufschlüsse, die Flächen sind begründet und Blöcke finden sich fast ausschliesslich in alten Steinmauern.

Wie in Abb. 27 und 28 zu erkennen ist, steigt das Gebiet vom Tal in Richtung Gipfel stufenweise an. Bei Scuol beginnt das

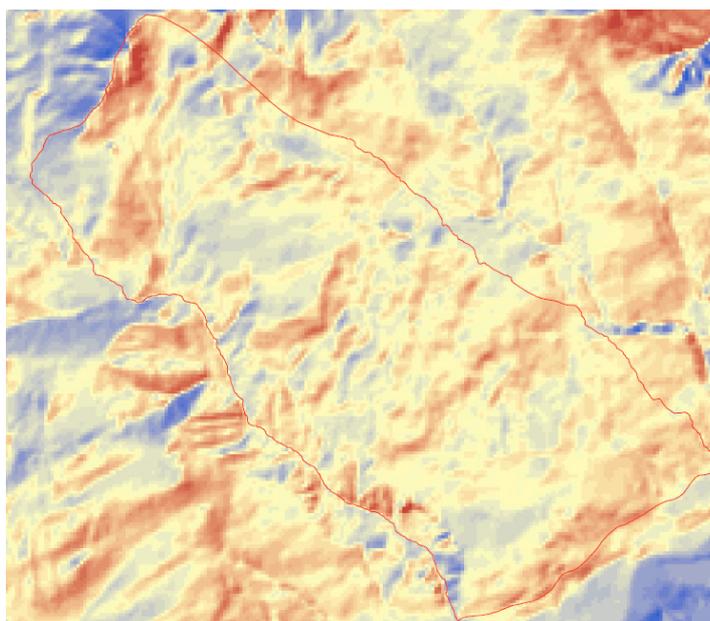


Abb. 27 Relative Höhenverteilung im Kartiergebiet dargestellt an einer Falschfarbkarte. Mit dem Program ArcGis wurde ein sogenanntes „hillshade“ erzeugt. Je nachdem wie viel Sonneneinstrahlung auf eine Fläche fällt, ändert sich die Farbe der Fläche. Hohe Sonneneinstrahlung kann mit einem nach Süden exponierten Hang mit Flächen hoher Neigung (im Bild rötlich dargestellt) assoziiert werden, geringer geneigte Flächen erhalten weniger Sonneneinstrahlung. Diese sind beige bis bläulich eingefärbt. Die dunkelblauen Gebiete ausserhalb des Kartiergebietes zeigen nach Norden exponierte Gebiete an.

Kartiergebiet mit einer Steilstufe, die nächste bei Larsch ist von Wald bewachsen. Eine weitere bildet eine Abrisskante von Crastata im Westen, nördlich an Patain vorbei bis hin zu Mot San Peder. Darüber breitet sich die auffallende Hochfläche von Marcurin und Sur Boscha (welche P. Schlusche (2003) als alte Landoberfläche beschreibt) aus. Im Norden gibt es

Gebiete mit höherer Neigung bei Vallatschas (siehe Profil, Kap. 5.1.1.), nordöstlich von Mot und bei Salaniva. Die abschliessende Steilstufe bilden die anstehenden Bündnerschiefer des Piz Champatsch und Piz Soèr.

Die Geomorphologie, wörtlich also die Wissenschaft der Formen, beschäftigt sich mit den Oberflächenformen der Landgebiete, im Spezifischen mit der Beschreibung, mit den formenbildenden Prozessen, der Interaktion der Prozesse zwischen einander und deren Darstellung. Landformen werden hinsichtlich ihrer geometrischen Eigenschaften und räumlichen Anordnung kartiert, sowie die relevante materielle Beschaffenheit der Formen und



Abb. 28 Blick auf den unteren Teil des kartierten Hanges in Richtung Osten, fotografiert von der Seilbahn nach Motta Naluns. Im Hintergrund liegt das Dorf Sent.

spezifische Vorgangsspuren ermittelt (Ahnert 2003). Bei der Beschreibung der Kartierung wurden die Lithologie und die Tektonik der lithologischen Karte zugeteilt, die verschiedenen geomorphologischen Phänomene der quartärgeologischen und der hydrologischen Karte zugewiesen und in Prozessbereiche eingeteilt, welche bereits eine Interpretation der Formen, Elemente und Eigenschaften darstellen (Barsch 1978). Der fluviatile Prozessbereich wurde bei der Beschreibung der quartärgeologischen sowie bei der hydrologischen Karte behandelt, bei den sich überlagernden Prozessen wurde der dominante Prozess kartiert. Nachfolgend werden die einzelnen Prozessbereiche und das Vorkommen im Kartiergebiet beschrieben, alle verwendeten Lokalnamen sind auf den jeweiligen Karten im Anhang zu finden.

#### 4. 1. 1 Geologisch-tektonische Kartierung

Das Ziel der geologisch-tektonischen Kartierung bestand darin, anhand von Aufschlüssen, den geologischen Untergrund möglichst genau zu erfassen. Schwierig dabei war es

festzustellen, ob der gefundene Bündnerschiefer anstehend ist und die Felsoberfläche kennzeichnet oder wo dieser abgerutscht bzw. verkippt vorkommt. Somit wurden auf der geologisch-tektonischen Karte drei unterschiedliche Signaturen für die Umrandung der Lithologie gewählt: schwarzer Rand für anstehendes Gestein, roter Rand für abgerutschtes, bzw. verkipptes Gestein und eine weitere Signatur mit einer strichlierten roten Linie für vermutlich anstehendem Gestein. Nicht anstehendes Gestein wurde eingezeichnet weil es wertvolle Information über den meist nahen Felsuntergrund gibt.

#### 4. 1. 1. 1 Lithologie

Im gesamten Kartiergebiet sind Bündnerschiefer (bzw. schistes lustrès oder calcescisti) aufgeschlossen. Diese tonig-sandig-kalkigen Wechsellagerungen (Abb. 29) wurden in einem hemipelagischen bis turbiditischen Milieu, dem Walliser-Trog, abgelagert und liegen heute als metamorphe, tonig-sandige Kalkphyllite vor. Die gesamte, kaum gliederbare Abfolge mit mehr als 1000m Mächtigkeit ist der Jura, aber vorwiegend der Kreide zuzuschreiben (Piffner 2009).

Die grössten anstehenden Aufschlüsse im Kartiergebiet liegen im Norden am Piz Champatsch. Entlang des von hier ausgehenden Rückens nach Jonvrai zeigen kleinere Aufschlüsse, mit vermutlich nicht anstehendem Gestein, die nahe Felsoberfläche an. Südlich der Fuorcla da Soér, zwischen den beiden Spitzen Piz Champatsch und Piz Soér, besteht der Rücken bis nach Mot San Peder aus anstehendem Bündnerschiefer. Kleinere verkippte und etwas abgerutschte Aufschlüsse findet man entlang einer Abrisskante nördlich und südwestlich von Patain sowie im Wald bei Larsch. Die meisten Aufschlüsse sind entlang des Einschnittes der Clozza. Im Südwesten des Gebietes konnte anstehendes Gestein entlang der Strasse nach Sent kartiert werden.

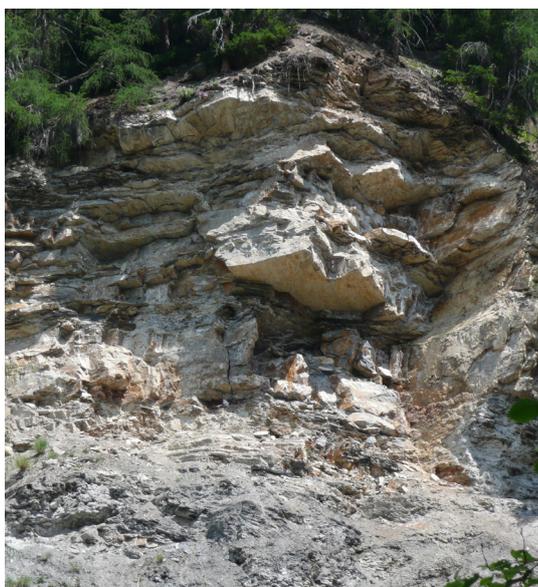


Abb. 29 Wechsellagerung von einer tonigen zu einer kompetenten, sandigen Lage des Bündnerschiefers, gut sichtbar in einer Abrissnische eines Felssturzes. Aufnahme des Fotos im Einschnitt der Clozza mit Blick nach Osten bei folgenden Koordinaten: 817.899/188.061.

Auf der geologischen Karte wurden die Aufschlüsse in tonige oder sandige Bündnerschiefer, soweit dies nach subjektivem Ermessen möglich war, unterteilt. Ausgesprochen feinkörnige, leicht kalkhaltige und stark deformierte Aufschlüsse stehen an der Clozza direkt bei Scuol an. Diese dunklen Tonschiefer sind von feinen Calcitadern durchzogen und stark deformiert. In Richtung Sent werden sie anfangs von einigen gut abgegrenzten, weniger deformierten und massigen, sandigen Aufschlüssen unterbrochen und gehen dann in eine typische Wech-

sellagerung des Bündnerschiefers über. Einige grobkörnigere Aufschlüsse wurden nahe Sallex auskartiert, welche in Richtung Patain wieder feinkörniger werden.

Bei Salaniva und Taslaina am Fusse des Piz Soér, auf einer Höhe von 2.540m, stehen auffallend harte, mächtige und kalkhaltige Sandsteine an. Kennzeichnend sind glatte Flächen für Schichtung und Klüfte sowie eine gelbe Verwitterungsfarbe. Diese Arenite sind den Gesteinen der Tasna-Gault Formation ähnlich.

Aufgrund der Heterogenität des Gesteins konnten viele Aufschlüsse der vorher erwähnten Unterteilung nicht zugeordnet werden und wurden somit als undifferenzierter Bündnerschiefer dargestellt, wie z.B. zahlreiche kleinere Aufschlüsse entlang der Clozza sowie die grösseren Aufschlüsse im Norden des Gebietes, bei denen typische Abfolgen des Bündnerschiefers besonders gut zu sehen sind.

In den Arbeiten von Zimmermann und Hecker (1999), welche auf den etwas nördlich meines Kartiergebietes liegenden Bereich fokussiert waren, werden die Bündnerschiefer in Untere, Mittlere und Obere Bündnerschiefer, mit einem Nordost-Südwest gerichteten Streichen, eingeteilt. Zu erwähnen sind hier die Mittleren Bündnerschiefer, welche nach diesen beiden Autoren, sowie Cadisch et al (1941, 1953), zusammen mit den Oberen Bündnerschiefern die Roz-Champatsch Zone bilden und zu den Bündnerschiefern des Fensterinneren gezählt werden. Das Band der Mittleren Bündnerschiefer verengt sich nach Süden hin und nördlich des Piz Champatsch sind nach Hecker (1999) nur noch wenige Meter Mächtigkeit davon aufgeschlossen. Diese Unterteilung, welche anhand von typischen Abfolgen erstellt worden ist, kann im Kartiergebiet aufgrund der kleinen Aufschlüsse nicht nachverfolgt werden. Die kartierten Bündnerschiefer liegen vermutlich im Bereich der Unteren Bündnerschiefer, können diesen aber nicht eindeutig zugeordnet werden.

In Nordwesten des Kartiergebietes wurden kleine Aufschlüsse als Grünschiefer auskartiert, welche allerdings nicht anstehen, sondern blockartig vorliegen. Nach der geologischen Karte werden sie als mesozoisch bis tertiär angesehen.

Auch steht hier ein Roche moutonnée-artiger Aufschluss von Dolomit aus der Trias an (Geologischer Atlas), ein weiterer, ähnlicher Aufschluss befindet sich einige 100m weiter östlich. Der Dolomit ist im Gelände an seinen typischen Verwitterungs- und Lösungsstrukturen erkennbar. Die auffallende Form der Aufschlüsse lässt sich durch die höhere Verwitterungshärte des Dolomits gegenüber der des Bündnerschiefers erklären.

Brekzierte Gesteine und Kalkschiefer bzw. sehr kalkiges Gestein, welches nach Cadisch im Hangenden der Arenite (z.B. am Piz Soèr) liegen, wurden nur als vereinzelte Blöcke gefunden.

#### 4. 1. 1. 2 Tektonik

Der Bündnerschiefer ist im gesamten Kartiergebiet deformiert, die Lagen sind gewellt. Auffallend sind unterschiedliche Deformationsstrukturen zwischen kompetenten und weichen Lagen des Gesteins. Im tonigen Material der Aufschlüsse nahe Scuol und am Beginn des Grates des Piz Champatsch wurden Faltenbildungen beobachtet (Abb. 31). Trotz der chaotischen Lagerung und starken Deformation bis hin zur Faltenbildung zeigen die gemessenen

Einfallrichtungen ein überraschend stimmiges Bild. Im Allgemeinen wird ein relativ flaches Einfallen in Richtung Nordwesten festgestellt, wie Abb. 30 zeigt.

Werden die tektonischen Daten des Gebietes geographisch sinnvoll aufgeteilt, wird ersichtlich, dass die Einfallrichtung der massgebenden Aufschlüsse im Norden mit durchschnittlich  $20^\circ$  nach Nordwesten zeigt (weitere Messwerte im Schmidt'schen Netz siehe Anhang). Die Aufschlüsse in der Mitte des Gebietes (Anrisskante Rutschung bei Patain usw.) variieren, wie erwartet, stärker, da auch Daten von nicht anstehenden Aufschlüssen mit in die Auswertung eingeflossen sind. Die Aufschlüsse südlich von Vallatschas, entlang der Clozza, fallen alle sehr flach, allerdings in eine nördliche bis nordöstliche Richtung, ein (Abb. siehe Anhang). Im Süden fällt, wie auch in der Literatur beschrieben, das Gestein in einigen Aufschlüssen -vorwiegend entlang der Strasse- in südliche bis südsüdwestliche Richtung ein, was auf eine Nordost-Südwest gerichtete Faltenachse südlich von Jonvrai hinweist. Daten, welche auf der orographisch rechten Seite der Clozza gemessen wurden, sowie kleinere Aufschlüsse oberhalb der Strasse zeigen allerdings wiederum ein Einfallen nach Norden. Somit ist es stimmiger die nach Süden einfallenden, fast hangparallelen Bündnerschiefer als talwärts gekippt zu interpretieren.

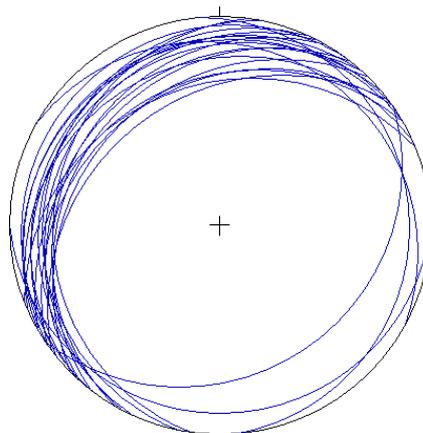


Abb. 30 Aufschlüsse im Norden des Kartiergebietes; 23 Datensätze



Abb. 31 Faltenbildung im feinkörnigen Material des Bündnerschiefers. Ende des Südwestrückens des Piz Champatsch.

## 4. 1. 2 Quartärgeologische Kartierung

### 4. 1. 2. 1 Gravitativer Prozessbereich

Hier werden Prozesse zusammengefasst, welche schlussendlich aufgrund der Einwirkung der Schwerkraft erfolgen (Zepp 2004), wenn also destabilisierende Kräfte die stabilisierenden, haltenden Kräfte überwiegen. Dies hängt von Materialeigenschaften wie Kohäsion, Dichte und Reibungswinkel und indirekt dem Wassergehalt, der sich unmittelbar auf die Kohäsion auswirkt sowie den geometrischen Eigenschaften Hangneigung und Höhendifferenz, eines Hanges ab (Ahnert 2003). Gravitative Prozesse treten nicht kontinuierlich auf, sondern werden durch bestimmte Faktoren, wie z.B. Niederschläge, Temperaturwechsel oder Erschütterungen ausgelöst. Massenbewegungen erfolgen zumeist an schon vorhan-



Abb. 32 Auf den Schutthalden unterhalb des anstehenden Bündnerschiefer sind Levees zu erkennen, im Vordergrund ein kleiner, bewachsener Moränenrücken. Blick nach Nordwesten von der Bergstation Salaniva aus.

denen Schwächezonen, wie z.B. Klüften oder tonigen Lagen, an welchen durch Einwirkung von Frost, chemischer Verwitterung oder der Zunahme von Porenwasserdruck die Festigkeit allmählich vermindert wird und der eigentliche Auslöser oft völlig unscheinbar ist. Zu diesen hangabwärtsgerichteten Prozessen zählen unter anderem Block- und Felsstürze, Steinschläge, Rutschungen/Sackungen und Bodenkriechen.

Felsstürze (Abb. 32) ereigneten sich im Kartiergebiet direkt unterhalb des Piz Champatsch und in der Schlucht der Clozza. Die Abrissfläche folgt meist an einer vorhandenen Kluft und das gesamte Material bricht in einmal ab, zurück bleibt eine gut erkennbare, typische Abrissnische. Ein Felssturz an der Clozza erfolgte durch Seitenerosion des Baches und der daraus resultierenden Versteilung des Wandfusses. Am Piz Champatsch sowie bei Salaniva wurden Blockstürze kartiert, bei welchen, im Unterschied zu den Felsstürzen, die Blöcke nach und nach abbrechen. Auf der Karte wurden stark ausgeprägte Abrissnischen mit einer roten Liniensignatur nachgezeichnet.



Abb. 33 Gehängeschutt in Form von Schneehaldenmoränen nördlich von Buzzera. Voraussetzung für Schneehaldenmoränen sind länger liegenbleibende Schneereste am Fusse des Aufschlusses, damit die Steine abrutschen und sich in einem Band sammeln können.

Gehängeschutt (Abb. 32), welcher durch Verwitterungs- und Abtragungsvorgänge von anstehendem Gestein entsteht, sammelt sich oberflächlich in Schutthalden und Schneehaldenmoränen an (Abb. 33). Desweiteren kommt er auch in den tieferen Einschnitten der Bäche, sowie als Lockergesteinsaufschlüsse entlang der Clozza (Proben 234, 235 und 275) unterhalb des Moränenmaterials zum Vorschein.

Rutschungen bewegen sich im Jahr von einigen Millimetern bis hin zu einigen Metern, wobei das Material an einer Gleitfläche abrutscht. Die Abrissnische ist meist steil und bildet eine konkave Hohlform, die Rutschmasse zeigt stark kopierte Strukturen (Abb. 35). Beinhaltet die Rutschmasse auch festes Material und bleibt die Struktur erhalten spricht man von einer Blockrutschung, wie man sie bei Patain häufig findet. Bei Rutschungen, die an Hängen quer zur Gesteinsschichtung abrutschen, handelt es sich um Rotationsrutschungen (Busche 2005), wobei besonders die plastischen, leicht verformbaren Gesteine, wie die tonigen und mergeligen Lagen des Bündnerschiefers, dazu prädestiniert sind (Ahnert 2003). Markant ins Auge sticht die Rutschmasse nördlich von Patain, welche sich nördlich von Saalex weiter in südwestliche Richtung zieht. Dort zeigen kleinräumig abgerutschte und rotierte Blöcke noch ein intaktes Gefüge an (Abb. 35). Die Anrisskante, an welcher zahlreiche kleinere Aufschlüsse von Bündnerschiefer vorkommen und deren Hangfuss von Gehängeschutt bedeckt wird, zeigt im östlichen Teil eine gut erkennbare konkave Hohlform. Das stark kopierte Gelände der Rutschmasse geht talwärts stufenlos in den unruhigen Hang über. Die Begrenzung dieser Masse nach Süden wurde aufgrund des höheren Reliefs bei Larsch unterhalb dieser Waldstufe gezogen, da Erosion und Bewuchs die genauen Grenzen im Gelände unkenntlich machen. Weitere Rutschungen, welche das Landschaftsbild nördlich von Jonvrai prägen, werden von den dort zahlreich vorkommenden Quellen genährt und durch Erosion der Gewässer verstärkt.

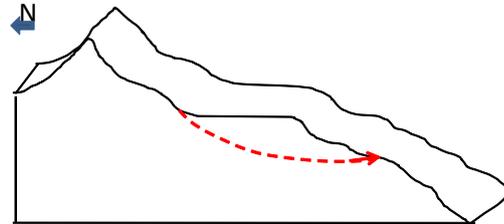


Abb. 34 Skizze des Hanges mit vermutetem Rutschhorizont und somit Bildung eines steileren Fusses, wo sich später, heute noch gut erkennbare Rutschungen ausgebildet haben.



Abb. 35 Innerhalb der Anrisskante bei Patain (unteres Bild), welche im Hintergrund sichtbar ist, prägt ein stark kopiertes Gelände (roter Kreis) die Rutschmasse. Blick nach Nordwesten, die Spitze im Hintergrund zeigt den 3068m hohen Piz Minschun. Durch Wasser induzierte und zum Teil bereits bewachsene Rutschung oberhalb von Jonvrai, mit Blick nach Nordosten ist im oberen Bild dargestellt.

Die auffallende Geländekante oberhalb der Hochebene von Sur Bos~cha zeigt vermutlich eine Anrisskante einer postglazialen, grossräumigen Rotationsrutschung, wodurch diese Hochebene gebildet wurde (Abb. 34 und Abb. 36). Der gesamte Hang scheint tiefgründig abgerutscht und nach hinten rotiert zu sein. Da die sich bewegte Masse kaum einzugrenzen ist, wurde auf der Karte nur die Anrisskante nördlich von Salaniva eingezeichnet.

Anrisskanten wurden dort eingezeichnet, wo eine deutliche Reliefänderung im Gelände zu erkennen ist: dies kann an Ausbruchsnischen von Rutschungen sowie an steilstehenden, offengelegten Lockergesteinsanschlüssen der Fall sein. Die bedeutendsten Anrisskanten



Abb. 36 Blick von Motta Naluns nach Osten auf die Hochebene Sur Bos~cha. Oben links im Bild ist die Anrisskante bei Salaniva in rot nachgezeichnet.



Abb. 37 Bild von Taslaina in Richtung Westen. In der Mitte erreicht die Mulde eine Tiefe von knapp 10m, die Geländekanten sind mit rot nachgezeichnet.

wurden an den grossen Rutschungen, sowie nördlich von Salaniva kartiert. Weitere kleinere Anrisskanten bilden eine Linie in gleicher Höhe in Richtung Westen. Ebenso die steilen Hänge des Einschnittes der Clozza werden mit zahlreichen kleinen Anrisskanten eingeleitet.

Die auffällige Geomorphologie bei Taslaina, im Nordosten des Gebietes, wurde in der Karte als Zugriss gekennzeichnet (Abb. 37). Dieser erstreckt sich hier über eine Länge von ca. 150m und

erreicht eine Tiefe von fast 10m. Ebenso zeigen weitere kleinere Risse in diesem Gebiet eine enorme Zugkraft, welche auf diesen Hang gewirkt haben muss, an. Aufgrund der Lage und Geometrie scheint es sich hier um eine Fortsetzung der Anrisskante bei Salaniva zu handeln und steht somit im Zusammenhang mit der postglazialen Sackung. Erosionsrinnen, in welchen Material linienförmig talabwärts transportiert wurde, wurden vorwiegend im unmittelbaren Einzugsbereich der Clozza gefunden und verzeichnet.

#### 4. 1. 2. 2 Kryogener Prozessbereich

Bewegt sich ein Boden unter Einfluss der Gravitation und des Frostwechsel hangabwärts, wird dies als Solifluktion bezeichnet und dem kryogenen Prozessbereich zugeordnet. Dabei ist ein gefrorener Untergrund die Voraussetzung, damit die aufgetauten Oberflächen wassergesättigt bleiben. Aufgrund der Bedeckung dieser Flächen im Kartiergebiet durch Vegetation wird von gebundener Solifluktion gesprochen, im Gegensatz zu ungebundener Solifluktion auf vegetationsarmen Hängen (Ahnert 2003).



Abb. 38 Thufur

Solche Vegetationsformen treten auf den flachen Gebieten des Rückens im Nordosten des Gebietes auf, welcher von der Fuorclà da Soèr bis nach Taslaina reicht. Die Grasvegetation wächst hier auf einzelnen Hügeln, die bis zu 40cm hoch werden (Abb. 38). Diese Rasenhügel, welche als Thufur oder Rasenhügel bezeichnet werden, kommen in feuchten und kühlen Gebieten vor. Der Mineralkern, welcher sich in ihrem Inneren befindet, taut vollständig auf (Busche 2005). An zahlreichen steilen Lockergesteinsaufschlüssen wurden Rasengirlanden beobachtet (Abb. 39). Hierbei handelt es sich um fast hangparallele



Abb. 39 Rasengirlanden bei Jonvrai mit Blick nach Norden. Die Breite des Bildes beträgt ca. 10m.

Rasenwülste, welche ebenso durch Solifluktion beeinflusst werden. Diese zeugen von einer gewissen Stabilität des Aufschlusses, bei der sich diese Art der Vegetation entwickeln kann, ohne erodiert zu werden.

#### 4. 1. 2. 3 Glazialer Prozessbereich

Der glaziale Prozessbereich wird durch Erosions- und Akkumulationsvorgänge eines Gletschers geprägt, wobei im Kartiergebiet die Akkumulation von Bedeutung ist. Die Mächtigkeit des abgelagerten Materials, welches rezent noch vorhanden ist, erreicht einige Meter an Mächtigkeit. Aufschlüsse, an welchen durch Einschnitte ins Gelände nicht nur die Oberfläche des Materials freigelegt ist, sondern auch in die Tiefe eingegraben wurde und somit ein Profil sichtbar ist, wurden als Lockergesteinsaufschlüsse kartiert. Diese wurden aufgrund der unterschiedlichen Zusammensetzung in Lockergestein mit und ohne Serpentin, bzw. als undifferenziert unterteilt. So können nicht nur die im Gelände auffällig türkisene Aufschlüsse bei Vallatschas und Jonvrai von den anderen unterschieden werden, sondern auch die unterschiedlichen geotechnischen Eigenschaften des Materials ihren Gebieten auf der Karte zugeordnet werden (Abb. 40).

Westlich von Soèr, auf über 2500m wurden Mittelmoränen von zwei kleinen Gletschern eingezeichnet, welche hier talwärts nach Taslaina geflossen sind. Kleine Mittelmoränen finden sich ebenso südlich des Piz Champatsch, wo auch zwei kleinräumige, aber gut ausgeprägte



Abb. 40 Teil des Lockergesteinsaufschlusses mit Serpentin bei Jonvrai mit Blick nach Norden, wo die Materialprobe 255 genommen wurde. Steile Kanten, wie oben links im Bild wurden in der Quartärgeologischen Karte mit einer roten Anrisslinie nachgezeichnet.

Endmoränen identifiziert wurden. Innerhalb der unteren Endmoräne hat sich ein Tümpel gebildet (Abb. 41).

Im Gebiet befindet sich zudem ein dominanter moränenartiger Rücken, welcher mit kleinen Unterbrechungen von Marcurin, bei einer Höhe von 2100m startet und sich leicht anstei-



Abb. 41 Endmoränen südlich des Piz Champatsch mit Blick nach Südosten.



Abb. 42 Moränenartiger Rücken bei Marcurin mit Blick in Richtung Süden fotografiert. Im Vordergrund sind erratische Blöcke zu erkennen.

gend einige 100m nach Osten zieht (Abb. 42). Das polymikte und leicht gerundete Material sprechen, ebenso wie die Morphologie und die typische Entwässerung an der Luvseite, für eine Moräne. Auch gibt es talab und talaufwärts kleinere, parallele Rücken dazu. Ungewöhnlich ist das Ansteigen des Rücken talauswärts und die verhältnismässig tiefe Lage. Beides könnte durch ein Abrutschen erklärt werden, wobei der Betrag der Rutschung zur Clozza hin zunimmt.

Erratische Blöcke, also ortsfremde Blöcke, welche durch Gletschereis transportiert wurden, findet man bis auf die Hochebene von Sur Bos~cha (2.300m). Hierbei handelt es sich hauptsächlich um Gneise und Serpentine und vereinzelt Blöcke des grünlichen Albula-Granits, welche durch Gletschereis aus dem Gebiet des Albulapasses über das Engadin bis hierher transportiert und abgelagert wurden. Diese Höhe liegt einige 100m unterhalb der von Florineth (1998) angegebenen Gletschereishöhe von 2600-2800m.

#### 4. 1. 2. 4 Fluvialer Prozessbereich

Im Unterschied zum gravitativen Prozessbereich wirkt hier nicht ausschliesslich die Gravitation auf das Material, sondern der Fokus liegt auf dem Transportmittel Wasser. Der fluviale Prozessbereich beinhaltet die Veränderung der Oberfläche durch fliessendes Wasser, wozu die Erosion und der Transport von Material, welche im Kartiergebiet eine wesentliche Rolle spielen, und die Sedimentation gehören.

Vor allem wegen der grossen Abflussmengen durch Starkniederschläge, aber auch bei erhöhten Wasserpegeln der Schneeschmelze wird die Tiefen- sowie Seitenerosion der Bäche verstärkt. Eine flächige Denudation des Gebietes durch seitliches Einbrechen des Materials geht damit einher, was besonders zwischen Siert und Vallatschas und in der Schlucht der Clozza im Gelände sichtbar ist (Abb. 43).

(Anmerkung: Erosion wird im deutschen Sprachgebrauch für eine linienhafte Abtragung von Material bezeichnet, wohingegen Denudation flächenhaft gebraucht wird.)

Lücken in der Vegetationsdecke, welche in erster Linie durch Denudation und Erosion von Wasser an steileren Hängen sowie an Bächen und Quellen entstanden sind, wurden als erodierte Oberflächen gekennzeichnet. Im Gegensatz zu Lockergesteinsaufschlüssen wurde hier das Feinmaterial ausgeschwemmt und ein Tiefenprofil fehlt. Beim



Abb. 43 Von Tiefen- und Seitenerosion geprägte Landschaft nördlich von Vallatschas mit Blick nach Norden.

Grobmaterial wurde, wie beim Lockergestein, in undifferenzierte erodierte Oberflächen und Oberflächen mit Serpentiniklasten (Klasten fast ausschliesslich Serpentine) unterschied-

den, letztere kommen vorwiegend bei Vallatschas vor. Diese Form der Denudation ereignet sich an allen steileren Gebieten und wird durch starke Beweidung und der damit verbundenen Zerstörung der Vegetationsdecke noch verstärkt.

Murgangrinnen (Abb. 32) kommen nur im Norden des Gebietes auf den Schutthalden unterhalb des Piz Champatsch vereinzelt und in kleiner Geometrie vor. Muren ereignen sich bei kurzzeitiger Schliessung der Poren eines feinkörnigen Materials durch Füllen mit Wasser und unter der somit einhergehenden Entstehung eines positiven Wasserdruckes (Ahnert 2003). Dabei bilden sich die typischen Murendämme an den Seiten des Gerinnes aus, welche auf der Karte als Levees dargestellt sind.

An vielen Stellen des Gebietes kann die Bildung von Kalktuffen beobachtet werden. Zahlreiche Gewässer zeigen rezente Bildung von Kalktuffen, grossräumige, ältere Flächen sind im Kartiergebiet weit verstreut, können aber an der Oberfläche nicht mehr erkannt werden, da sie mittlerweile von Gras bewachsen sind.

### 4. 1. 3 Hydrologische Kartierung

Obwohl die Niederschläge im Jahr 2008, wie im Kapitel 2.3.3 beschrieben, durchschnittlich hoch waren, wurde es von der einheimischen Bevölkerung als ein sehr wasserreiches Jahr angesehen. Unzählige Quellen und grossflächige Sumpfflächen prägten das Bild im Kartiergebiet. Die Weiden zeigten den ganzen Sommer über eine aussergewöhnliche Blumenpracht, das Gebiet trocknete auch im Hochsommer nicht aus, was für die Erstellung der Hydrologischen Karte von Vorteil war, jedoch bei der Betrachtung berücksichtigt werden muss. Eine mögliche Erklärung des erhöhten Wasservorkommens sind die grossen Schneemassen im späten Frühjahr des Jahres 08.

#### 4. 1. 3. 1 Fluviatiler Prozessbereich

Die hydrologischen Gegebenheiten im Kartiergebiet sind sehr unterschiedlich. Der Nordwesten ist, im Gegensatz zum Süden, geprägt von zahlreichen Quellen und einem verzweigten Gewässernetz. Das Wasser wird hier zum grössten Teil von der Clozza entwässert, bzw. wurde in offenen und geschlossenen Bewässerungskanälen um- und abgeleitet.

Bei Hochwasser und bei hohen Schmelzwasserabflüssen zeigt sich die starke Erosionskraft der Bäche, was die schon eingegrabene Schlucht der Clozza eindrucksvoll sichtbar macht. Um dem verzweigten und vielfältigen Gewässernetz gerecht zu werden, wurden drei Kategorien unterschieden: Bäche, perennierende und temporäre Gerinne. Als Bäche wurden Gewässer in einem ausgeprägten Bachbett mit starker und ganzjähriger Wasserführung bezeichnet, die sich in einigen Gebieten, z.B. nördlich von Vallatschas einige Meter in das darunterliegende Lockermaterial einschneiden (Abb. 43). Kleinere Gerinne wurden in perennierende und temporäre Rinnsale eingeteilt, welche das gesamte nordwestliche Kartiergebiet dominieren. Desweiteren wurden auch reliktsche Gerinne und Wasserkanäle und Wasserleitungen kartiert, insofern sie noch sichtbar waren. Auffallend durch das Gelände zieht sich, beginnend nördlich von Vallatschas auf einer Höhe von 2400m, ein Wasserkanal durch, welcher zu Beginn des 20. Jahrhunderts zur Bewässerung der Wiesen unterhalb von

Pedras, gebaut wurde. Mit der Zeit verfiel der Kanal und leckt nun an zahlreichen Stellen, wo das Wasser vollständig abfließt oder in den Hang einsickert. Ein Färbversuch, durchgeführt von M. März im Sommer 2002/03 beweist, dass kein Wasser mehr vom Beginn des Kanals bis nach Pedras geleitet wird (Merz 2005).

Quellen wurden von gefassten Quellen unterschieden. Zeichnete sich im Gelände eine Reihe von Quellen nebeneinander ab, wurde diese als Quellhorizont markiert. Viele der Quellen fallen durch Erosion der Grasnarbe ins Auge (Abb. 44).

Nördlich von Jonvrai zwischen 2400m und 2600m ist die Landschaft übersät von kleinen Quellen mit geringen Schüttungsmengen. Trotzdem reichen dies aus, um das ganze Gebiet in eine sehr feuchte,



Abb. 44 Typische erodierte Oberfläche mit Sumpf an Quellaustritten, aufgenommen bei Patain in Richtung Süden. Hier wurde die Wasserprobe 275 genommen.

sumpfige Landschaft zu verwandeln. Weitere Quellen befinden sich bei Sur Bos~cha und im Einschnitt der Clozza. Letztere treten direkt aus dem anstehenden Bündnerschiefer in zahlreichen Quellhorizonten entlang der Schichtung des Gesteins aus, was einen Hinweis auf wasserstauende Lagen im Bündnerschiefer gibt. Auch in der Rutschmasse bei Patain treten einige Quellen zu Tage.

Versumpfte Gebiete wurden als Vernässungsstellen kartiert, insofern gestautes Wasser den Boden bedeckt oder eine typische Sumpflvegetation vorherrscht. Das Gebiet von Vallatschas über Jonvrai nach Champatsch bis fast hinauf zur Seilbahnstation Salaniva wird von solchen vernässten Stellen charakterisiert, kleinere kommen auf der Hochebene Sur Bos~cha und nördlich von Taslaina vor. Ein (in diesem Jahr drei) kleiner See bildet den Abschluss des Sur Bos~cha Plateaus nach Südwesten, bevor das Gelände an der Abrisskante bei Patain wieder steiler wird.

## 4. 2 Geotechnik

### 4. 2. 1 Beschreibung der Proben

Die Proben 255, 274 und 237 mit auffälliger türkisen Färbung bestehen fast ausschliesslich aus Serpentin. Die Klaster sind gut gerundet, zahlreiche Ritzspuren sind zu erkennen. Ausnahme bildet die Probe 237 mit etwa der Hälfte an Fremdklasten, wie kantige Carbonate und Bündnerschiefer. Die Proben 234, 235 und 275 haben eine bräunliche Farbe, die Klaster aus dem Bündnerschiefer sind nicht angerundet. Die Probe 276 wurde im verwitternden Bündnerschiefer genommen.

## 4. 2. 2 Klassifizierung der Proben nach USCS

Die Ergebnisse der geotechnischen Untersuchungen der einzelnen Proben können in der Klassifizierung nach USCS zusammengefasst werden. Bei der Probe 276 handelt es sich um einen sandigen, siltigen Ton mit Kies, die restlichen Proben werden als tonige bis siltige Kiese mit Sanden bezeichnet (Tab. 3).

Tab. 3 Klassifizierung nach USCS

Probe	Symbol	Gruppe
234	GP	schlecht abgestufter sandiger Kies
235	GC-GM	siltiger bis toniger Kies mit Sand
237	GC-GM	siltiger bis toniger Kies mit Sand
255	GM	siltiger Kies mit Sand
274	GC	toniger Kies mit Sand
275	GM	siltiger Kies mit Sand
276	CL	sandiger siltiger Ton mit Kies

## 4. 2. 3 Kornverteilung

Die Körnungslinien aller Proben wurden, wie in der Methodik erklärt, in Abb. 45 dargestellt, die einzelnen Kornsummenkurven sind im Anhang geplottet. Die kleinen Sprünge in den Linien bei der Korngröße 0,05mm entstehen durch den Übergang des Nasssiebens zur Sedimentationsanalyse.

Die Probe 276, die sich von den anderen absetzt, fällt durch das unsortierte Material und den hohen Feinanteil auf. Bei dieser Probe handelt es sich um in situ verwitternden, tonig-kalkhaltigen Bündnerschiefer. Bei den übrigen Proben können im Wesentlichen zwei Gruppen unterschieden werden. In der ersten Gruppe (255, 274 und 237) sind der Tonanteil,

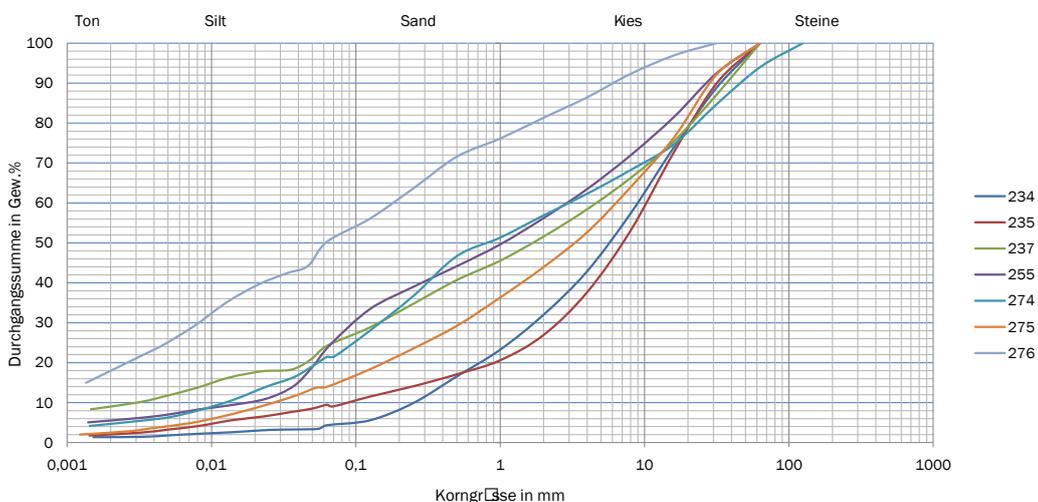


Abb. 45 Kornverteilungskurven aller Lockergesteinsproben (Details siehe Anhang).



zitätsindex  $I_p$  bei 8,5%. Dem gegenüber stehen die Proben 235 und 237 mit einer geringeren Plastizität, die Proben 234 und 275 sind nicht plastisch. Ihre Fließ- und Ausrollgrenzen liegen im Mittel bei 20%, bzw. 18%, der Plastizitätsindex liegt bei 4%.

Die Werte der Schrumpfgrenzen  $W_s$  stimmen allgemein mit den anderen Plastizitätseigenschaften überein. Die Konsistenzzahl  $I_c$  der Proben liegt eindeutig über 1 und  $W < W_s$ ; somit werden die Proben nach SN 670 008a als sehr hart bezeichnet (Tab. 6), die Liquiditätszahlen  $I_L$  liegen im negativen Bereich.

Tab. 5 Mittelwerte von Fließgrenze  $W_L$ , Ausrollgrenze  $W_p$  und Plastizitätsindex  $I_p$ . Grün eingefärbt sind nicht bis gering plastische Proben.

Probe	$W_L$ [%]	$W_p$ [%]	$I_p$ [%]	Einstufung nach USCS
234	17,4	16,2	1,7	nicht plastisch
235	22,4	18,4	4,1	nicht-gering plastisch
237	24,8	18,9	6,1	gering plastisch
275	15,1	17,3	n.b.	nicht plastisch
255	41,0	33,0	14,0	plastisch
274	28,8	19,7	9,1	ziemlich plastisch
276	26,7	18,8	8,0	ziemlich plastisch

#### 4. 2. 5 Wassergehalt

Wie zu erwarten war, ist der Wassergehalt der Proben unterschiedlich, was auf den verschiedenen Zusammensetzungen und Korngrößen, insbesondere der Feinanteile, beruht. Der Wassergehalt liegt bei den Proben 255, 274 und 276 zwischen 7,4 und 10,7%. Der Feinanteil dieser Proben ist ebenfalls höher (Tab. 4, Abb. 45). Bei den restlichen Proben liegt der Wassergehalt zwischen 1,2 und 3,8%, was bei den Proben 234, 235 und 275 auch durch den hohen Kiesgehalt beeinflusst wird. Der niedrige Wassergehalt der Probe 237 mit mässigem Feinanteil ist vermutlich auf die längere Lagerung zurückzuführen.

Anm.: Die Messung des Wassergehaltes sollte so schnell wie möglich nach der Probenahme erfolgen, damit kein Wasser verdunsten kann. Leider war dies logistisch nicht möglich und der Wassergehalt konnte erst nach 3 bis 4 Wochen gemessen werden, wobei die Proben auch unterschiedlichen Temperaturen ausgesetzt waren.

Tab. 6 Wassergehalt  $W$ , Schrumpfgrenze  $W_s$ , Konsistenzzahl  $I_c$  und die Liquiditätszahl  $I_L$ .

Probe	$W$ [%]	$W_s$ [%]	$I_c$	$I_L$ [%]
234	3	15,2	7,7	-6,9
235	3,8	17,3	4,6	-3,6
237	1,2	17,2	3,9	-2,9
275	2,9	n.b.	n.b.	n.b.
255	9,5	23,5	2,3	-1,7
274	10,7	17,4	2,0	-1,0
276	7,4	16,8	2,4	-1,4

## 4. 2. 6 Dichte und Trockendichte sowie Feucht- und Trockenraumgewicht

Die Dichte und die Trockendichte wurde an der ungestörten Probe 214 und der ungestörten Teilprobe 255 gemessen. Hierbei muss beachtet werden, dass der Dichtewert durch eine lange Lagerung und der damit beginnenden Austrocknung der mit Wasser gefüllten Poren etwas verfälscht wird. Trocken- und Feuchtraumgewicht sind in Tab. 7 angegeben.

Tab. 7 Dichte und Trockendichte, sowie Feucht- und Trockenraumgewicht der Proben 214 und 255. Die Ergebnisse der Probe 214 wurden aus drei Einzelmessungen ermittelt.

Probe	Dichte des Bodens [g/cm <sup>3</sup> ]	Trockendichte des Bodens [g/cm <sup>3</sup> ]	Feuchtraumgewicht [kN/m <sup>3</sup> ]	Trockenraumgewicht [kN/m <sup>3</sup> ]
214	2,4	2,3	23,4	22,8
255	2,4	2,3	23,2	22,6

## 4. 2. 7 Glühverlust

Der Versuch des Glühverlustes wurde ausschliesslich bei der Probe 276 durchgeführt, weil nur dort organisches Material vorhanden war. Bei der Bestimmung des Kalkgehalts, welcher vor der Bestimmung des Glühverlustes gemacht werden muss, wurde nach Norm SN670 371b ein mittlerer Kalkgehalt festgestellt, was einem Massenanteil von 10-30% entspricht. Der Glühverlust (LOI) beträgt 2,7%.

## 4. 2. 8 Scherversuche

Scherversuche wurden sowohl am Kreis- sowie am Ringschergerät durchgeführt. Die Ergebnisse der Reibungswinkel aller Proben sind sehr ähnlich, wobei der Reibungswinkel der Restscherfestigkeit des Kreisringschergerätes dem des Rahmenschergerätes, aufgrund des längeren Scherweges, vorzuziehen ist. Zwischen den plastischen und nicht- bis gering plastischen Proben kann bei den Scherergebnissen kein Unterschied festgestellt werden. Die Scherspannungskurven beim Rahmen- sowie beim Kreisringschergerät zeigen allgemein erst einen Anstieg der Scherspannung an und biegen zu einer langsam, leicht absinkenden Geraden um (Abb. 47). Je weiter der Scherweg ist desto geringer wird die Steigung der Kurve. Da der Scherweg des Rahmenschergerätes nur zwei cm beträgt ist die Steigung

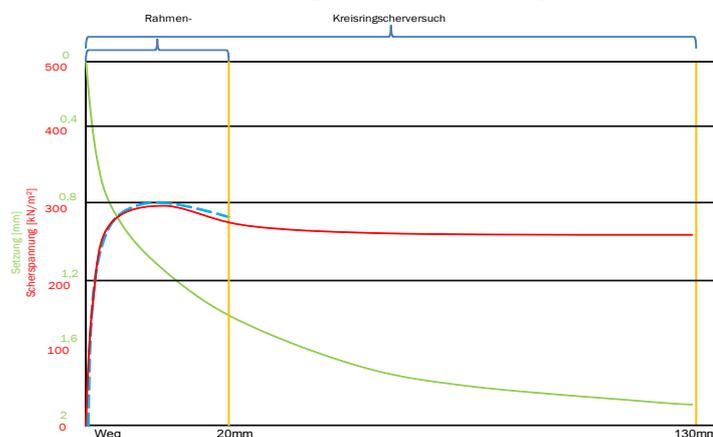


Abb. 47 Skizzierte Scherspannungs- und Setzungskurven. In rot ist die Scherspannungskurve des Kreisringschergerätes aufgezichnet, in grün die Setzungskurve. Die blaue Linie zeigt den Scherweg des Rahmenschergerätes von 20mm (25mm). Die orangenen Linien zeigen jeweils das Ende der jeweiligen Versuche an.

noch relativ hoch: Die Kohäsion kann noch nicht als wahre Kohäsion betrachtet werden. In der graphischen Berechnung der Scherwinkel sind diese Unterschiede in den Diagrammen zwischen Kreis- und Rahmenschergerät festzustellen. Während die Geraden (siehe Anhang, Geotechnik) von Scherfestigkeit und Restscherfestigkeit im Kreisringschergerät parallel sind, verlaufen diese im Rahmengerät noch nicht parallel zueinander. Die Reibungswinkel der Restscherfestigkeit beim Kreisringschergerätes bleiben gleich, die Kohäsion ist, wie vermutet, um ein Drittel verringert.

Als Beispiel wird die Probe 255 herangezogen: hier stimmen die Ergebnisse des Scherwinkels des Rahmenschergerätes und des Kreisringgerätes mit  $27,5^\circ$  gut überein. Die Restscherfestigkeit fällt beim Rahmenschergerät mit  $24,1^\circ$  um  $4^\circ$  niedriger aus als beim Kreisringscherversuch. Weitere Ergebnisse sind in Tab. 8 und Tab. 9 aufgelistet, bzw. im Anhang.

Tab. 8 Angabe der effektiven Scherparameter: Scherwinkel und Restscherfestigkeit des Kreisringscherversuches. Angabe der Winkel in Grad, die Kohäsion in  $\text{kN/m}^2$ .

Probe	Bruchparameter		Restscherfestigkeit		Mittlere Dichte [ $\text{g/cm}^3$ ]
	Reibungswinkel $\Phi'$	Kohäsion	Reibungswinkel	Kohäsion	
255	27,48	51,4	28,24	35,3	2,03
274	24,97	45,35	25,69	24,14	2
275	30,19	51,07	30,15	37,48	2,3
237	23,96	34,65	23,71	19,78	

Tab. 9 Angabe der effektiven Scherparameter: Scherwinkel und Kohäsion des Rahmenschergerätes. Angabe der Winkel in Grad, die Kohäsion in  $\text{kN/m}^2$ .

Probe	Bruchparameter		Restscherfestigkeit	
	Reibungswinkel $\Phi'$	Kohäsion	Reibungswinkel	Kohäsion
255	27,54	82,3	24,09	86,7
274	26,04	66,3	25,1	54,1
275	24,96	121,68	29,89	50,71
276	23,08	55,9	19,63	52,1

Eine Gefahr besteht darin, die Kohäsion zu hoch zu bewerten: Entspricht das Spannungsfeld im Labor nicht dem im Feld, wird eine scheinbare Kohäsion gemessen. Auch die Austrittsgeschwindigkeit des Wassers während des Scherversuches spielt eine große Rolle: ist sie kleiner als die Belastungsgeschwindigkeit, baut sich im Porenwasser ein Überdruck auf, der somit einen Teil der Belastung trägt und ihn dem Korngerüst abnimmt (Schmidt 2006). Zu beachten ist auch, dass für die Versuche die Korngröße  $<0,5$  verwendet wurde, und auch wenn die Proben als Matrix-dominiert angesehen werden, kann sich die Festigkeit und im Speziellen die Kohäsion im Gelände durch Grobkörner verändern bzw. erhöhen.

An den ausgebauten Probekörpern ist aussen eine sehr dünne Linie der Scherfläche erkennbar, beim Aufspalten der tonigeren Proben sind ausgebildete Scherflächen durch glänzende Flächen, also eingeregelt Tonminerale, erkennbar.

## 4.3 Wasserproben

### 4.3.1 Ionenchromatographie

Bei den Probenahmen des Wassers wurden, wie schon in der Methodik beschrieben, die Temperatur, der pH-Wert und die Leitfähigkeit gemessen (Tab. 10).

Während der pH-Wert innerhalb des Messfehlers identisch ist, differieren die Temperaturen  
 Tab. 10 Temperatur, pH-Wert und Redoxpotential der Quellen.

Probennummer	Temperatur [°C]	pH-Wert	Redoxpotential [mV]
257	6	7,86 / 7,95	-77
258	4	7,87	-36
260	6	7,84 / 8,02	-79
261	3	7,96 / 8,01	-85
262	3,5	7,88	-37
263	6	7,79	-32
264	6,5	7,83	-34
265	6	7,81	-33
270	6	7,83	-34
271	7	7,99	-43
272	5,5	8,08	-48

um einige Grad Celsius. Die kühlpsten Quellen mit 3-4 °C wurden unterhalb des anstehenden Bündnerschiefers im Norden des Kartiergebietes gemessen. Weiter talwärts erwärmen sich die Quellen bis auf 7 °C (Abb. 48). Das Redoxpotential ist bei den Quellen 257, 260 und 261 mit ca. -80mV (im Foto braun eingefärbte Temperaturwerte) höher als bei den anderen, welche bei knapp -35mV liegen.

Der Gehalt an Anionen und Kationen sind in Tab. 11 sowie in Abb. 49 dargestellt. Der Anteil der gemessenen Mineralstoffe fällt sehr viel geringer aus als erwartet, die Werte von Chlorid und Nitrat sowie Kalium und Natrium liegen vielfach unter der Nachweisgrenze.

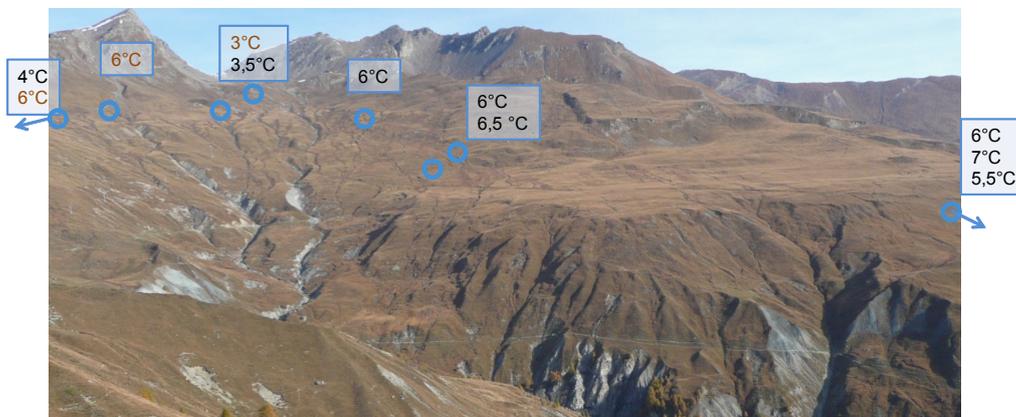


Abb. 48 Auf dem Foto sind in blauen Kreisen die Orte der Quellen und ihre jeweilige Wassertemperatur abgebildet. Bräunlich eingefärbte Wassertemperaturen zeigen eine erhöhte Leitfähigkeit der Quellen an. Aufgenommen wurde das Bild mit Blick nach Osten unmittelbar oberhalb von Motta Naluns.

Höhere Werte zeigen Calcium, Magnesium und Sulfat an. Die Proben 257, 261, 262 und 270 weisen mit ca. 35mg/l einen höheren Gehalt an Sulfat auf, als die anderen Proben. Den höchsten Anteil bei den Kationen hat mit ca. 50mg/l das Calcium, gefolgt von Magnesium mit durchschnittlich 10mg/l. Probe 271 und 272 enthalten, im Gegensatz zu den anderen

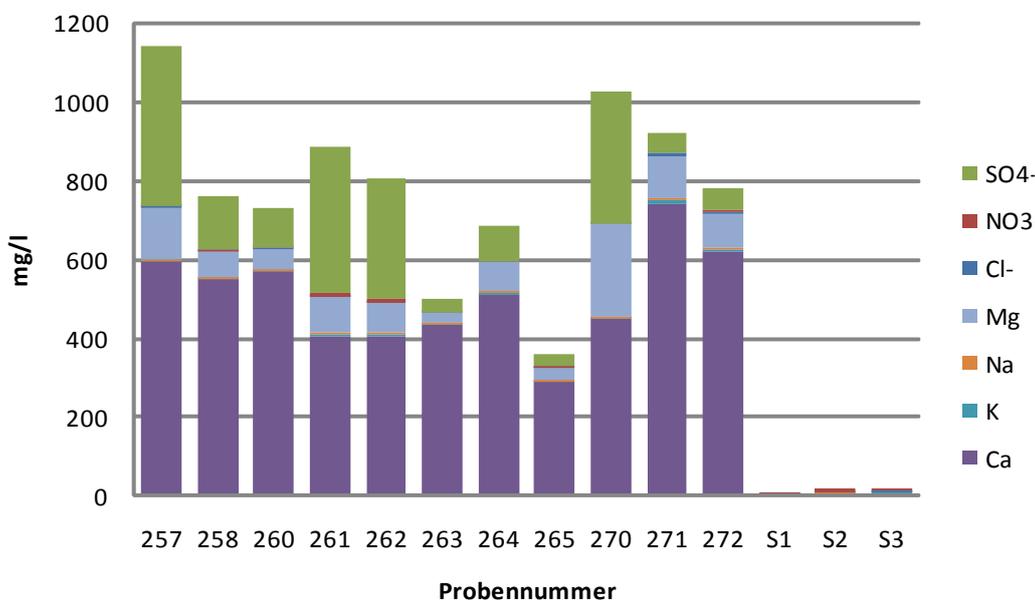


Abb. 49 Anionen und Kationen der gemessenen Wasser- und Schneeproben.

Quellen, eindeutig Kalium und Chlorid. Nitrat ist in den Quellen 261 und 262 sowie in den Schneeproben S2 und S3 vertreten. Die stärkste mineralisierte Quelle liegt auf einer Höhe von 2160m direkt in der Abbruchfläche eines Grossbruchrandes. Der Gehalt an Magnesium ist hier stark erhöht.

Tab. 11 Ergebnisse der Anionen- und Kationenanalyse. Die Werte werden in ppb angegeben.

Probe	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sub>2</sub> <sup>+</sup>	Ca <sub>2</sub> <sup>+</sup>
257	399	73	40476	522	183	12751	59545
258	255	276	13616	426	88	6425	55042
260	114	253	9954	299	156	5419	56880
261	121	902	37329	530	205	8989	40705
262	121	822	30967	475	191	7495	40746
263	16	0	3600	291	111	2491	43515
264	100	40	8857	468	328	7794	51061
265	78	456	3012	422	171	2815	28982
270	226	0	33223	579	301	23219	44868
271	655	0	4946	344	873	10935	74191
272	480	134	5617	384	676	8708	62024
S1	30	143	0	99	77	0	106
S2	376	911	0	291	251	0	284
S3	255	704	0	205	209	54	566

#### 4.4 $^{14}\text{C}$ Alter

Im Kartiergebiet bei Vallatschas bei den Koordinaten 816.352/190.004 wurde ein Holzstrunk an der Seite eines Bachbettes, hinter einem grossen Block eingeklemmt, gefunden. Der Holzstock war aufgrund der Erosion des Baches schon halb aus dem Geschiebematerial ausgegraben. Das konventionelle Alter von  $4610 \pm 35$  Jahren vor 1950 AD an (ETH-37 236) wurde mit CALIB 5.0 von Stuiver und Reimer (1993) korrigiert. Unter Verwendung des höchsten und geringsten Wertes der Sigma-2 Standardabweichung wird eine Zeitspanne von 5085y bis 5372y BP berechnet.



---

## 5. Vergleich und Interpretation

### 5.1 Bodenmechanische Eigenschaften

Die Ergebnisse der bodenmechanischen Analysen werden aufgrund ihrer Feldansprache und den ermittelten bodenmechanischen Eigenschaften, im Folgenden unter dem Gesichtspunkt der sedimentologisch-materialtechnologischen Bestimmungsgrößen von Grundmoränen nach Schlüchter (1989) diskutiert und mit anderen Ergebnissen verglichen, vorzugsweise mit den Analysen von Annina Margreth (Margreth 2004).

Bei der Interpretation der bodenmechanischen Eigenschaften muss beachtet werden, dass es sich bei den Lockergesteinsproben materialtechnisch -mit der Ausnahme 276- um Endglieder bzw. Mischungen aus zwei unterschiedlichen Ressourcen von Gestein und Transportweg handelt. Eines dieser Endglieder wurde von Margreth (2004) im angrenzenden Gebiet untersucht und bietet somit einen vorzüglichen Vergleichswert. Allen voran ist die Probe 255 optisch und bodenmechanisch diesem Sediment am nächsten.

Nach Schlüchter (1989) wird eine Grundmoräne, sog. basal lodgement till, durch folgende sedimentologische und materialtechnische Kenngrößen bestimmt:

- Eine spezielle Korngrössenzusammensetzung, welche im halblogarithmischen Diagramm nach USCS dargestellt wird, ist durch eine diagonale Linie gekennzeichnet und zeigt somit ein nicht sortiertes Sediment aller Korngrößen an. Charakteristisch ist hier, wie auch bei den Proben festgestellt wurde, eine Dominanz der Matrix. Wie in (Abb. 50) abgebildet, stimmen die Kornsummenkurven der ersten Gruppe (255, 237 und 274) gut mit dem eingefärbten Bereich der Grundmoränen aus St. Moritz, sowie mit den Ergebnisse von Margreth (2004) und Graaf (2008) überein. Die zweite Gruppe (234, 235 und 275) fällt durch einen hohen Kiesgehalt mit bis zu 70% auf. Als völlig unsortiertes Sediment wird die Probe 276 betrachtet, die nicht transportiert wurde und als in situ verwitterter Bündnerschiefer angesehen wird. Es entsteht keine typische Körnungslinie eines Geschiebemergels.
- Die plastischen Eigenschaften eines glazigenen Sediments sind gekennzeichnet durch eine lineare Beziehung zwischen Fließgrenze und Plastizitätsindex entlang der sogenannten T- oder Till-Linie im Plastizitätsdiagramm nach Casagrande (Boulton und Paul 1976). Die in dieser Arbeit ermittelten Proben liegen entlang der sogenannten Marinen Tone Linie. Das Material besteht zu einem grossen Teil aus Bündnerschiefer, welcher diagenetisch aus marinen Tonen entstanden ist (Abb. 51). Einzig Probe 255 weicht, wie die Proben von Margreth, davon ab. Anhand der Plastizitätsergebnisse kann die Aussage getroffen

werden, dass das Material dem einer Grundmoräne ähnlich ist, jedoch sich auch ein deutlicher Unterschied abzeichnet. Zu untersuchen wäre allerdings der Einfluss unterschiedlicher Lithologie in diesem Diagramm.

Die Proben von Margreth streuen sehr: Die Fließgrenze liegt im Mittel bei 45%, bzw. die Ausrollgrenze bei 34%. Der, in dieser Arbeit ermittelte, Plastizitätsindex kommt mit 9% den 12% bei Margreth sehr nahe. Die tieferen Werte sind vermutlich auf den geringeren Anteil an Feinmaterial zurückzuführen (Abb. 50). Die Plastizität der restlichen Proben (234, 235 und 275) sind tiefer (Fließ- und Ausrollgrenze 18, bzw. 17% und der Plastizitätsindex 1,4%). Werte der Fließgrenze, welche an siltigen Kiesen mit Sand im Vorfeld des Findelengletschers gemessen wurden zeigen Werte von 15-20% und einen sehr geringen Plastizitätsindex auf (Graaf 2007). Ähnliches zeigen die Werte aus dem Gletschervorfeld des Vadret da Grialetsch (Signer 2008). Zieht man typische Grundmoränenproben aus dem Schweizer Mittelland hinzu (grüne Symbole, Abb. 51) liegen diese auf der T-Linie, parallel zu der Marien Tone Linie. Zu beachten ist hier das unterschiedliche Ausgangsmaterial, welches den Proben zugrunde liegt.

- Desweiteren wird die Liquiditätszahl bei Grundmoränen zwingend kleiner als 0,25 angesehen. Die hier errechneten Liquiditätszahlen liegen ausschliesslich im negativen Bereich und zeigen so eine verringerte Porosität und eine Verfestigung des Sediments durch die Kompaktion des Gletschers an.

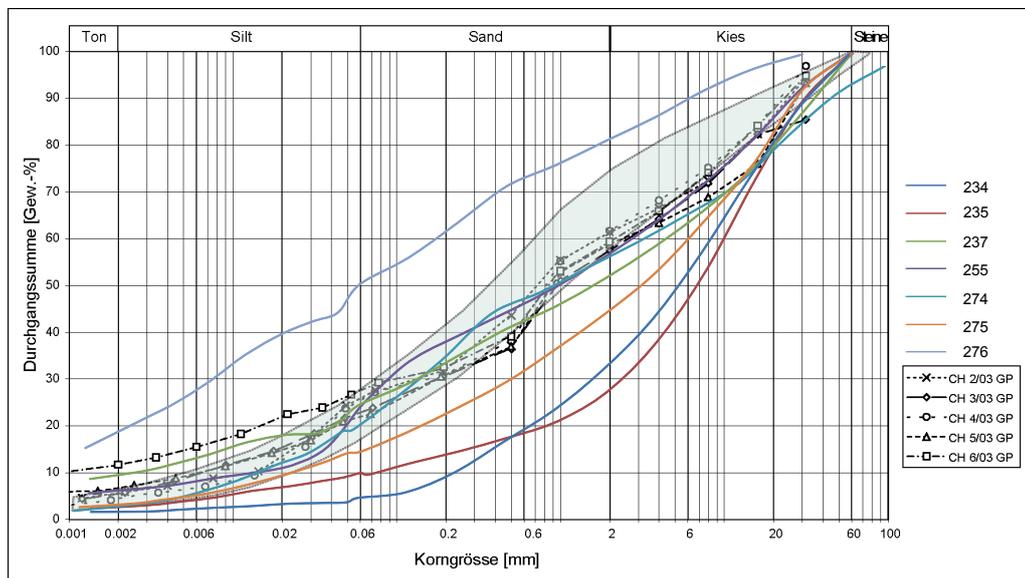


Abb. 50 Kornsummendigramm mit Kornsummenkurven von A. Margreth (schwarz) und in bunt dargestellt die Kornsummenkurven dieser Arbeit. Die grünlich eingefärbte Fläche spiegelt den Bereich von Grundmoränen in St. Moritz nach (Schlüchter EHT-39 839, 39 843 und 39 844). Der grösste Unterschied liegt im geringeren Sandanteil dieser Proben.

- Ein weiteres, wichtiges Merkmal einer Grundmoräne ist die hohe Lagerungsdichte, bedingt durch aktive Verdichtung; d.h. bestmögliche Lagerungsdichte mit optimalem Wassergehalt. Dieser liegt bei einer Grundmoräne, wie hier definiert, bei  $W_p$ , oder darunter

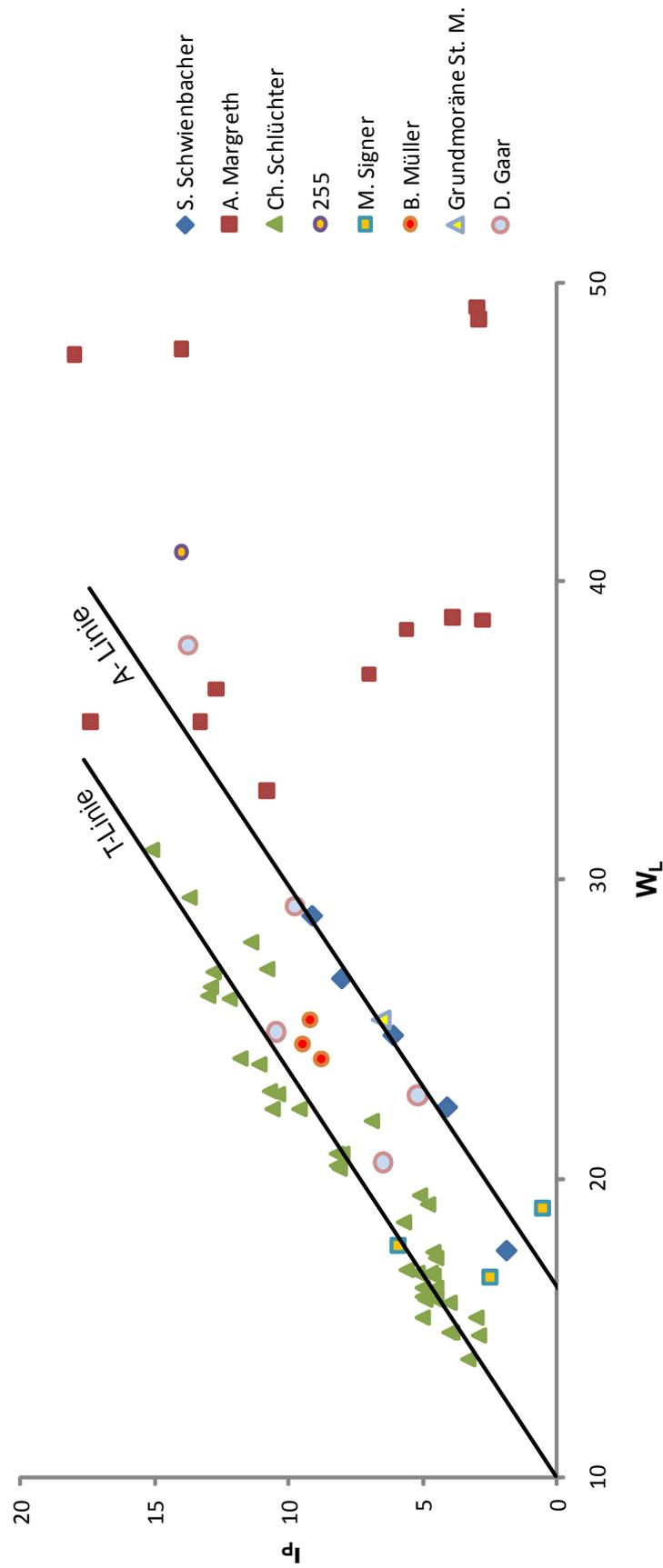


Abb. 51 Diagramm von Casagrande verändert nach Boulton & Paul (1976). In grün sind typische Grundmoränenproben aus dem Schweizer Mittelland nachgezeichnet (Schlüchter 1989), in rot die Ergebnisse von Proben oberhalb von Jonvrai (A. Margreth 2004) und in blau sind die Lockersedimente, welche in dieser Arbeit untersucht wurden, dargestellt. Die Proben von M. Signer stammen aus dem Gletschervorfeld des Vadret da Grialetsch, die Proben von D. Gaar aus dem Val Schais (Graubünden). B. Müller verwendete Proben einer Gletscherseemoräne (Tongrube Rehag bei Bern), eines Deformationshorizontes einer Grundmoräne des Weisstantalglatschers und ein diamiktisches Sediment einer Rutschmasse am Schwarzsee (Müller 1996).

(Schlüchter 1989).

Die ermittelten Trockenraumgewichte an den ungestörten Proben 214 und 255 liegen mit 22,4 und 22,3kN/m<sup>3</sup> über dem als 20kN/m<sup>3</sup> angegebenen Mindestwert für Grundmoränen. Auch die mittlere Dichte der Proben bei Wassersättigung von 2,1g/cm<sup>3</sup> respektive 21kN/m<sup>3</sup>, welche bei den Scherversuchen ermittelt wurde, stimmt hiermit überein. Im Vergleich zeigen die Proben von Margreth deutlich geringere Trockendichten von einem mittleren Gewicht von 1,76 g/cm<sup>3</sup> an, was einem Trockenraumgewicht von 17,6kN/m<sup>3</sup> (bei einer Erdbeschleunigung von 10m/s<sup>2</sup>) entspricht. Diese Differenzen des Raumgewichtes weisen auf unterschiedlich diagenetische Verhältnisse hin: So scheinen die ungewöhnlichen Lockersedimente bei Champatsch, im Gegensatz zu denen in dieser Arbeit ermittelten Proben, weniger Kompaktion durch einen Gletscher erfahren zu haben.

- Weitere sedimentologische Bestimmungsgrößen sind die Einregelung von Klasten, typische Klüftung im Sediment und Negativformen eingedrückter Klasten sowie spezielle



Abb. 52 Gut gerundeter Serpentiniklast der Probe 274. Der obere Teil des Gesteins wurde, aufgrund von Schubbeanspruchung unterschiedlich schnell bewegender Komponenten, abgesprengt.

Formen der Geschiebe. Die Klasten der Lockergesteinsproben können nach der Einteilung von Reichelt (1955, 1961) in vier Kategorien (gut, gerundet, kantengerundet und kantig) eingestuft werden, wobei die Serpentiniklasten der Proben 255, 274 und 237 als gerundet angesehen werden (Abb. 52).

Sie weisen typische Formen eines durch Gletschereis transportierten Gesteins, wie Schwalbenschwanz- und Bügeleisenform oder Ritzspuren von anderen Geschieben, auf.

Die Klasten der restlichen Proben sind kantig.

Das organische Material der Probe 276 zeigt, so wie die unterschiedlich ausgefallenen Resultate der Bodenmechanik zuvor, ein anderes Material als die restlichen Proben an.

Aufgrund der Feldansprache und der materialtechnischen Eigenschaften werden die Proben 255, 274 und 237 (bis auf Probe 276) als Diamikt angesprochen. Es wurde festgestellt, dass einige der Kornsummenkurven denen von typischen Grundmoränen entsprechen. Auch die hohe Lagerungsdichte, sowie die negativen Liquiditätszahlen dieser Proben sprechen für eine Kompaktion des Sediments durch einen Gletscher. Bei der Plastizität zeigen sich allerdings Unterschiede, welche im Diagramm nach Casagrande deutlich sichtbar werden. Die Resultate liegen nicht auf der Till-Linie sondern entlang der Marinen Tone Linie. Die kantengerundeten Klasten zeigen an, dass sie transportiert wurden und Ritzspuren weisen auf das Transportmittel Eis hin. Die Erratiker, bis auf eine Höhe von 2300m, bestimmen eine

minimale Eishöhe des LGM, der Holzstrunk bei Vallatschas deutet auf eine Warmphase vor etwa 5k Jahren hin.

Die Proben 234, 235 und 275 werden aufgrund ihrer nicht angerundeten und nicht ortsfremden Klasten als Gehängeschutt bezeichnet, auch wenn einige Eigenschaften gut mit denen eines glazialen Sediments übereinstimmen.

Eine tektonische Bildung des Sediments - wie bei Margreth (2004) diskutiert wird- wird hier nicht ausgeschlossen, hat aber hier keine primäre Bedeutung, da das in Frage kommende Lockermaterial eindeutig transportiert wurde.

Die Probe 276 weicht bei allen Resultaten von den anderen Proben aufgrund ihrer Entstehung, ein in situ verwitternder Bündnerschiefer, ab.

### 5. 1. 1 Scherdaten und Profil

Zieht man ein Höhenprofil quer durch das Kartiergebiet, liegt die durchschnittliche Neigung des Hanges in Richtung des Tales unter  $20^\circ$ . Die im Durchschnitt bei  $27^\circ$  liegenden Scherwinkel, welche im Zuge dieser Arbeit ermittelt wurden, liegen um einiges darüber und zeigen eine gewisse Reserve; Der Hang ist demnach stabil. Dort, im direkten Hang zur Clozza hin, wo die Proben für die Scherversuche genommen wurden, sind die Hänge steiler und liegen zwischen  $24$  bis  $32^\circ$ . In Abb. 53 und 54 wurden die Orte der Probenamen direkt im

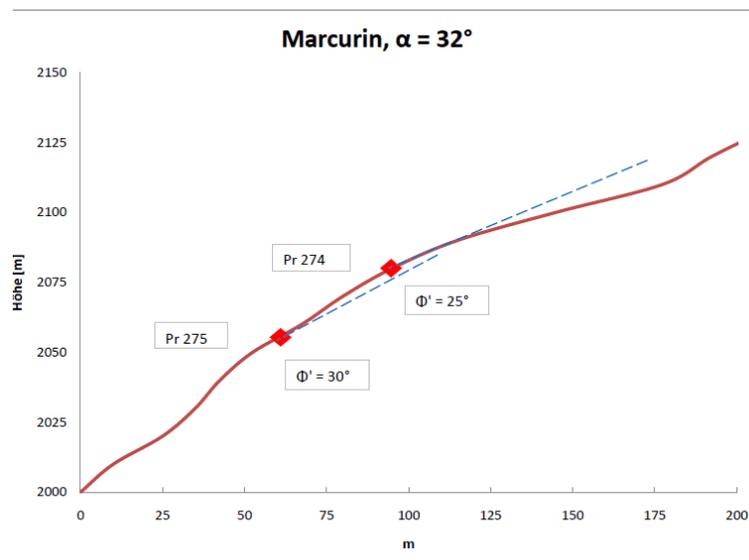


Abb. 53 Die Durchschnittsneigung des Hanges bei Marcurin liegt bei  $32^\circ$ , die Scherwinkel liegen mit  $30^\circ$  und  $25^\circ$  etwas darunter.

Profil eingetragen. Man kann erkennen, dass die Neigung der Hänge etwa ungefähr dem Scherwinkel des Materials entsprechen, bzw. etwas darüber oder darunter liegen.

Diesen Ergebnissen entspricht auch der errechnete Index  $k_s$  (stream steepness index), welcher aufgrund der Neigung des Flussbettes Aussagen über die Erosion und Akkumulation der Clozza angibt (Wobus 2006). Dieser Index wird anhand der Formel

$$k_s = (s/A)^\theta$$

mit  $s$  = Hangneigung;  $A$  = Fläche,  $\theta$  = Krümmung = 0,45 berechnet.

Je höher der  $k_s$ -Wert, desto erosiver ist das Verhalten eines Baches. Kleinere  $k_s$ -Werte hingegen zeigen Zonen mit Akkumulation an. Die Abb. 55 zeigt Erosion im mittleren Bereich des Baches mit einem relativ steilen Bachbett an, darüber und darunter wurden kleinere  $k_s$ -

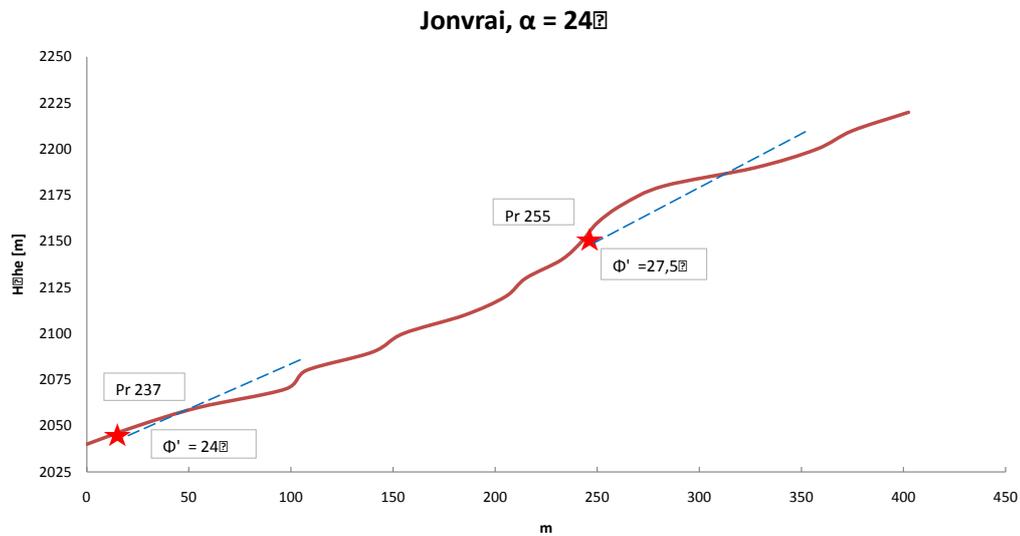


Abb. 54 Im Profil Jonvrai hat sich die natürliche Hangneigung mit  $24^\circ$  schon an den ermittelten Scherwinkel angepasst, der Hang ist bis auf den steilen Abschnitt beim Probeort 255 im Gleichgewicht.

Werte berechnet, welche kaum Erosion bzw. eher die Ablagerung von Sedimenten anzeigen. Es muss beachtet werden, dass die im Labor ermittelten Scherwinkel nicht eins zu eins in die natürliche Umgebung übertragen werden können. Müller (1998) hat in einem Vergleich von natürlichen und im Labor durch Schergeräte erzeugten Scherflächen Unterschiede festgestellt: So konnten in den erstellten Dünnschliffen, die längere Scherwege im Kreisringschergerät erfahren haben, kaum Spuren von Deformationen ausgemacht werden. Dies bedeutet unter anderem, dass sich natürliche Scherflächen breiter ausbilden und dass die Scherwege sehr viel grösser sein müssen. Bei einem länger gewählten Scherweg könnte sich die Reschscherfestigkeit und somit die Kohäsion beträchtlich verändern und müsste daraufhin genauer untersucht werden.

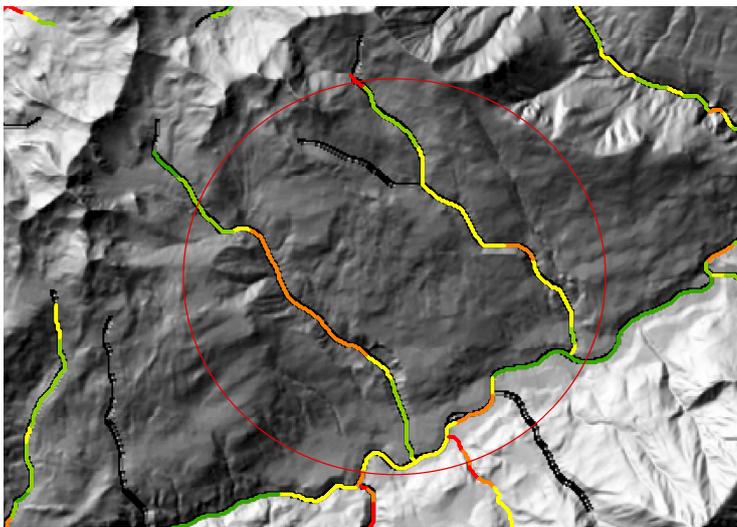


Abb. 55 In ArcGis erstelltes „hillshade“ mit Berechnung von akkumulativen und erosiven Zonen der Clozza. Der linke Bach im roten Kreis zeigt die Clozza, die Karte ist genordet.

## 5. 1. 2 Hydrologie

Mit einer chemischen Analyse kann durch die Menge der vorhandenen Ionen im Wasser die Verweilzeit dessen im Gestein abgeschätzt werden. Je länger das Wasser dort zirkuliert, desto mehr Mineralien lösen sich und desto mineralreicher wird es. Bei Scuol selbst gibt es bekannte Mineralquellen, bzw. Säuerlinge, welche sich aus zirkulierenden Tiefenwässern bilden. Es wurde überlegt, ob auch höher im Gebiet stärker mineralisierte Quellen zu Tage treten. Bissig (2006) konnte bei der chemischen Analyse dieser Säuerlinge durch die unterschiedlich starke Mineralisation Rückschlüsse auf die Herkunft des Wassers ziehen (Abb. 56). Hochmineralisierte Wässer erreichen eine Konzentration von  $<15.000\text{mg/l}$  und zeigen eine hohe Verweilzeit im Gestein an. Calcium-Hydrogen-Carbonat-Quellen an den Hängen von Scuol, mit einem Anteil von freiem  $\text{CO}_2 > 2000\text{mg/l}$  und einigen  $100\text{mg/l}$ , zeigen eine Verweilzeit des Wassers von wenigen Jahren im Untergrund an.

Desweiteren ist auch die Temperatur des Wassers ein Hinweis auf die Tiefe der Quelle und gibt im Zusammenhang mit der Chemie Hinweise auf die Tiefe der Fließwege, welche wertvolle Information zum strukturellen Aufbau des Hanges geben. Aufgrund der sehr geringen Mineralisation aller Proben handelt es sich bei allen um oberflächennahe, Süßwasser gespeiste Quellen mit kurzen Fließwegen und kurzer Verweildauer. Die

kühlen Temperaturen der Quellen weisen auf eine gewisse Tiefe der Fließwege hin.

Im Gelände fiel bei der Beprobung des Wassers vor allem die Quelle 270 in der Anrissnische der Rutschung bei Patain auf, deren Bachbett talwärts stark von Quelltuffen geprägt ist. Die chemische Analyse zeigt im Vergleich mit anderen Quellen keine höheren Werte an Calcium, sondern einen höheren Anteil an Magnesium an. Erhöhte Sulfatwerte, welche vermehrt in den westlichen Quellen 257, 261 und 262 vorkommen, werden vermutlich von den dort anstehenden triassischen Carbonaten gespeist (Sigg 1996). Die Quelle 270 im Osten des Gebietes könnte als Anzeiger für triassisches Gestein interpretiert werden, welches nicht anstehend gefunden wurde, sich aber als Band unterirdisch von Ost nach West weiterzieht. Die Schneeproben weisen kaum Kationen oberhalb der Nachweisgrenze auf, allerdings sind Spuren von Chlorid und Nitrat zu finden. Diese Ionen werden also indirekt über den Niederschlag ins Wasser eingebracht.

Die chemischen Analysen von Gaar (2008), südlich von Santa Maria, im Einzugsgebiet von

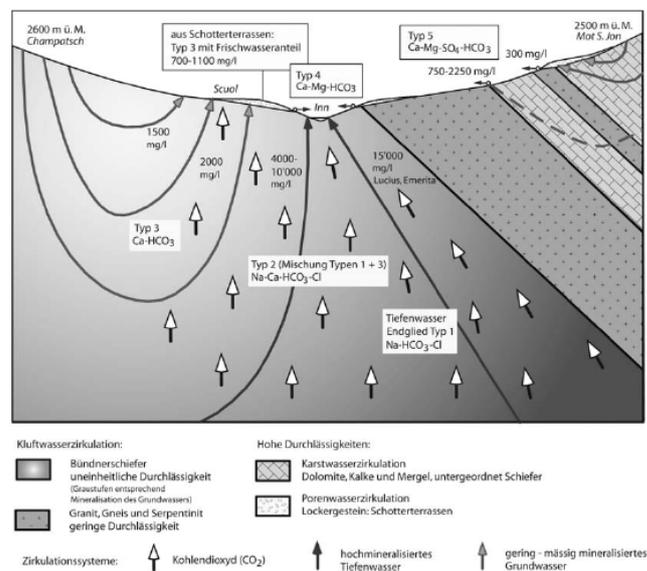


Abb. 56 Modell zur Grundwasserzirkulation bei Scuol von Bissig (2006).

Engadiner Dolomiten, Verrucano der Scarl-Decke und Gipseinschaltungen, zeigen eine 10- bis 100-fache Konzentration einiger Ionen in den Gewässern dort an, was nur teilweise an den tieferliegenden Probennahmestellen und somit durch längere Fließwege zu erklären ist.

## 5.2 $^{14}\text{C}$ Analysen

Holz, welches vermutlich durch eine Mure oder Rutschung in das Sediment eingebettet wurde, zeigt einen höheren Baumbewuchs im Engadin vor etwa 5k Jahren an. Das kalibrierte Alter von 5085y bis 5372y liegt nach Jörin (2008) in einer Vorstossphase, also einer Kaltphase der Gletscher zwischen der 5. und 6. Rückzugsphase von 5500y BP bis 5200y BP entspricht. Betrachtet man den Fehlerzeitraum und rechnet die Wachstumsphase des Baumes dazu, schiebt sich das Ganze vermutlich in die 5. Rückzugsphase, also in eine Warmphase des Holozäns (Abb. 57).

Jörin führte zur Bestimmung des Alters von Holzproben, welche an zurückgehenden Glet-

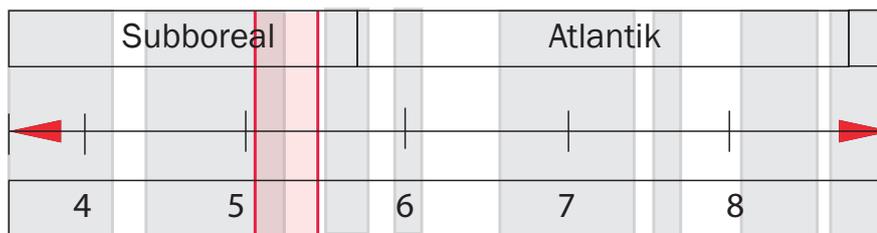


Abb. 57 Diese Zeitleiste zeigt einen Ausschnitt des Holozäns mit den 8 darin liegenden Rückzugsphasen (grau hinterlegte Bereiche) der Gletscher nach U. Jörin (2006). Der rote Bereich zeigt das kalibrierte Alter des Baumes an. Die Rückzugsphasen können als Warmphasen interpretiert werden.

scherzungen gefunden wurden, Radiokarbondatierungen durch und ergänzte dies mit dendrochronologischen Bestimmungen. Somit konnte er 12 Phasen von Gletscherrückgängen in der Zeitspanne des Holozäns ermitteln. Daten aus dem nächstgelegenen Tschierva Gletscher zeigen drei HOE`s (holocene optimum events) an (Jörin 2008), wobei das jüngste Event bis 5650y BP reicht.

## 6. Literaturverz.

- Tektonische Karte der Schweiz, 1:500000. Bundesamt für Wasser und Geologie, Bern-Ittigen.
- Schweizer Normen:
- Wassergehaltsbestimmung durch Ofentrocknung: Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen  
 SN 670 903-5a (Jan 2005)  
 EN 1097-5 (Jul 1999)  
 SN 670004-1a / EN ISO 14688-1 (2002)
- Trockensiebung: Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen; Teil 1: Bestimmung der Korngrößenverteilung - Siebverfahren  
 SN 670 902-1b (Jan 2005)  
 EN 933-1 (Aug 1997)
- Schlammanalyse nach der Aräometermethode  
 SN 670 816a
- Konsistenzgrenzen  
 SN 670 345a (Nov 1989)
- Klassifizierung nach USCS: Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden- Teil 2: Grundlagen von Bodenklassifizierung  
 SN 670 004-2a (Dez 2005)  
 SN 670 004-2aNA (Dez 2005)  
 EN ISO 14688-2: 2004
- Bodenklassifikation: Bestimmung des Glühverlustes:  
 SN 670 370, Mai 1999
- Gesteinskörnungen, W. d. (2005/1999/2002).  
 SN 670 903-5a, EN 1097-5, SN 670 004-1a / EN ISO 14688-1.
- Deutsche Norm:  
 Kreisringscherversuch nach DIN 18 137 (Aug 1990)
- Ahnert, F. (2003). Einführung in die Geomorphologie, 3. Auflage. Stuttgart: Eugen Ulmer.
- Bätzing, W. (2003). Die Alpen. München: C. H. Beck OHG.
- Becker, B. (1983). Postglaziale Auwaldentwicklung im mittleren und oberen Maintal anhand dendrochronologischer Untersuchungen subfossiler Baumstammablagerungen. Hannover:

Geol. Jb. A 71: 45-59.

Bissig, P. G. (2006). Cabogaseous spring waters, coldwater geysers and dry CO<sub>2</sub> exhalations in the tectonic window of the Lower Engadine Valley, Switzerland. *Eclogae geol. Helv.* 99, 143-155.

Boulton, G.S., Paul, M. A. (1976): The influence of genetic processes on some geotechnical properties of glacial tills. *Quart. J. Engineer. Geol.* 9: 159-194.

Busche, D. K. (2005). *Landschaftsformen der Erde; Bildatlas der Geomorphologie*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.

Cadisch, J. (1961). *Der Oberbau der Orogene*. Sonderdruck aus: *Geolog. Rundschau*, Bd. 50.

Cadisch, J. (1942). *Die Entstehung der Schweizer Alpen im Lichte der neuen Forschung*. Basel.

Cadisch, J. E. (1968). *Erläuterungen zum geologischen Atlas der Schweiz*. 1:25000, Blatt 44: Scuol-Schulos-Tarasp. Schweiz: Geologische Kommission.

Cadisch, J. E. (1963). *Geologischer Atlas der Schweiz* 1:25000, Blatt 44: Scuol-Schulos-Tarasp. Schweiz: Geol. Kommission.

Cadisch, J. (1951-1956). *Geologie des Fürstentums Liechtenstein*, 3 Bd. Vaduz: Historischer Verein für das Fürstentum Liechtenstein.

Cadisch, J. (1939). *Geologische Probleme der rätischen Alpen*. Chur.

Cadisch, J. (1938). Über eine Schluchtverlegung im Samnauntal und über Talbildungsprobleme der Gegend von Finstermünz (Graubünden und Tirol). *Zeitschrift für Gletscherkunde*, Bd. 26, H. 3/4 .

Dürr, S. R. (1993). Geochemistry and geodynamic significance of North Penninic ophiolites from the Central Alps. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.*, 73, 407-419.

Florineth, C. (1994). *Neue Beobachtungen zur Ozeanbildung und zur alpinen Tektonik in der Tasna-Decke (Randbereich zwischen Nord- und Mittelpenninikum, Unterengadin)*. Diplomarbeit ETH Zürich, 102S.

Florineth, D. U. (1994). Transition from continental to oceanic basement in the Tasna nappe (Engadine window, Graubünden, Switzerland): evidence for Early Cretaceous opening of the Valais ocean. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.* 74, 437-448.

Frisch, W. (1979). Tectonic progradation and plate tectonic evolution of the Alps. *Tectonophysics*, 60, 121-139.

Frisch, W. U. (2005). *Plattentektonik – Kontinentverschiebung und Gebirgsbildung*. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, 196 S.

Froitzheim, N. R. (1998). Continental breakup by detachment faulting: field evidence and geochronological constraints (Tasna nappe, Switzerland). *Terra Nova*, 10, 171-176.

Gaar, D. (2008). *Die Rutschung von Sta. Maria, Val Müstair*. Masterarbeit an der Universität Bern.

Genske, D. (2006). *Ingenieurgeologie. Grundlagen und Anwendung*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

Geyh, M. A. (1980). *Einführung in die Methoden der physikalischen und chemischen Alters-*

- bestimmung. Darmstadt: Wissenschaftl. Büchergesellschaft.
- Godwin, H. (1962). Radiocarbon dating; fifth international conference. *Nature*, v. 195, 943-945.
- Gürler, B. (1995). Geologie des Val Tasna und Umgebung. Geologische Untersuchungen im SW-Teil des Unterengadiner Fensters. Beiträge zur Geologischen Karte der Schweiz. Schweiz. Geol. Kommission, 7-72.
- Hecker, C. (1999). Alpine Tektonik und Metamorphose im Gebiet um den Piz Tasna (Tasnadecke, Unterengadin/Schweiz). Diplomarbeit, Universität Basel, 103 S.
- Heller, H. (1978). Oekologische Untersuchungen im Unterengadin, 3. Lieferung. Ergebnisse der wissenschaftlichen Untersuchungen im Schweizerischen Nationalpark. Liestal: Druck Lüdin Ag.
- Hitz, L. (1994). Crustal Structure at the transition between central and eastern Alps: processing, 3D Modeling and interpretation of a network of deep seismic profiles. Inauguraldissertation, Universität Bern.
- Hsü, K. U. (1991). Geologie der Schweiz. Ein Lehrbuch für den Einstieg und eine Auseinandersetzung mit den Experten. Birkhäuser Verlag, Basel, 219 S.
- Jörin, U. E. (2008). Holocene optimum events inferred from subglacial sediments at Tschierwa Glacier, Eastern Swiss Alps. *Quaternary Science Reviews* 27, 337-350.
- Jörin, U. (2006). Holocene Glacier Fluctuations in the Swiss Alps. Dissertation Institut für Geologie, Universität Bern, 104 S.
- Labhart, T. P. (1977). Aarmassiv und Gotthardmassiv, Sammlung Geologischer Führer. Berlin: Bornträger.
- Labhart, T. P. (1992). Geologie der Schweiz. 5. überarbeitete Auflage. Ott Verlag Thun, 211 S.
- Machatschek, F. (1936, Wien). Nochmals zur Glazialgeologie des Oberinntales. *Verh. Geol. B.A.*, 125-132.
- Machatschek, F. (1933). Tal- und Glazialstudien im oberen Innggebiet. Wien: Mitt. Geograph. Ges.
- Maisch, M. (1993). Die Gletscher Graubündens. Geographisches Institut der Universität Zürich: Stiftung Zentralstelle der Studentenschaft der Universität Zürich.
- Margreth, A. (2004). Quartärgeologische Untersuchungen im Unterengadin, GR. Geologische Kartierung Val Tavrü, Lockergeistensprofile Val S-charl, Quellenhydrologie, Diamikte bei Champatsch (Scuol). Diplomarbeit, ETH Zürich, 111 S.
- Margreth, A., & Schlüchter, C. (2005). Dimikte im Grenzberereich zwischen Bündnerschiefer und Tasna-Decke des Engadiner Fensters (Graubünden, Schweiz). Geotechnische Eigenschaften und Genese eines ungewöhnlichen Lockergesteins. Separatausdruck: *Bull. angew. Geol.* 10/2.
- Mattmüller, C. (1998). Sturkturen des Engadiner Fensters, Bd. 1 Tektonik und Kinematik. Diss. an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen.
- Merz, M. (2005). Grundlagenstudium, hydrologisches Einzugsgebiet Val Clozza. Gemeinde Scuol: i. A. der Gemeinde Scuol.

- Müller, B. U. (1998). Scherdeformationen an glazialen Lockergesteinen- In der Natur und im Laborversuch. Bull. angew. Geol. Vol. 3, Nr. 2, 183-197.
- Neuendorf, K. M. (2005). Glossary of Geology, fifth edition. Alexandria: American Geological Institute.
- Oberhauser, R. (1980). Das Unterengadiner Fenster. Herausgeg. in: Der geologische Aufbau Österreichs. 291-299, 4 Abb., 1 Profil, S. 99 1 Profil, S. 334 1 Karte. Springer, New York, Wien.
- Penck, A. B. (1909). Die Alpen im Eiszeitalter, 3 Bd. Leipzig.
- Pfiffner, O. A. (2009). Geologie der Alpen. Hauptverlag, Bern, Stuttgart, Wien, S. 345.
- Raba, A. (1996). Historische und landschaftsökologische Aspekte einer inneralpinen Terrassenlandschaft am Beispiel von Ramosch. Inaugural-Dissertation, Geowissenschaftliche Fakultät der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg im Breisgau.
- Reichelt, G. (1961). Über Schotterformen und Rundungsanalysen als Feldmethode. Petr. geogr. Mitt. 1961, Gotha, 15-24.
- Reichelt, G. (1955). Untersuchungen zur Deutung von Schuttmassen des Südschwarzwaldes durch Schotteranalysen. Beitrag naturkundl. Forsch. Südwestdeutschland 24, 32-42.
- Scheffer, F. S. (2002). Lehrbuch der Bodenkunde, 15. Auflage. Heidelberg, Berlin: Spektrum Akademischer Verlag GmbH.
- Schlüchter, C. (1989). Eiszeitliche Lockergesteine - Geologie, Genese und Eigenschaften. Ein Beitrag zu den Beziehungen zwischen fundamentaler und angewandter Eiszeitgeologie. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETH), Habilitationsschrift.
- Schlussche, P. B. (2003). Zur Quartärgeologie und Neotektonik im Unterengadin. Samedan, Schweiz: Studien des Institutes für Tourismus und Landschaft, Academia Engiadina.
- Schmid, S. R. (1990). The significance of the Schams nappes for the reconstruction of the paleotectonic and orogenic evolution of the Penninic zone along the NFP-20 East traverse (Grisons, eastern Switzerland). Mèm. Soc. géol. France, 156, 263-287.
- Schmid, S. U. (1993). Oblique slip and block rotation along the Engadine line. Eclogae geol. Helv., 86, 569-593.
- Schmidt, H. (2006). Grundlagen der Geotechnik, 3. Auflage. München. B.B. Teubner Verlag / GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden.
- Sigg, L., Stumm, W. (1996). Aquatische Chemie; Eine Einführung in die Chemie wässriger Lösungen und natürlicher Gewässer, 4. Auflage. Hochschulverl. der ETH-Zürich; Stuttgart: Teubner.
- Signer, M. (2008). Erkenntnisse zur Bewegung an der Gletscherbasis aus dem Vorfeld des Vadret da Grialetsch (Graubünden, Schweiz). Masterarbeit an der Universität Bern.
- Small, H. (1989). Ion Chromatography. New York: Plenum Press.
- Sölch, J. (1935). Fluss- und Eiswerk in den Alpen zwischen Ötztal und St. Gotthard, Bd. 1. Petermanns Geograph. Mitt., Heft 219 .
- Stampfli, G. (1993). Le Briançonnais, terrain exotique dans les Alpes? Eclogae geol. Helv., 86, 1-45.

- 
- Steinmann, M. (1994). Die nordpenninischen Bündnerschiefer der Zentralalpen Graubündens: Tektonik, Stratigraphie und Beckenentwicklung. Diss. nat. ETH Zürich, 220 S.
- Steinmann, M. (1994). Die nordpenninischen Bündnerschiefer der Zentralalpen Graubündens: Tektonik, Stratigraphie und Beckenentwicklung. Diss. nat. ETH Zürich.
- Strauß, R. P. (2006). Abriss der Ingenieurgeologie, 4. Auflage. München: Spektrum Akademischer Verlag.
- Stuiver, M., Reimer, P. J. (1993): Extended C-14 Data-Base and REvised Calib 3.0 C-14 Age Calibration Program. Radiocarbon 35, 215-230.
- Tarter, J. (1987). Ion Chromatographie. New York und Basel: Dekker Marcel.
- Trümpy, R. (1972). Geology of Switzerland. Basel-New York: Wepf & Co. Publishers.
- Trümpy, R. (1980). Geology of Switzerland. Basel-New York: Wepf & Co. Publishers.
- Trümpy, R. (1972). Zur Geologie des Unterengadin, ein Beitrag in: Ökologische Untersuchungen im Unterengadin, Ergebnisse der wissenschaftlichen Untersuchungen im Schweizerischen Nationalpark. Lüdin AG Liestal.
- Walser, E. N. (1968). Ökologische Untersuchungen im Unterengadin; Ergebnisse der wissenschaftlichen Untersuchungen im schweizerischen Nationalpark. Liestal: Druck Lüdin AG.
- Wobus, C., Whipple, KX., Kirby, E., Snyder, N., Johnson, J., Spyropolou, K., Crosby, B., Sheehan, D., (2006). Tectonics from topography: Procedures, promise, and pitfalls, in Willet SD; Hovius N; Brandon MT; Fisher DM eds., Tectonics, Climate, and Landscape Evolution: GSA Special Paper 398: p 57-74
- Zepp, H. (2004). Geomorphologie. Stuttgart: UTB.
- Zimmermann, B. (1999). Tektonometamorphe Entwicklung von Tasna-Decke und Bündnerschiefern zwischen Val Chöglias, Val Fenga und Val Laver (Unterengadin/Schweiz). Diplomarbeit, Universität Basel, 102 S.



Anhang

---



# Geotechnik

---



# Wassergehaltsbestimmung

Tab. 12 Wassergehaltsbestimmung durch Ofentrocknung

Auswertung:				Datum:		Dez. 08	
Probe	Tara [g]	Gewicht vor Trocknung		Zwischenwägung		Diff. <0.5	Wasser- ge- halt W [%]
		brutto [g]	netto [g] M1	brutto [g]	netto [g] M3		
234	2102,0	7934,0	5832,0	7764,0	5662,0	0,00	3,00
				7764,0	5662,0		
235	2102,1	7369,0	5266,9	7177,0	5074,9	0,00	3,78
				7177,0	5074,9		
237	2102,7	5993,0	3890,3	5946,0	3843,3	0,03	1,20
				5947,0	3844,3		
255	2103,0	9857,0	7754,0	9187,0	7084,0	0,00	9,46
				9187,0	7084,0		
274	2100,0	10064,0	7964,0	9293,0	7193,0	0,00	10,72
				9293,0	7193,0		
275	2102,1	11416,0	9313,9	11152	9049,9	0,00	2,92
				11152	9049,9		
276	2099,5	7093,0	4993,5	6749,0	4649,5	0,00	7,40
				6749,0	4649,5		

## Raumgewicht

Tab. 13 Bestimmung der Feucht- und Trockendichte nach DIN 18 125, sowie des Feucht- und Trockenraumgewichtes

md	Masse der trockenen Probe	
m	Masse der feuchten Probe	
m1	Masse der Probe mit Überzug und Draht	
m2	Masse der Probe mit Überzug in Tauchflüssigkeit	
T	Temperatur der Tauchflüssigkeit	Wasser bei 18 °C
QFT	Dichte der Tauchflüssigkeit (g/cm <sup>3</sup> )	0,9986
QÜz	Dichte des Überzugs (g/cm <sup>3</sup> )	0,88
V1	Volumen des untergetauchten Körpers (g/cm <sup>3</sup> )	$(m1-m2)/QFT$
V2	Volumen des Paraffins (g/cm <sup>3</sup> )	$(m1-m)/QÜz$

VProbe	Volumen der Probe (g/cm <sup>3</sup> )	V1-V2
ρBoden	Dichte des Bodens (g/cm <sup>3</sup> )	m/V
ρBoden2	Trockendichte des Bodens (g/cm <sup>3</sup> )	md/V
Wg	Wassergehalt [%]	((m-md)/md)*100
γBoden	Feuchtraumgewicht des Bodens (kN/m <sup>3</sup> )	γ=δ*g
γBoden2	Trockenraumgewicht des Bodens (kN/m <sup>3</sup> )	γ=δ2*g
g	Erdbeschleunigung	

Datum	09.05.2009	Probe	255		
m [g]	md [g]	m1 [g]	m2 [g]	V1 [cm <sup>3</sup> ]	V2 [cm <sup>3</sup> ]
215,0	209,21	218,68	123,8	95,01	4,18
V p r o b e [cm <sup>3</sup> ]	ρBoden [g/cm <sup>3</sup> ]	ρBoden2 [g/cm <sup>3</sup> ]	Wg [%]	γBoden [kN/m <sup>3</sup> ]	γBoden2 [kN/m <sup>3</sup> ]
90,83	2,37	2,30	2,77	23,22	22,60
Datum	09.05.2009	Probe	214,1		
m [g]	md [g]	m1 [g]	m2 [g]	V1 [cm <sup>3</sup> ]	V2 [cm <sup>3</sup> ]
1237,38	1210,8	1251,2	724,3	527,64	15,70
V p r o b e [cm <sup>3</sup> ]	ρBoden [g/cm <sup>3</sup> ]	ρBoden2 [g/cm <sup>3</sup> ]	Wg [%]	γBoden [kN/m <sup>3</sup> ]	γBoden2 [kN/m <sup>3</sup> ]
511,93	2,42	2,37	2,20	23,71	23,20
Datum	09.05.2009	Probe	214,2		
m [g]	md [g]	m1 [g]	m2 [g]	V1 [cm <sup>3</sup> ]	V2 [cm <sup>3</sup> ]
94,52	91,53	96,5	54,32	42,24	2,25
V p r o b e [cm <sup>3</sup> ]	ρBoden [g/cm <sup>3</sup> ]	ρBoden2 [g/cm <sup>3</sup> ]	Wg [%]	γBoden [kN/m <sup>3</sup> ]	γBoden2 [kN/m <sup>3</sup> ]
39,99	2,36	2,29	3,27	23,19	22,45
Datum	09.05.2009	Probe	214,3		
m [g]	md [g]	m1 [g]	m2 [g]	V1 [cm <sup>3</sup> ]	V2 [cm <sup>3</sup> ]
228,44	221,69	232,63	132	100,77	4,76
V p r o b e [cm <sup>3</sup> ]	ρBoden [g/cm <sup>3</sup> ]	ρBoden2 [g/cm <sup>3</sup> ]	Wg [%]	γBoden [kN/m <sup>3</sup> ]	γBoden2 [kN/m <sup>3</sup> ]

96,01	2,38	2,31	3,04	23,34	22,65
Mittelwert,	$\rho_{\text{Boden}}$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$\rho_{\text{Boden2}}$ [g/cm <sup>3</sup> ]	Wg [%]	$\gamma_{\text{Boden}}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_{\text{Boden2}}$ [kN/m <sup>3</sup> ]
214					
	2,4	2,3	2,8	23,41	22,77

## Plastizität

Tab. 14 Zusammenfassung Plastizität

Probe	Versuche	WL [%]	WP [%]	IP [%]	Einstufung
234	a	17,8	18,1	-0,3	nicht plastisch
234	b	16,6	x	x	
234	c	17,9	14,3	3,6	
234	Mittelw.	17,4	16,2	1,7	
235	a	22,5	17,4	5,1	nicht-gering plastisch
235	b	22,2	18,8	3,4	
235	c	22,6	18,8	3,8	
235	Mittelw.	22,4	18,4	4,1	
237	a	24,0	18,2	5,9	gering plastisch
237	b	25,6	19,5	6,2	
237	Mittelw.	24,8	18,9	6,1	
255	a	44,3	28,6	15,7	plastisch
255	b	43,7	53,6	x	
255	c	38,0	25,2	12,7	
255	d	38,0	24,4	13,6	
255	Mittelw.	41,0	33,0	14,0	
274	a	27,4	19,2	8,2	ziemlich plastisch
274	b	30,1	20,1	10,0	
274	Mittelw.	28,8	19,7	9,1	
275	a	15,4	17,3	-1,9	nicht plastisch
275	b	14,8	x	x	
275	Mittelw.	15,1	17,3	-1,9	
276	a	27,3	17,7	9,6	ziemlich plastisch
276	b	26,1	19,8	6,3	
276	Mittelw.	26,7	18,8	8,0	

**Plastizität**

**Fließ- und Ausrollgrenze nach Atterberg (Konsistenzgrenzen)**

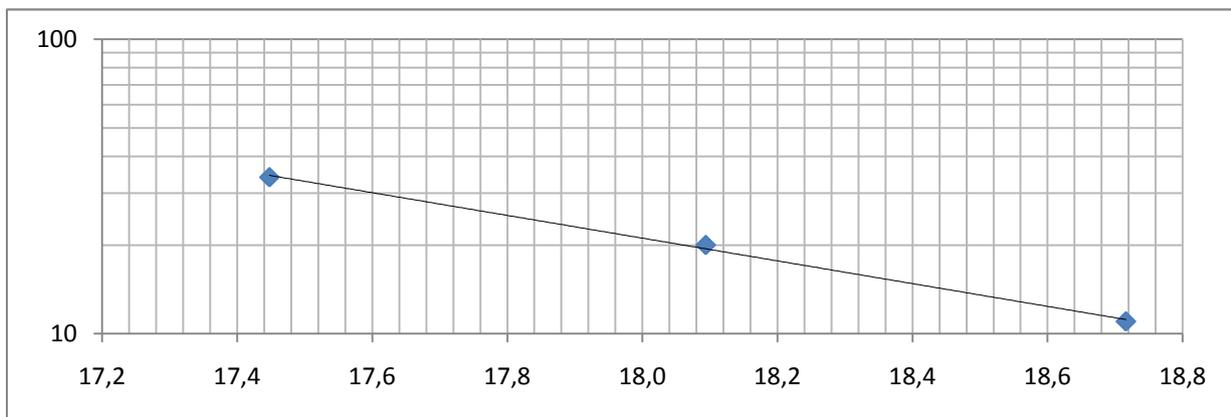
<b>Auswertung:</b>	Probennummer		<b>234</b>	
	Datum		Januar 09	
Fließgrenze $W_L$ [%]	$W_L$	=	17,80	%
Ausrollgrenze $W_P$ [%]	$W_P$	=	18,11	%
Plastizitätsindex $I_P$ [%] ( $I_P = W_L - W_P$ )	$I_P$	=	-0,31	%

**Bestimmung der Fließgrenze**

Nr.	Tara [g]	Gewicht vor Trocknung		Zwischenwägung		Diff. <0.5	Wassergehalt WL [%]	Schlaganz. (10-35)	Schlaganz. bei 25
		brutto [g]	netto [g] $M_1$	brutto [g]	netto [g] $M_3$				
a	35,13	50,48	15,35	48,06	12,93	0,00	18,72	11	17,8
				48,06	12,93				
b	34,24	50,10	15,86	47,71	13,47	0,30	18,09	20	17,8
				47,67	13,43				
c	34,07	48,61	14,54	46,46	12,39	0,08	17,45	34	17,8
				46,45	12,38				

**Bestimmung der Ausrollgrenze**

Nr.	Tara [g]	Gewicht vor Trocknung		Zwischenwägung		Diff. <0.5	Wassergehalt WL [%]	WP [%]
		brutto [g]	netto [g] $M_1$	brutto [g]	netto [g] $M_3$			
d	34,43	51,32	16,89	48,73	14,30	0,00	18,11	18,11
				48,73				



**Bestimmung des Wassergehaltes**

w =	w	=	Wassergehalt [%]
	$M_1$	=	Masse der Probe vor Trocknung [g]
	$M_3$	=	Trockenmasse [g]

Temperaturbereich bei Trocknung bei  $110 \pm 5^\circ\text{C}$

**Plastizität**

**Fließ- und Ausrollgrenze nach Atterberg (Konsistenzgrenzen)**

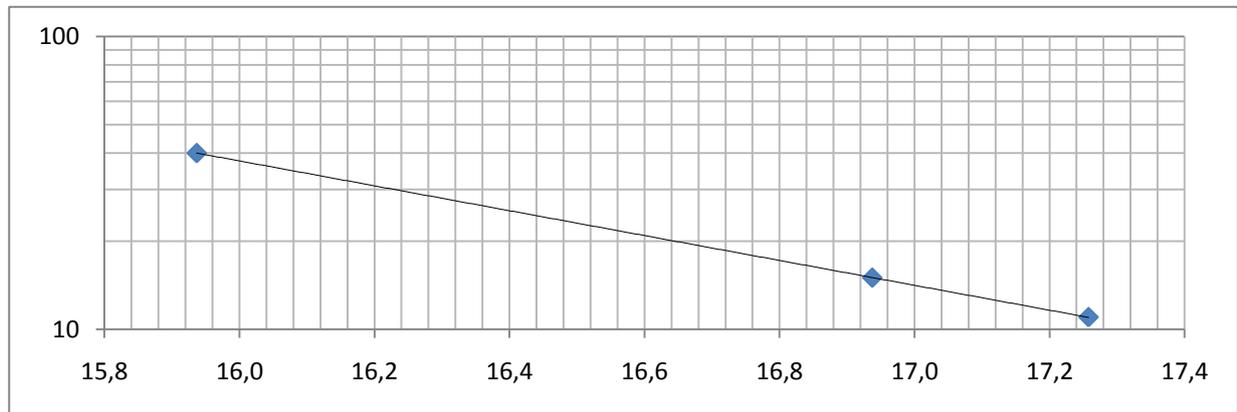
<b>Auswertung:</b>	Probennummer		<b>234</b>	
	Datum		Dezember 08	
Fließgrenze $W_L$ [%]	$W_L$	=	16,60	%
Ausrollgrenze $W_P$ [%]	$W_P$	=	x	%
Plastizitätsindex $I_P$ [%] ( $I_P = W_L - W_P$ )	$I_P$	=	x	%

**Bestimmung der Fließgrenze**

Nr.	Tara [g]	Gewicht vor Trocknung		Zwischenwägung		Diff. <0.5	Wassergehalt WL [%]	Schlaganz. (10-35)	Schlaganz. bei 25
		brutto [g]	netto [g] $M_1$	brutto [g]	netto [g] $M_3$				
a	35,21	55,05	19,84	52,14	16,93	0,06	17,26	11	16,6
				52,13	16,92				
b	34,27	54,43	20,16	51,52	17,25	0,06	16,94	15	16,6
				51,51	17,24				
c	34,46	63,05	28,59	59,13	24,67	0,04	15,94	40	16,6
				59,12	24,66				

**Bestimmung der Ausrollgrenze**

Nr.	Tara [g]	Gewicht vor Trocknung		Zwischenwägung		Diff. <0.5	Wassergehalt WL [%]	WP [%]
		brutto [g]	netto [g] $M_1$	brutto [g]	netto [g] $M_3$			
e	x							



**Bestimmung des Wassergehaltes**

w =	w	=	Wassergehalt [%]
	$M_1$	=	Masse der Probe vor Trocknung [g]
	$M_3$	=	Trockenmasse [g]

Temperaturbereich bei Trocknung bei  $110 \pm 5^\circ\text{C}$

## Plastizität

### Fließ- und Ausrollgrenze nach Atterberg (Konsistenzgrenzen)

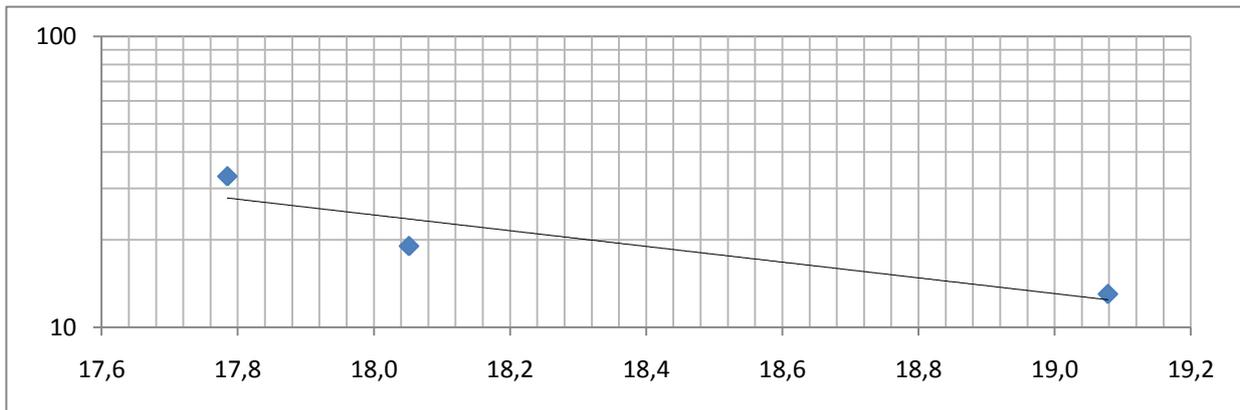
<b>Auswertung:</b>	Probennummer		<b>234</b>	
	Datum		November 08	
Fließgrenze $W_L$ [%]	$W_L$	=	17,90	%
Ausrollgrenze $W_P$ [%]	$W_P$	=	14,33	%
Plastizitätsindex $I_P$ [%] ( $I_P = W_L - W_P$ )	$I_P$	=	3,57	%

### Bestimmung der Fließgrenze

Nr.	Tara [g]	Gewicht vor Trocknung		Zwischenwägung		Diff. <0.5	Wassergehalt WL [%]	Schlaganz. (10-35)	Schlaganz. bei 25
		brutto [g]	netto [g] $M_1$	brutto [g]	netto [g] $M_3$				
a	34,26	48,99	14,73	46,64	12,38	0,08	19,08	13	17,9
				46,63	12,37				
b	34,21	50,69	16,48	48,17	13,96	0,00	18,05	19	17,9
				48,17	13,96				
c	34,08	52,69	18,61	49,94	15,86	0,38	17,78	33	17,9
				49,88	15,80				

### Bestimmung der Ausrollgrenze

Nr.	Tara [g]	Gewicht vor Trocknung		Zwischenwägung		Diff. <0.5	Wassergehalt WL [%]	WP [%]
		brutto [g]	netto [g] $M_1$	brutto [g]	netto [g] $M_3$			
d	34,24	42,22	7,98	41,22	6,98	0,00	14,33	14,33
				41,22				



### Bestimmung des Wassergehaltes

w =	w	=	Wassergehalt [%]
	$M_1$	=	Masse der Probe vor Trocknung [g]
	$M_3$	=	Trockenmasse [g]

Temperaturbereich bei Trocknung bei  $110 \pm 5^\circ\text{C}$

**Plastizität**

**Fließ- und Ausrollgrenze nach Atterberg (Konsistenzgrenzen)**

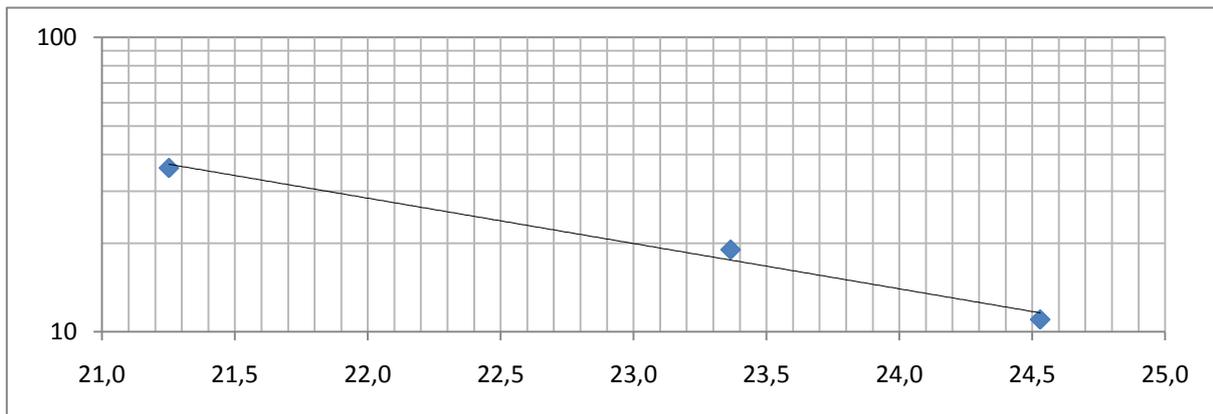
<b>Auswertung:</b>	Probennummer		<b>235</b>	
	Datum		Januar 09	
	Fließgrenze $W_L$ [%]	$W_L$	=	22,50 %
Ausrollgrenze $W_P$ [%]	$W_P$	=	17,44 %	
Plastizitätsindex $I_P$ [%] ( $I_P = W_L - W_P$ )	$I_P$	=	5,06 %	

**Bestimmung der Fließgrenze**

Nr.	Tara [g]	Gewicht vor Trocknung		Zwischenwägung		Diff. <0.5	Wassergehalt $W_L$ [%]	Schlaganz. (10-35)	Schlaganz. bei 25
		brutto [g]	netto [g] $M_1$	brutto [g]	netto [g] $M_3$				
a	35,06	47,89	12,83	45,47	10,41	0,10	23,37	19	22,5
				45,46	10,40				
				45,44	10,38				
b	34,76	46,00	11,24	44,02	9,26	-0,11	21,25	36	22,5
				44,03	9,27				
				44,03	9,27				
c	34,75	46,68	11,93	44,33	9,58	0,00	24,53	11	22,5
				44,33	9,58				
				44,35	9,60				

**Bestimmung der Ausrollgrenze**

Nr.	Tara [g]	Gewicht vor Trocknung		Zwischenwägung		Diff. <0.5	Wassergehalt $W_L$ [%]	WP [%]
		brutto [g]	netto [g] $M_1$	brutto [g]	netto [g] $M_3$			
e	34,72	36,74	2,02	36,44	1,72	0,00	17,44	17,44
				36,44				



**Bestimmung des Wassergehaltes**

w =	w	=	Wassergehalt [%]
	$M_1$	=	Masse der Probe vor Trocknung [g]
	$M_3$	=	Trockenmasse [g]

Temperaturbereich bei Trocknung bei  $110 \pm 5^\circ\text{C}$

## Plastizität

### Fließ- und Ausrollgrenze nach Atterberg (Konsistenzgrenzen)

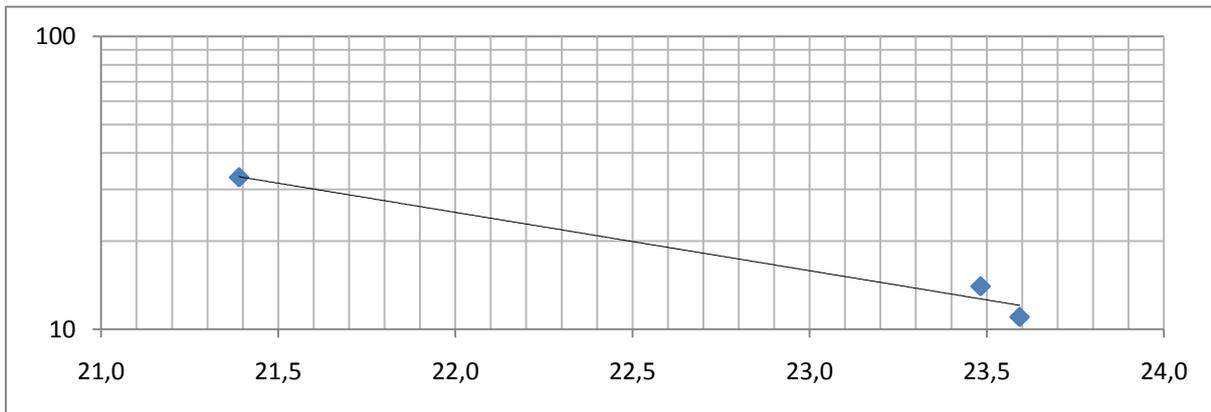
<b>Auswertung:</b>	Probennummer		<b>235</b>	
	Datum		Dezember 08	
Fließgrenze $W_L$ [%]	$W_L$	=	22,20	%
Ausrollgrenze $W_P$ [%]	$W_P$	=	18,81	%
Plastizitätsindex $I_P$ [%] ( $I_P = W_L - W_P$ )	$I_P$	=	3,39	%

### Bestimmung der Fließgrenze

Nr.	Tara [g]	Gewicht vor Trocknung		Zwischenwägung		Diff. <0.5	Wassergehalt $W_L$ [%]	Schlaganz. (10-35)	Schlaganz. bei 25
		brutto [g]	netto [g] $M_1$	brutto [g]	netto [g] $M_3$				
a	34,20	58,35	24,15	53,74	19,54	0,00	23,59	11	22,2
				53,74	19,54				
b	34,83	54,97	20,14	51,13	16,30	-0,06	23,48	14	22,2
				51,14	16,31				
c	34,36	67,73	33,37	61,85	27,49	0,00	21,39	33	22,2
				61,85	27,49				

### Bestimmung der Ausrollgrenze

Nr.	Tara [g]	Gewicht vor Trocknung		Zwischenwägung		Diff. <0.5	Wassergehalt $W_L$ [%]	WP [%]
		brutto [g]	netto [g] $M_1$	brutto [g]	netto [g] $M_3$			
e	35,00	41,19	6,19	40,21	5,21	0,00	18,81	18,81
				40,21				



### Bestimmung des Wassergehaltes

w =	$w$	=	Wassergehalt [%]
	$M_1$	=	Masse der Probe vor Trocknung [g]
	$M_3$	=	Trockenmasse [g]

Temperaturbereich bei Trocknung bei  $110 \pm 5^\circ\text{C}$

**Plastizität**

**Fließ- und Ausrollgrenze nach Atterberg (Konsistenzgrenzen)**

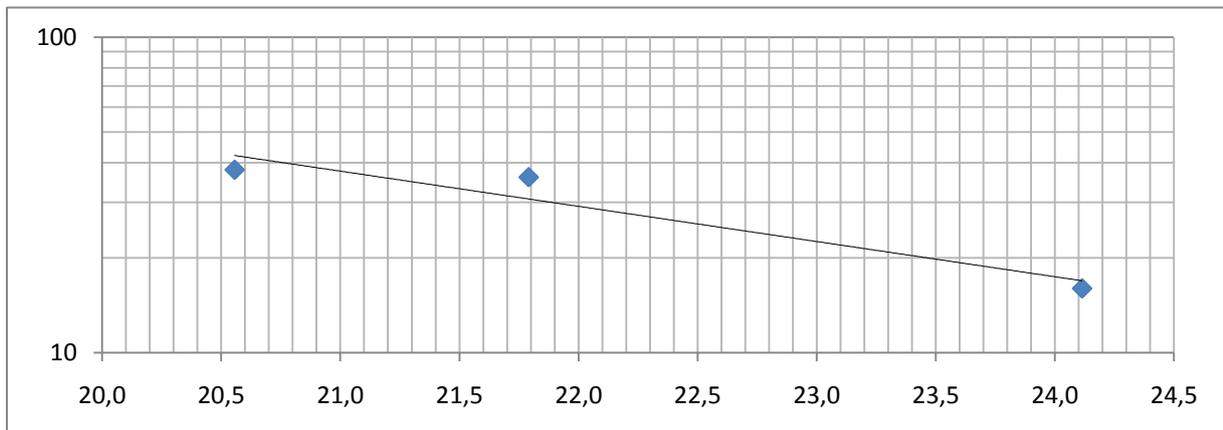
<b>Auswertung:</b>	Probennummer		<b>235</b>	
	Datum		November 08	
Fließgrenze $W_L$ [%]	$W_L$	=	22,60	%
Ausrollgrenze $W_P$ [%]	$W_P$	=	18,80	%
Plastizitätsindex $I_P$ [%] ( $I_P = W_L - W_P$ )	$I_P$	=	3,80	%

**Bestimmung der Fließgrenze**

Nr.	Tara [g]	Gewicht vor Trocknung		Zwischenwägung		Diff. <0.5	Wassergehalt $W_L$ [%]	Schlaganz. (10-35)	Schlaganz. bei 25
		brutto [g]	netto [g] $M_1$	brutto [g]	netto [g] $M_3$				
a	34,99	44,96	9,97	43,26	8,27	0,00	20,56	38	22,6
				43,26	8,27				
b	35,00	49,42	14,42	46,89	11,89	0,42	21,79	36	22,6
				46,84	11,84				
c	34,79	50,90	16,11	47,76	12,97	-0,08	24,11	16	22,6
				47,77	12,98				

**Bestimmung der Ausrollgrenze**

Nr.	Tara [g]	Gewicht vor Trocknung		Zwischenwägung		Diff. <0.5	Wassergehalt $W_L$ [%]	WP [%]
		brutto [g]	netto [g] $M_1$	brutto [g]	netto [g] $M_3$			
e	35,12	45,87	10,75	44,23	9,05	0,14	18,78	18,78
				44,17				



**Bestimmung des Wassergehaltes**

w =	w	=	Wassergehalt [%]
	$M_1$	=	Masse der Probe vor Trocknung [g]
	$M_3$	=	Trockenmasse [g]

Temperaturbereich bei Trocknung bei  $110 \pm 5^\circ\text{C}$

**Plastizität**

**Fließ- und Ausrollgrenze nach Atterberg (Konsistenzgrenzen)**

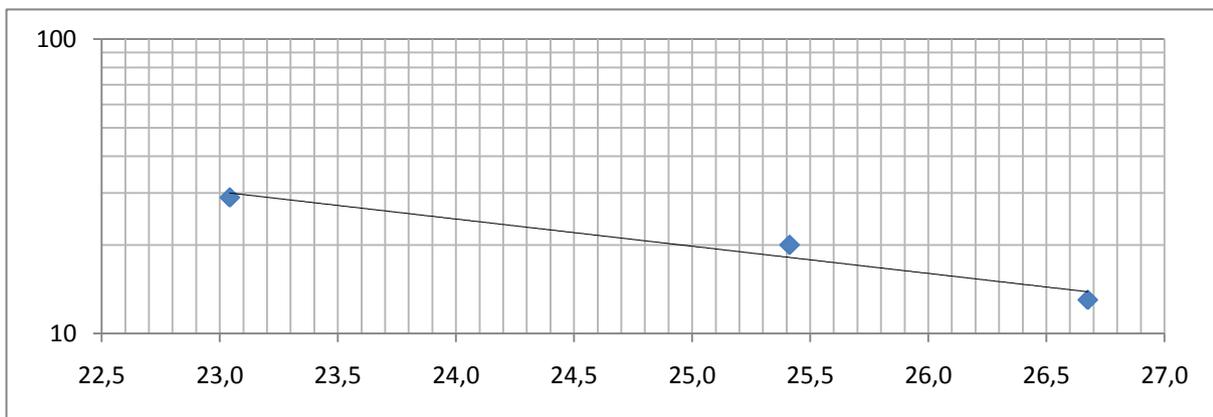
<b>Auswertung:</b>	Probennummer		<b>237</b>	
	Datum		Dezember 08	
Fließgrenze $W_L$ [%]	$W_L$	=	24,00	%
Ausrollgrenze $W_P$ [%]	$W_P$	=	18,12	%
Plastizitätsindex $I_P$ [%] ( $I_P = W_L - W_P$ )	$I_P$	=	5,88	%

**Bestimmung der Fließgrenze**

Nr.	Tara [g]	Gewicht vor Trocknung		Zwischenwägung		Diff. <0.5	Wassergehalt WL [%]	Schlaganz. (10-35)	Schlaganz. bei 25
		brutto [g]	netto [g] $M_1$	brutto [g]	netto [g] $M_3$				
a	34,00	63,68	29,68	57,43	23,43	0,00	26,68	13	24,0
				57,43	23,43				
b	34,88	59,21	24,33	54,28	19,40	0,00	25,41	20	24,0
				54,28	19,40				
c	34,25	75,10	40,85	67,46	33,21	0,03	23,04	29	24,0
				67,45	33,20				

**Bestimmung der Ausrollgrenze**

Nr.	Tara [g]	Gewicht vor Trocknung		Zwischenwägung		Diff. <0.5	Wassergehalt WL [%]	WP [%]
		brutto [g]	netto [g] $M_1$	brutto [g]	netto [g] $M_3$			
e	34,81	42,11	7,30	40,99	6,18	0,00	18,12	18,12
				40,99				



**Bestimmung des Wassergehaltes**

w =	w	=	Wassergehalt [%]
	$M_1$	=	Masse der Probe vor Trocknung [g]
	$M_3$	=	Trockenmasse [g]

Temperaturbereich bei Trocknung bei  $110 \pm 5^\circ\text{C}$

## Plastizität

### Fließ- und Ausrollgrenze nach Atterberg (Konsistenzgrenzen)

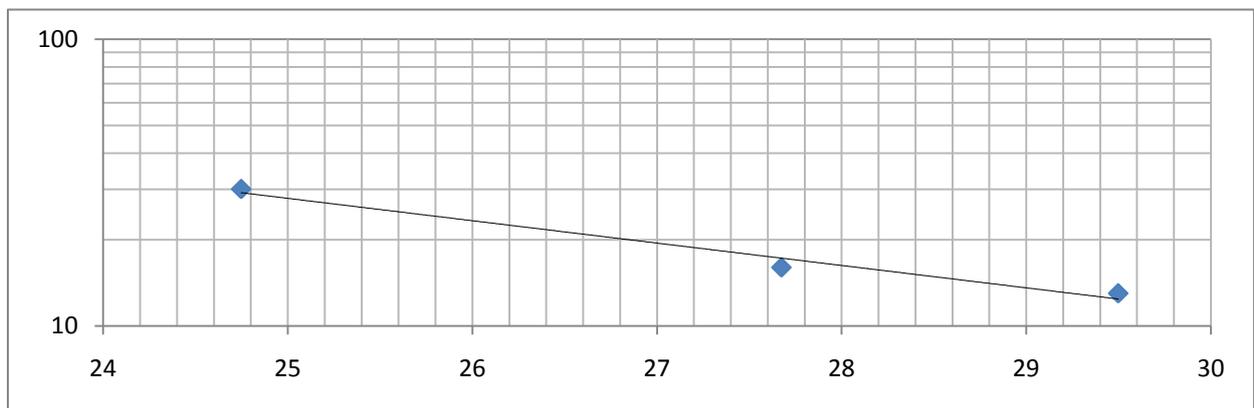
<b>Auswertung:</b>	Probennummer		<b>237</b>	
	Datum		November 08	
Fließgrenze $W_L$ [%]	$W_L$	=	25,62	%
Ausrollgrenze $W_P$ [%]	$W_P$	=	19,47	%
Plastizitätsindex $I_P$ [%] ( $I_P = W_L - W_P$ )	$I_P$	=	6,15	%

### Bestimmung der Fließgrenze

Nr.	Tara [g]	Gewicht vor Trocknung		Zwischenwägung		Diff. <0.5	Wassergehalt WL [%]	Schlaganz. (10-35)	Schlaganz. bei 25
		brutto [g]	netto [g] $M_1$	brutto [g]	netto [g] $M_3$				
a	34,86	48,47	13,61	45,75	10,89	-0,18	24,75	30	25,6
				45,77	10,91				
b	34,84	47,85	13,01	45,03	10,19	0,00	27,67	16	25,6
				45,03	10,19				
c	34,85	48,02	13,17	45,05	10,20	0,29	29,50	13	25,6
				45,02	10,17				

### Bestimmung der Ausrollgrenze

Nr.	Tara [g]	Gewicht vor Trocknung		Zwischenwägung		Diff. <0.5	Wassergehalt WL [%]	WP [%]
		brutto [g]	netto [g] $M_1$	brutto [g]	netto [g] $M_3$			
e	34,34	45,14	10,80	43,36	9,02	-0,22	19,47	19,47
				43,38				



### Bestimmung des Wassergehaltes

w =	w	=	Wassergehalt [%]
	$M_1$	=	Masse der Probe vor Trocknung [g]
	$M_3$	=	Trockenmasse [g]

Temperaturbereich bei Trocknung bei  $110 \pm 5^\circ\text{C}$

**Plastizität**

**Fließ- und Ausrollgrenze nach Atterberg (Konsistenzgrenzen)**

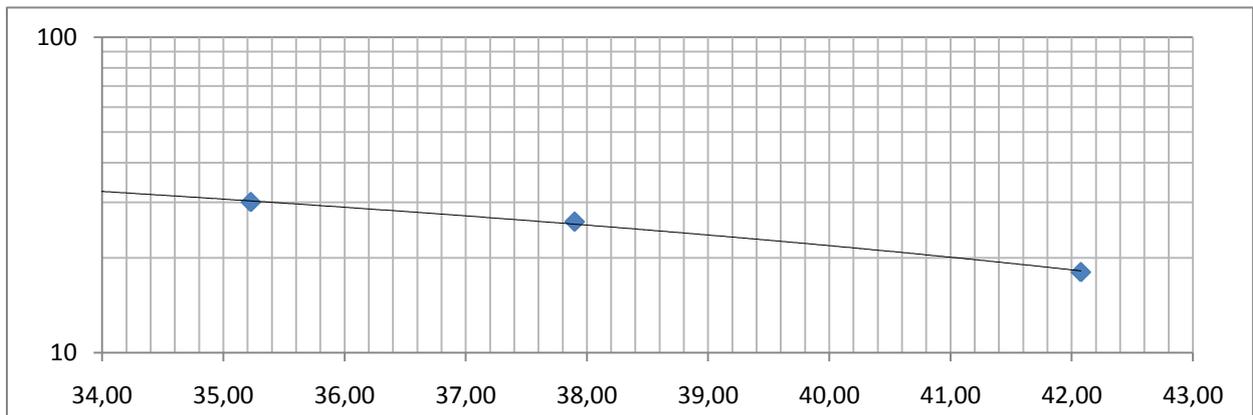
<b>Auswertung:</b>	Probennummer		<b>255</b>	
	Datum		November 08	
Fließgrenze $W_L$ [%]	$W_L$	=	38,00	%
Ausrollgrenze $W_P$ [%]	$W_P$	=	24,36	%
Plastizitätsindex $I_P$ [%] ( $I_P = W_L - W_P$ )	$I_P$	=	13,64	%

**Bestimmung der Fließgrenze**

Nr.	Tara [g]	Gewicht vor Trocknung		Zwischenwägung		Diff. <0.5	Wassergehalt WL [%]	Schlaganz. (10-35)	Schlaganz. bei 25
		brutto [g]	netto [g] $M_1$	brutto [g]	netto [g] $M_3$				
a	34,79	45,27	10,48	42,54	7,75	0,00	35,23	30	38,0
				42,54	7,75				
b	35,13	43,79	8,66	41,39	6,26	-0,32	37,90	26	38,0
				41,41	6,28				
c	34,27	46,73	12,46	43,01	8,74	-0,34	42,08	18	38,0
				43,04	8,77				

**Bestimmung der Ausrollgrenze**

Nr.	Tara [g]	Gewicht vor Trocknung		Zwischenwägung		Diff. <0.5	Wassergehalt WL [%]	WP [%]
		brutto [g]	netto [g] $M_1$	brutto [g]	netto [g] $M_3$			
e	34,25	37,67	3,42	37,00	2,75	0,00	24,36	24,36
				37,00				



**Bestimmung des Wassergehaltes**

w =	w	=	Wassergehalt [%]
	$M_1$	=	Masse der Probe vor Trocknung [g]
	$M_3$	=	Trockenmasse [g]

Temperaturbereich bei Trocknung bei  $110 \pm 5^\circ\text{C}$

**Plastizität**

**Fließ- und Ausrollgrenze nach Atterberg (Konsistenzgrenzen)**

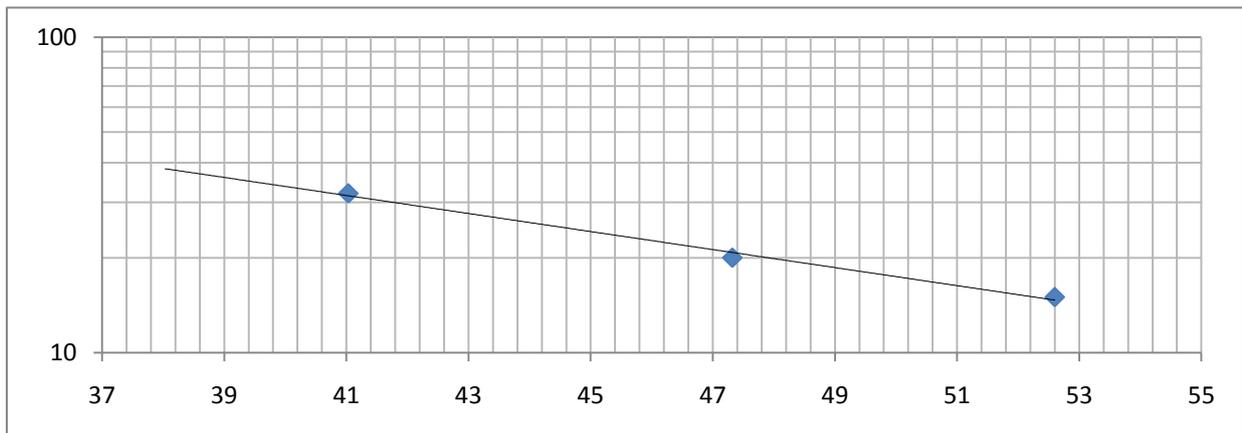
<b>Auswertung:</b>	Probennummer		<b>255</b>	
	Datum		Januar 01	
	Fließgrenze $W_L$ [%]	$W_L$	=	44,30 %
Ausrollgrenze $W_P$ [%]	$W_P$	=	28,62 %	
Plastizitätsindex $I_P$ [%] ( $I_P = W_L - W_P$ )	$I_P$	=	15,68 %	

**Bestimmung der Fließgrenze**

Nr.	Tara [g]	Gewicht vor Trocknung		Zwischenwägung		Diff. <0.5	Wassergehalt $W_L$ [%]	Schlaganz. (10-35)	Schlaganz. bei 25
		brutto [g]	netto [g] $M_1$	brutto [g]	netto [g] $M_3$				
a	35,11	46,38	11,27	42,78	7,67	0,26	47,32	20	44,3
				42,76	7,65				
b	34,30	43,58	9,28	40,88	6,58	0,00	41,03	32	44,3
				40,88	6,58				
c	34,19	43,88	9,69	40,58	6,39	0,63	52,60	15	44,3
				40,54	6,35				

**Bestimmung der Ausrollgrenze**

Nr.	Tara [g]	Gewicht vor Trocknung		Zwischenwägung		Diff. <0.5	Wassergehalt $W_L$ [%]	WP [%]
		brutto [g]	netto [g] $M_1$	brutto [g]	netto [g] $M_3$			
e	34,98	38,71	3,73	37,85	2,87	-1,03	28,62	28,62
				37,88				



**Bestimmung des Wassergehaltes**

w =	$w$	=	Wassergehalt [%]
	$M_1$	=	Masse der Probe vor Trocknung [g]
	$M_3$	=	Trockenmasse [g]

Temperaturbereich bei Trocknung bei  $110 \pm 5^\circ\text{C}$

**Plastizität**

**Fließ- und Ausrollgrenze nach Atterberg (Konsistenzgrenzen)**

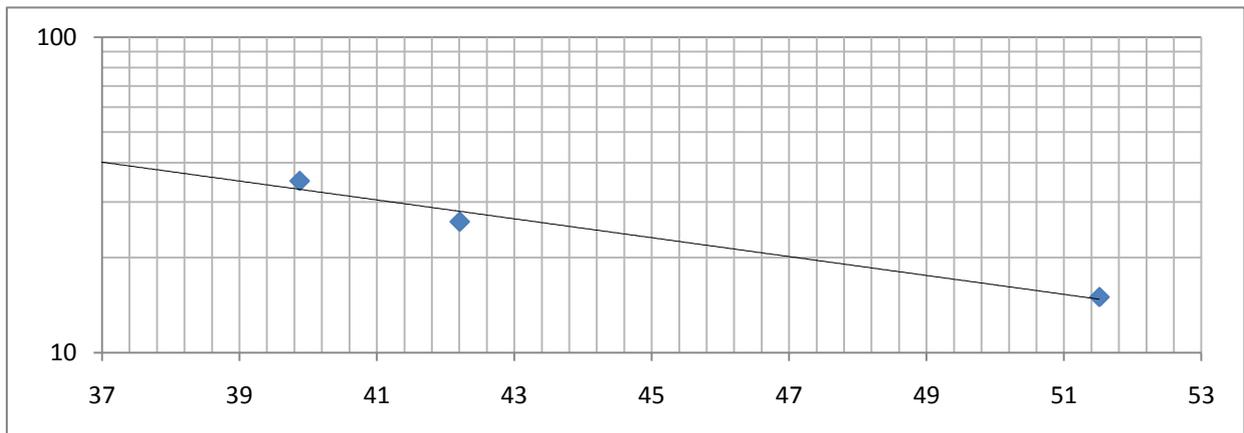
<b>Auswertung:</b>	Probennummer		<b>255</b>	
	Datum		Januar 01	
Fließgrenze $W_L$ [%]	$W_L$	=	43,70	%
Ausrollgrenze $W_P$ [%]	$W_P$	=	52,57	%
Plastizitätsindex $I_P$ [%] ( $I_P = W_L - W_P$ )	$I_P$	=	-8,87	%

**Bestimmung der Fließgrenze**

Nr.	Tara [g]	Gewicht vor Trocknung		Zwischenwägung		Diff. <0.5	Wassergehalt $W_L$ [%]	15,00	Schlaganz. bei 25
		brutto [g]	netto [g] $M_1$	brutto [g]	netto [g] $M_3$				
a	35,10	43,60	8,50	40,72	5,62	0,18	51,52	15	43,7
				40,71	5,61				
b	34,83	46,23	11,40	43,00	8,17	0,25	39,88	35	43,7
				42,98	8,15				
c	35,14	47,00	11,86	43,46	8,32	-0,24	42,21	26	43,7
				43,48	8,34				

**Bestimmung der Ausrollgrenze**

Nr.	Tara [g]	Gewicht vor Trocknung		Zwischenwägung		Diff. <0.5	Wassergehalt $W_L$ [%]	WP [%]
		brutto [g]	netto [g] $M_1$	brutto [g]	netto [g] $M_3$			
e	34,45	35,93	1,48	35,42	0,96	-0,52	52,58	52,58
				35,42				



**Bestimmung des Wassergehaltes**

w =	w	=	Wassergehalt [%]
	$M_1$	=	Masse der Probe vor Trocknung [g]
	$M_3$	=	Trockenmasse [g]

Temperaturbereich bei Trocknung bei  $110 \pm 5^\circ\text{C}$

**Plastizität**

**Fließ- und Ausrollgrenze nach Atterberg (Konsistenzgrenzen)**

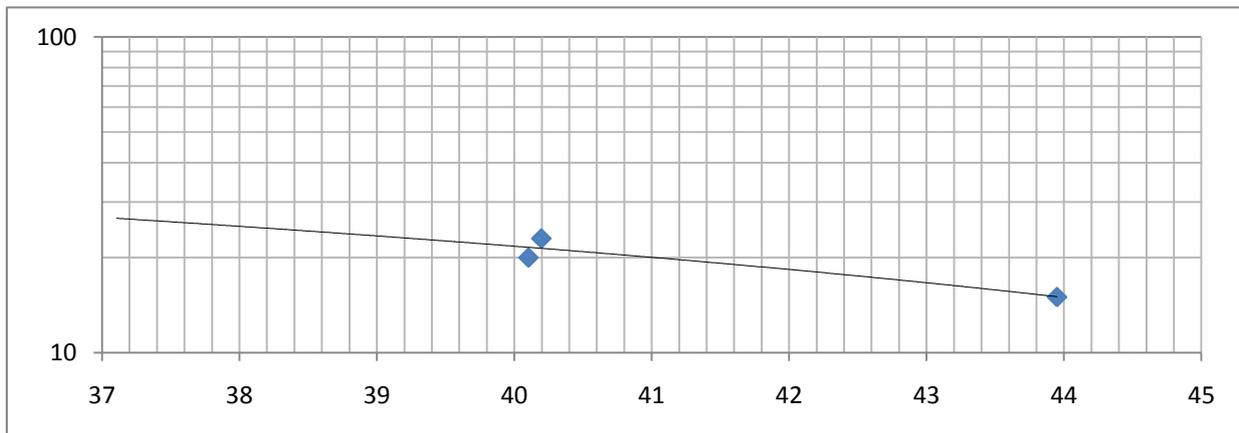
<b>Auswertung:</b>	Probennummer		<b>255</b>	
	Datum		Dezember 08	
Fließgrenze $W_L$ [%]	$W_L$	=	38,00	%
Ausrollgrenze $W_P$ [%]	$W_P$	=	25,28	%
Plastizitätsindex $I_P$ [%] ( $I_P = W_L - W_P$ )	$I_P$	=	12,72	%

**Bestimmung der Fließgrenze**

Nr.	Tara [g]	Gewicht vor Trocknung		Zwischenwägung		Diff. <0.5	Wassergehalt $W_L$ [%]	Schlaganz. (10-35)	Schlaganz. bei 25
		brutto [g]	netto [g] $M_1$	brutto [g]	netto [g] $M_3$				
a	35,08	55,42	20,34	49,21	14,13	0,00	43,95	15	38,0
				49,21	14,13				
b	35,11	63,50	28,39	55,35	20,24	-0,05	40,20	23	38,0
				55,36	20,25				
c	34,33	58,54	24,21	51,60	17,27	-0,06	40,10	20	38,0
				51,61	17,28				

**Bestimmung der Ausrollgrenze**

Nr.	Tara [g]	Gewicht vor Trocknung		Zwischenwägung		Diff. <0.5	Wassergehalt $W_L$ [%]	WP [%]
		brutto [g]	netto [g] $M_1$	brutto [g]	netto [g] $M_3$			
e	34,13	40,82	6,69	39,46	5,33	-0,03	25,28	25,28
				39,47				



**Bestimmung des Wassergehaltes**

w =	$w$	=	Wassergehalt [%]
	$M_1$	=	Masse der Probe vor Trocknung [g]
	$M_3$	=	Trockenmasse [g]

Temperaturbereich bei Trocknung bei  $110 \pm 5^\circ\text{C}$

## Plastizität

### Fließ- und Ausrollgrenze nach Atterberg (Konsistenzgrenzen)

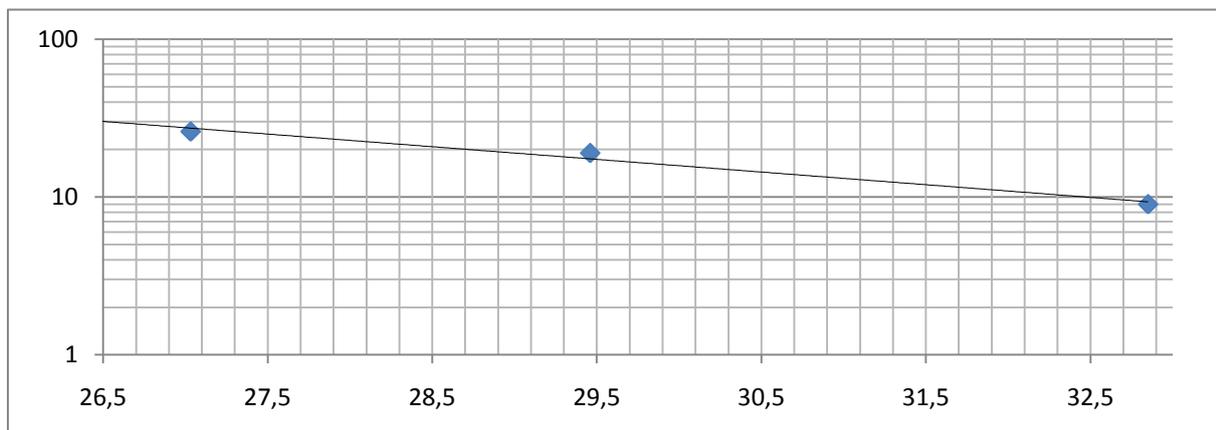
<b>Auswertung:</b>	Probennummer		<b>274</b>	
	Datum		Dezember 08	
Fließgrenze $W_L$ [%]	$W_L$	=	27,40	%
Ausrollgrenze $W_P$ [%]	$W_P$	=	19,17	%
Plastizitätsindex $I_P$ [%] ( $I_P = W_L - W_P$ )	$I_P$	=	8,23	%

### Bestimmung der Fließgrenze

Nr.	Tara [g]	Gewicht vor Trocknung		Zwischenwägung		Diff. <0.5	Wassergehalt $W_L$ [%]	Schlaganz. (10-35)	Schlaganz. bei 25
		brutto [g]	netto [g] $M_1$	brutto [g]	netto [g] $M_3$				
a	35,10	71,74	36,64	62,67	27,57	-0,04	32,85	9	27,4
				62,68	27,58				
b	34,85	66,71	31,86	59,46	24,61	0,00	29,46	19	
				59,46	24,61				
c	34,40	78,48	44,08	69,09	34,69	-0,03	27,03	26	
				69,10	34,70				

### Bestimmung der Ausrollgrenze

Nr.	Tara [g]	Gewicht vor Trocknung		Zwischenwägung		Diff. <0.5	Wassergehalt $W_L$ [%]	WP [%]
		brutto [g]	netto [g] $M_1$	brutto [g]	netto [g] $M_3$			
e	35,13	42,90	7,77	41,64	6,51	-0,15	19,17	19,17
				41,65				



### Bestimmung des Wassergehaltes

w =	w	=	Wassergehalt [%]
	$M_1$	=	Masse der Probe vor Trocknung [g]
	$M_3$	=	Trockenmasse [g]

Temperaturbereich bei Trocknung bei  $110 \pm 5^\circ\text{C}$

## Plastizität

### Fließ- und Ausrollgrenze nach Atterberg (Konsistenzgrenzen)

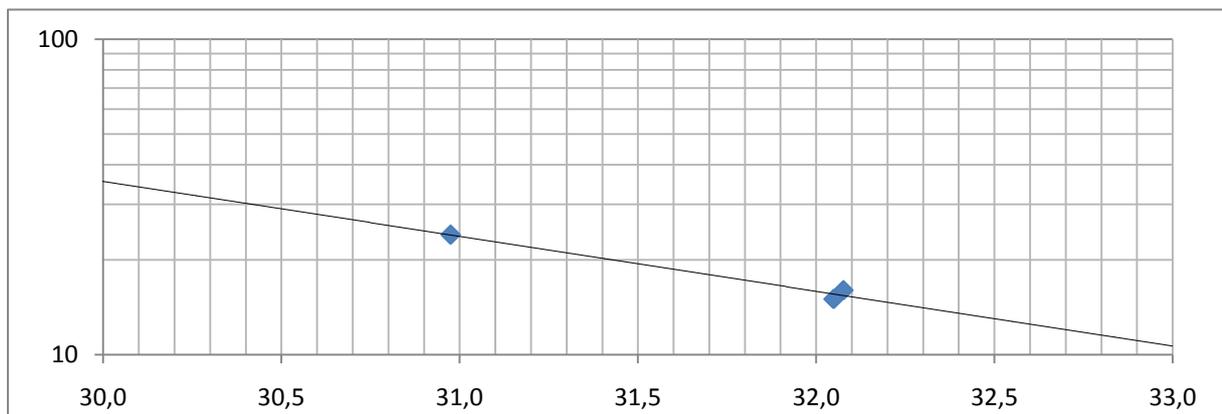
<b>Auswertung:</b>	Probennummer		<b>274</b>	
	Datum		November 08	
Fließgrenze $W_L$ [%]	$W_L$	=	30,80	%
Ausrollgrenze $W_P$ [%]	$W_P$	=	20,12	%
Plastizitätsindex $I_P$ [%] ( $I_P = W_L - W_P$ )	$I_P$	=	10,68	%

### Bestimmung der Fließgrenze

Nr.	Tara [g]	Gewicht vor Trocknung		Zwischenwägung		Diff. <0.5	Wassergehalt $W_L$ [%]	Schlaganz. (10-35)	Schlaganz. bei 25
		brutto [g]	netto [g] $M_1$	brutto [g]	netto [g] $M_3$				
a	34,83	50,56	15,73	46,85	12,02	0,08	30,97	24	30,8
				46,84	12,01				
b	34,35	56,42	22,07	51,05	16,70	-0,06	32,08	16	30,8
				51,06	16,71				
c	34,87	57,49	22,62	52,01	17,14	0,06	32,05	15	30,8
				52,00	17,13				

### Bestimmung der Ausrollgrenze

Nr.	Tara [g]	Gewicht vor Trocknung		Zwischenwägung		Diff. <0.5	Wassergehalt $W_L$ [%]	WP [%]
		brutto [g]	netto [g] $M_1$	brutto [g]	netto [g] $M_3$			
e	35,23	45,26	10,03	43,56	8,33	-0,24	20,12	20,12
				43,58				



### Bestimmung des Wassergehaltes

$w =$	$w$	=	Wassergehalt [%]
	$M_1$	=	Masse der Probe vor Trocknung [g]
	$M_3$	=	Trockenmasse [g]

Temperaturbereich bei Trocknung bei  $110 \pm 5^\circ\text{C}$

**Plastizität**

**Fließ- und Ausrollgrenze nach Atterberg (Konsistenzgrenzen)**

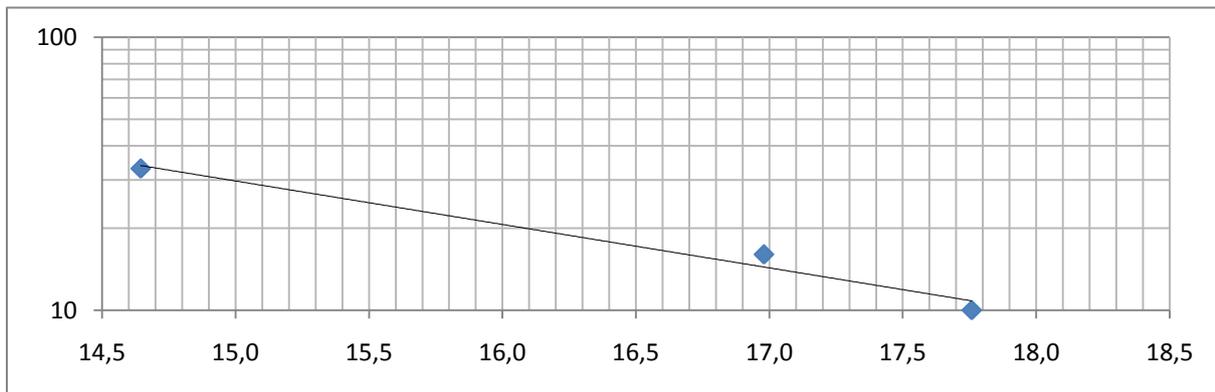
<b>Auswertung:</b>	Probennummer		<b>275</b>	
	Datum		Januar 09	
Fließgrenze $W_L$ [%]	$W_L$	=	15,40	%
Ausrollgrenze $W_P$ [%]	$W_P$	=	17,16	%
Plastizitätsindex $I_P$ [%] ( $I_P = W_L - W_P$ )	$I_P$	=	-1,76	%

**Bestimmung der Fließgrenze**

Nr.	Tara [g]	Gewicht vor Trocknung		Zwischenwägung		Diff. <0.5	Wassergehalt $W_L$ [%]	Schlaganz. (10-35)	Schlaganz. bei 25
		brutto [g]	netto [g] $M_1$	brutto [g]	netto [g] $M_3$				
a	34,28	45,24	10,96	43,86	9,58	0,21	14,64	33	15,4
				43,84	9,56				
b	34,88	47,35	12,47	45,54	10,66	0,00	16,98	16	15,4
				45,54	10,66				
c	34,88	46,75	11,87	44,97	10,09	0,10	17,76	10	15,4
				44,96	10,08				

**Bestimmung der Ausrollgrenze**

Nr.	Tara [g]	Gewicht vor Trocknung		Zwischenwägung		Diff. <0.5	Wassergehalt $W_L$ [%]	WP [%]
		brutto [g]	netto [g] $M_1$	brutto [g]	netto [g] $M_3$			
e	34,80	53,46	18,66	50,73	15,93	0,13	17,16	17,16
				50,71				



**Bestimmung des Wassergehaltes**

w =	w	=	Wassergehalt [%]
	$M_1$	=	Masse der Probe vor Trocknung [g]
	$M_3$	=	Trockenmasse [g]

Temperaturbereich bei Trocknung bei  $110 \pm 5^\circ\text{C}$

Plastizität									
Fließ- und Ausrollgrenze nach Atterberg (Konsistenzgrenzen)									
<b>Auswertung:</b>				Probennummer		275			
				Datum		Dezember 08			
Fließgrenze $W_L$ [%]				$W_L$	=	14,80	%		
Ausrollgrenze $W_P$ [%]				$W_P$	=	x	%		
Plastizitätsindex $I_P$ [%] ( $I_P = W_L - W_P$ )				$I_P$	=	x	%		
Bestimmung der Fließgrenze									
Nr.	Tara [g]	Gewicht vor Trocknung		Zwischenwägung		Diff. <0.5	Wassergehalt $W_L$ [%]	Schlaganz. (10-35)	Schlaganz. bei 25
		brutto [g]	netto [g] $M_1$	brutto [g]	netto [g] $M_3$				
a	21,60	51,36	29,76	46,77	25,17		18,24	9	14,8
				46,77	25,17				
b	23,14	52,37	29,23	48,33	25,19		16,04	17	14,8
				48,33	25,19				
c	23,22	51,32	28,10	47,67	24,45		19,83	x	14,8
				46,67	23,45				
Bestimmung der Ausrollgrenze									
Nr.	Tara [g]	Gewicht vor Trocknung		Zwischenwägung		Diff. <0.5	Wassergehalt $W_L$ [%]	WP [%]	
		brutto [g]	netto [g] $M_1$	brutto [g]	netto [g] $M_3$				
e	x								
Bestimmung des Wassergehaltes									
w =				w	=	Wassergehalt [%]			
				$M_1$	=	Masse der Probe vor Trocknung [g]			
				$M_3$	=	Trockenmasse [g]			

Temperaturbereich bei Trocknung bei  $110 \pm 5^\circ\text{C}$

## Plastizität

### Fließ- und Ausrollgrenze nach Atterberg (Konsistenzgrenzen)

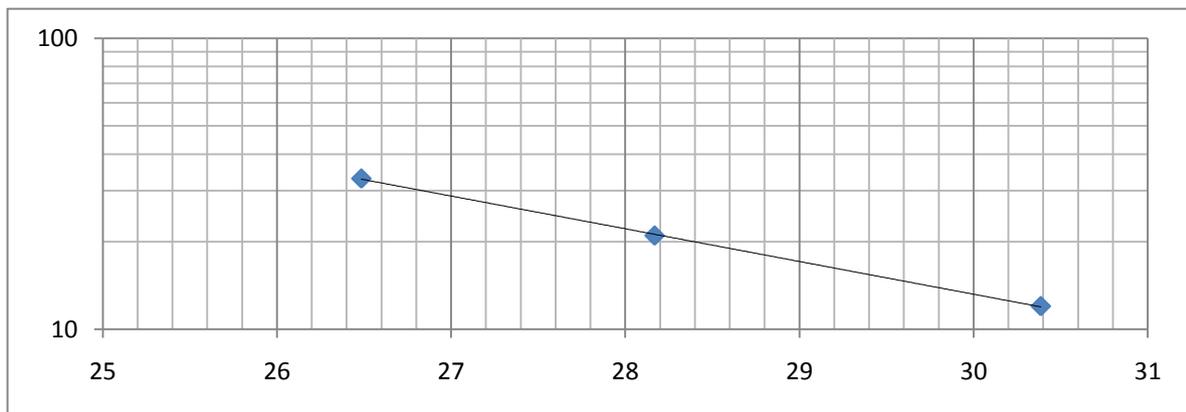
<b>Auswertung:</b>	Probennummer		<b>276</b>	
	Datum		Januar 09	
Fließgrenze $W_L$ [%]	$W_L$	=	27,30	%
Ausrollgrenze $W_P$ [%]	$W_P$	=	17,68	%
Plastizitätsindex $I_P$ [%] ( $I_P = W_L - W_P$ )	$I_P$	=	9,62	%

### Bestimmung der Fließgrenze

Nr.	Tara [g]	Gewicht vor Trocknung		Zwischenwägung		Diff. <0.5	Wassergehalt $W_L$ [%]	Schlaganz. (10-35)	Schlaganz. bei 25
		brutto [g]	netto [g] $M_1$	brutto [g]	netto [g] $M_3$				
a	34,45	48,31	13,86	45,04	10,59	-0,38	30,39	12	27,3
				45,08	10,63				
b	22,98	33,90	10,92	31,49	8,51	-0,12	28,17	21	27,3
				31,50	8,52				
c	22,36	32,58	10,22	30,43	8,07	-0,12	26,49	33	27,3
				30,44	8,08				

### Bestimmung der Ausrollgrenze

Nr.	Tara [g]	Gewicht vor Trocknung		Zwischenwägung		Diff. <0.5	Wassergehalt $W_L$ [%]	WP [%]
		brutto [g]	netto [g] $M_1$	brutto [g]	netto [g] $M_3$			
e	18,28	20,21	1,93	19,92	1,64	0,00	17,68	17,68
				19,92				



### Bestimmung des Wassergehaltes

w =	$w$	=	Wassergehalt [%]
	$M_1$	=	Masse der Probe vor Trocknung [g]
	$M_3$	=	Trockenmasse [g]

Temperaturbereich bei Trocknung bei  $110 \pm 5^\circ\text{C}$

**Plastizität**

**Fließ- und Ausrollgrenze nach Atterberg (Konsistenzgrenzen)**

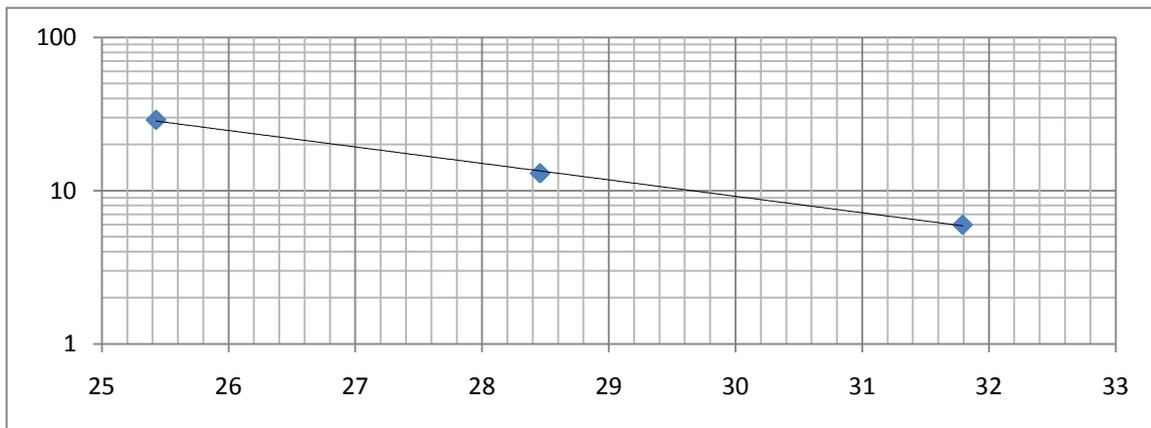
<b>Auswertung:</b>	Probennummer		<b>276</b>	
	Datum		Januar 09	
Fließgrenze $W_L$ [%]	$W_L$	=	26,10	%
Ausrollgrenze $W_P$ [%]	$W_P$	=	19,83	%
Plastizitätsindex $I_P$ [%] ( $I_P = W_L - W_P$ )	$I_P$	=	6,27	%

**Bestimmung der Fließgrenze**

Nr.	Tara [g]	Gewicht vor Trocknung		Zwischenwägung		Diff. <0.5	Wassergehalt $W_L$ [%]	Schlaganz. (10-35)	Schlaganz. bei 25
		brutto [g]	netto [g] $M_1$	brutto [g]	netto [g] $M_3$				
a	22,77	58,42	35,65	49,83	27,06	0,04	31,79	6	26,1
				49,82	27,05				
b	23,33	60,57	37,24	52,33	29,00	0,03	28,46	13	26,1
				52,32	28,99				
c	23,06	70,07	47,01	60,55	37,49	0,03	25,43	29	26,1
				60,54	37,48				

**Bestimmung der Ausrollgrenze**

Nr.	Tara [g]	Gewicht vor Trocknung		Zwischenwägung		Diff. <0.5	Wassergehalt $W_L$ [%]	WP [%]
		brutto [g]	netto [g] $M_1$	brutto [g]	netto [g] $M_3$			
e	22,67	34,21	11,54	32,32	9,65	0,21	19,83	19,83
				32,30				



Bestimmung des Wassergehaltes	$w$	=	Wassergehalt [%]
	$M_1$	=	Masse der Probe vor Trocknung [g]
	$M_3$	=	Trockenmasse [g]

Temperaturbereich bei Trocknung bei  $110 \pm 5^\circ\text{C}$

## Kornverteilungskurve

### Trockensiebung (nach Waschung)

				Probe	<b>234</b>
				Datum	Dez. 08
Gesamte Trockenmasse [g]		5685,60 [g]			
Sieböffnung [mm]	Tara [g]	Sieb mit Rückstand [g]	Rückstand trocken [g]	Rückstand trocken [%]	Durchgang [%]
63	2789,1				<b>100,00</b>
31,5	2091,6	2727	635,40	11,18	<b>88,82</b>
16	2044,5	2888	843,50	14,84	<b>73,99</b>
8	1773,5	2717	943,50	16,59	<b>57,39</b>
4	1651,3	2474,9	823,60	14,49	<b>42,91</b>
2	1590,5	2207,5	617,00	10,85	<b>32,06</b>
1	1432	1930,8	498,80	8,77	<b>23,28</b>
0,5	1324,2	1704,8	380,60	6,69	<b>16,59</b>
Summe < 0.5			942,60	16,58	<b>0,01</b>
< 0.5 (Rest, Nasssiebung)	1777,4	1790,4	13,00		
< 0.5 (Trockensiebung)			676,40		
< 0.5 (Verlust Waschung)			253,20		
Summe gesamt			5685,00		
Summe vor Siebung			5685,60		
Ist die Abweichung der gesamten Trockenmasse in Bezug auf die Summe >1% dann ist der Versuch ungültig					

## Kornverteilungskurve

### Trockensiebung (nach Waschung)

				Probe	235
				Datum	Dez. 08
Gesamte Trockenmasse [g]		5104,80 [g]			
Sieböffnung [mm]	Tara [g]	Sieb mit Rückstand [g]	Rückstand trocken [g]	Rückstand trocken [%]	Durchgang [%]
63					<b>100,00</b>
31,5	2091,4	2606,4	515,00	10,09	<b>89,91</b>
16	2044,4	2919,7	875,30	17,15	<b>72,76</b>
8	1773,2	2777,8	1004,60	19,68	<b>53,09</b>
4	1651	2438,3	787,30	15,42	<b>37,66</b>
2	1590	2136	546,00	10,70	<b>26,97</b>
1	1431,3	1755,5	324,20	6,35	<b>20,62</b>
0,5	1323,1	1502,6	179,50	3,52	<b>17,10</b>
Summe < 0.5			874,10	17,12	<b>-0,02</b>
< 0.5 (Rest, Nasssiebung)	1777,2	1788,6	11,40		
< 0.5 (Trockensiebung)			609,40		
< 0.5 (Verlust Waschung)			253,30		
Summe gesamt			5106,00		
Summe vor Siebung			5104,80		
Ist die Abweichung der gesamten Trockenmasse in Bezug auf die Summe >1% dann ist der Versuch ungültig					

## Kornverteilungskurve

### Trockensiebung (nach Waschung)

				Probe	<b>237</b>
				Datum	Dez. 08
Gesamte Trockenmasse [g]		3861,10 [g]			
Sieböffnung [mm]	Tara [g]	Sieb mit Rückstand [g]	Rückstand trocken [g]	Rückstand trocken [%]	Durchgang [%]
63					<b>100,00</b>
31,5	2091,4	2590,4	499,00	12,92	<b>87,08</b>
16	2044,3	2492,2	447,90	11,60	<b>75,48</b>
8	1772	2128,1	356,10	9,22	<b>66,25</b>
4	1650,8	1953,1	302,30	7,83	<b>58,42</b>
2	1590,1	1853,9	263,80	6,83	<b>51,59</b>
1	1431,8	1664,9	233,10	6,04	<b>45,55</b>
0,5	1323	1510,3	187,30	4,85	<b>40,70</b>
Summe < 0.5	1777,3	1783,9	1575,10	40,79	<b>-0,09</b>
< 0.5 (Rest, Nasssiebung)			6,60		
< 0.5 (Trockensiebung)			827,60		
< 0.5 (Verlust Waschung)			740,90		
Summe gesamt			3864,60		
Summe vor Siebung			3861,10		
Ist die Abweichung der gesamten Trockenmasse in Bezug auf die Summe >1% dann ist der Versuch ungültig					

## Kornverteilungskurve

### Trockensiebung (nach Waschung)

				Probe	255
				Datum	Dez. 08
Gesamte Trockenmasse [g]		7129,30 [g]			
Sieböffnung [mm]	Tara [g]	Sieb mit Rückstand [g]	Rückstand trocken [g]	Rückstand trocken [%]	Durchgang [%]
63					<b>100,00</b>
31,5	2091,5	2629,2	537,70	7,54	<b>92,46</b>
16	2044,4	2822,8	778,40	10,92	<b>81,54</b>
8	1772,9	2458,7	685,80	9,62	<b>71,92</b>
4	1651	2253,6	602,60	8,45	<b>63,47</b>
2	1590	2107,3	517,30	7,26	<b>56,21</b>
1	1431,1	1901,3	470,20	6,60	<b>49,62</b>
0,5	1323,3	1712,5	389,20	5,46	<b>44,16</b>
Summe < 0.5	1777,3	1785,9	3145,30	44,12	<b>0,04</b>
< 0.5 (Rest, Nasssiebung)			8,60		
< 0.5 (Trockensiebung)			1843,50		
< 0.5 (Verlust Waschung)			1293,20		
Summe gesamt			7126,50		
Summe vor Siebung			7129,30		
Ist die Abweichung der gesamten Trockenmasse in Bezug auf die Summe >1% dann ist der Versuch ungültig					

## Kornverteilungskurve

### Trockensiebung (nach Waschung)

				Probe	<b>274</b>
				Datum	Dez. 08
Gesamte Trockenmasse [g]		7234,80 [g]			
Sieböffnung [mm]	Tara [g]	Sieb mit Rückstand [g]	Rückstand trocken [g]	Rückstand trocken [%]	Durchgang [%]
63	2789,1	<b>3227,10</b>	<b>438,00</b>	<b>6,05</b>	<b>93,95</b>
31,5	2091,5	2763,1	671,60	9,28	<b>84,66</b>
16	2044,4	2765,6	721,20	9,97	<b>74,69</b>
8	1772,4	2240,1	467,70	6,46	<b>68,23</b>
4	1651,1	2081	429,90	5,94	<b>62,29</b>
2	1590,1	1980,8	390,70	5,40	<b>56,89</b>
1	1431,2	1834,2	403,00	5,57	<b>51,32</b>
0,5	1323,1	1659,5	336,40	4,65	<b>46,67</b>
Summe < 0.5	1777,3	1790,4	3377,00	46,68	<b>-0,01</b>
< 0.5 (Rest, Nasssiebung)			13,10		
< 0.5 (Trockensiebung)			1711,40		
< 0.5 (Verlust Waschung)			1652,50		
Summe gesamt			7235,50		
Summe vor Siebung			7234,80		
Ist die Abweichung der gesamten Trockenmasse in Bezug auf die Summe >1% dann ist der Versuch ungültig					

## Kornverteilungskurve

### Trockensiebung (nach Waschung)

				Probe	275
				Datum	Dez. 08
Gesamte Trockenmasse [g]		9061,80 [g]			
Sieböffnung [mm]	Tara [g]	Sieb mit Rückstand [g]	Rückstand trocken [g]	Rückstand trocken [%]	Durchgang [%]
63					<b>100,00</b>
31,5	2091,5	2804,3	712,80	7,87	<b>92,13</b>
16	2044,4	3469,3	1424,90	15,72	<b>76,41</b>
8	1772,1	2901,2	1129,10	12,46	<b>63,95</b>
4	1650,8	2674	1023,20	11,29	<b>52,66</b>
2	1590,2	2377,8	787,60	8,69	<b>43,97</b>
1	1431,6	2124,2	692,60	7,64	<b>36,32</b>
0,5	1322,9	1966,4	643,50	7,10	<b>29,22</b>
Summe < 0.5			2648,30	29,22	<b>0,00</b>
< 0.5 (Rest, Nasssiebung)	1777,1	1797,4	20,30		
< 0.5 (Trockensiebung)			1559,50		
< 0.5 (Verlust Waschung)			1068,50		
Summe gesamt			9062,00		
Summe vor Siebung			9061,80		
Ist die Abweichung der gesamten Trockenmasse in Bezug auf die Summe >1% dann ist der Versuch ungültig					

## Kornverteilungskurve

### Trockensiebung (nach Waschung)

				Probe	<b>276</b>
				Datum	Dez. 08
Gesamte Trockenmasse [g]		4665,40 [g]			
Sieböffnung [mm]	Tara [g]	Sieb mit Rückstand [g]	Rückstand trocken [g]	Rückstand trocken [%]	Durchgang [%]
63					
31,5					<b>100,00</b>
16	2044,6	2188	143,40	3,07	<b>96,93</b>
8	1771,9	1987,9	216,00	4,63	<b>92,30</b>
4	1650,9	1924,8	273,90	5,87	<b>86,43</b>
2	1590,6	1828,8	238,20	5,11	<b>81,32</b>
1	1431,4	1673,9	242,50	5,20	<b>76,12</b>
0,5	1323	1535,7	212,70	4,56	<b>71,56</b>
Summe < 0.5	1777,3	1789,9	3338,70	71,56	<b>0,00</b>
< 0.5 (Rest, Nasssiebung)			12,60		
< 0.5 (Trockensiebung)			1612,70		
< 0.5 (Verlust Waschung)			1713,40		
Summe gesamt			4665,40		
Summe vor Siebung			4665,40		
Ist die Abweichung der gesamten Trockenmasse in Bezug auf die Summe >1% dann ist der Versuch ungültig					

## Kornverteilungskurve

### Schlämmen und Nasssieben

Aräometernummer	8	Probe	<b>234</b>
Totale Masse der Feinfraktion < 0.5 [g]	942,6	Datum	Dez. 08
Prozentualer Massenanteil < 0.5 (px)	16,58	Temp:	20,8 °C
Masse des Prüfmusters [g]: Md	50,13		
Dispergierungsmittel: 15 ml Na(PO3)6	15 ml		
Ablesung im Referenzzylinder rr	0,999		

t [min. odh]	t (s)	r	c	R	Hr [mm]	Korndurchmesser [mm]	P [Masse-%]	Ptot [Masse-%]
0,5	30	1,0065	-0,001	7,5	175,4	0,0774	23,94	3,97
1	60	1,00555	-0,001	6,5	179,5	0,0553	20,91	3,47
2	120	1,00525	-0,001	6,2	180,7	0,0393	19,95	3,31
5	300	1,005	-0,001	6,0	181,5	0,0249	19,15	3,17
15	900	1,004	-0,001	5,0	185,5	0,0145	15,96	2,65
45	2700	1,00325	-0,001	4,2	188,7	0,0085	13,56	2,25
2	7200	1,0025	-0,001	3,5	191,6	0,0052	11,17	1,85
5	18000	1,00175	-0,001	2,7	194,8	0,0033	8,78	1,46
24	86400	1,0016	-0,001	2,6	195,2	0,0015	8,30	1,38

### Nasssieben nach Schlämmen

Sieböffnung [mm]	Tara [g]	Sieb m. Rückst.	Diff. < 0.1 [%]	Rückst. trocken R <sub>t</sub>	Pn [Masse-%]	Durchgang Gew.- [g]
0,25	377,83	397,95	0,00	20,14	6,66	9,92
		397,97				
0,125	379,32	392,48	0,00	13,09	4,33	5,59
		392,41				
0,063	375,44	379,18	0,00	3,69	1,22	4,37
		379,13				

## Kornverteilungskurve

### Schlämmen und Nasssieben

Aräometernummer	6	Probe	235
Totale Masse der Feinfraktion < 0.5 [g]	874,19	Datum	Jan. 09
Prozentualer Massenanteil < 0.5 (px)	17,12	Temp:	18,50
Masse des Prüfmusters [g]: Md	50,04		
Dispergierungsmittel: 15 ml Na(PO3)6	15 ml		
Ablesung im Referenzzylinder rr	0,999		

t [min. odh]	t (s)	r	c	R	Hr [mm]	Korndurchmesser [mm]	P [Masse-%]	Ptot [Masse-%]
0,5	30	1,0155	-0,001	16,5	139,2	0,0689	52,76	9,03
1	60	1,0145	-0,001	15,5	143,2	0,0494	49,56	8,49
2	120	1,013	-0,001	14,0	149,2	0,0357	44,76	7,67
5	300	1,011	-0,001	12,0	157,3	0,0232	38,37	6,57
15	900	1,0092	-0,001	10,2	164,5	0,0137	32,61	5,59
45	2700	1,0066	-0,001	7,6	175,1	0,0081	24,30	4,16
2	7200	1,005	-0,001	6,0	181,6	0,0051	19,18	3,29
5	18000	1,0036	-0,001	4,6	187,3	0,0033	14,71	2,52
24	97200	1,0022	-0,001	3,2	193	0,0014	10,23	1,75

### Nasssieben nach Schlämmen

Sieböffnung [mm]	Tara [g]	Sieb m. Rückst.	Diff. < 0.1 [%]	Rückst. trocken R <sub>t</sub>	Pn [Masse-%]	Durchgang Gew.- [g]
0,25	395,67	404,52	0,00	8,81	3,01	14,11
		404,48				
0,125	373,87	381,53	0,00	7,56	2,59	11,52
		381,43				
0,063	263,32	269,28	0,00	5,99	2,05	9,47
		269,31				

## Kornverteilungskurve

### Schlämmen und Nasssieben

Aräometernummer	6	Probe	<b>237</b>
Totale Masse der Feinfraktion < 0.5 [g]	1574,3	Datum	Dez. 08
Prozentualer Massenanteil < 0.5 (px)	40,78	Temp:	20,8 °C
Masse des Prüfmusters [g]: Md	50		
Dispergierungsmittel: 15 ml Na(PO3)6	15 ml		
Ablesung im Referenzzylinder rr	0,999		

t [min. odh]	t (s)	r	c	R	Hr [mm]	Korndurchmesser [mm]	P [Masse-%]	Ptot [Masse-%]
0,5	30	1,016	-0,001	17,0	137,2	0,0684	54,40	22,18
1	60	1,015	-0,001	16,0	141,2	0,0491	51,20	20,88
2	120	1,013	-0,001	14,0	149,2	0,0357	44,80	18,27
5	300	1,0127	-0,001	13,7	150,4	0,0227	43,84	17,88
15	900	1,0115	-0,001	12,5	155,2	0,0133	40,00	16,31
45	2700	1,0095	-0,001	10,5	163,3	0,0079	33,60	13,70
2	7200	1,008	-0,001	9,0	169,4	0,0049	28,80	11,74
5	18000	1,00675	-0,001	7,7	174,6	0,0032	24,80	10,11
24	86400	1,0054	-0,001	6,4	179,9	0,0015	20,48	8,35

### Nasssieben nach Schlämmen

Sieböffnung [mm]	Tara [g]	Sieb m. Rückst.	Diff. < 0.1 [%]	Rückst. trocken R <sub>t</sub>	Pn [Masse-%]	Durchgang Gew.- [g]
0,25	395,74	403,11	0,00	7,37	6,01	34,77
		403,11				
0,125	373,9	381,15	0,00	7,26	5,92	28,85
		381,16				
0,063	263,22	268,89	0,00	5,67	4,62	24,23
		268,89				

## Kornverteilungskurve

### Schlämmen und Nasssieben

Aräometernummer	7	Probe	255
Totale Masse der Feinfraktion < 0.5 [g]	3145,3	Datum	Jan. 09
Prozentualer Massenanteil < 0.5 (px)	44,14	Temp:	18,50
Masse des Prüfmusters [g]: Md	50,06		
Dispergierungsmittel: 15 ml Na(PO3)6	15 ml		
Ablesung im Referenzzylinder rr	0,9992		

t [min. odh]	t (s)	r	c	R	Hr [mm]	Korndurchmesser [mm]	P [Masse-%]	Ptot [Masse-%]
0,5	30	1,016	-0,0014	17,4	129,8	0,0666	55,56	24,53
1	60	1,0012	-0,0014	13,4	145,9	0,0499	42,79	18,89
2	120	1,0086	-0,0014	10,0	159,7	0,0369	31,93	14,10
5	300	1,0064	-0,0014	7,8	168,5	0,0240	24,91	10,99
15	900	1,0053	-0,0014	6,7	173	0,0140	21,39	9,44
45	2700	1,0045	-0,0014	5,9	176,2	0,0082	18,84	8,32
2	7200	1,0036	-0,0014	5,0	179,8	0,0051	15,96	7,05
5	18000	1,003	-0,0014	4,4	182,2	0,0032	14,05	6,20
24	97200	1,0022	-0,0014	3,6	185,5	0,0014	11,49	5,07

### Nasssieben nach Schlämmen

Sieböffnung [mm]	Tara [g]	Sieb m. Rückst.	Diff. < 0.1 [%]	Rückst. trocken R <sub>t</sub>	Pn [Masse-%]	Durchgang Gew.- [g]
0,25	392,51	398,34	0,00	5,14	39,00	38,91
		398,35				
0,125	382,84	389,18	0,00	5,59	33,41	32,82
		389,18				
0,063	353,77	361,39	0,00	6,72	26,69	26,64
		361,4				

## Kornverteilungskurve

### Schlämmen und Nasssieben

Aräometernummer	8	Probe	<b>274</b>
Totale Masse der Feinfraktion < 0.5 [g]	3376,2	Datum	Jan. 09
Prozentualer Massenanteil < 0.5 (px)	46,67	Temp:	18,50
Masse des Prüfmusters [g]: Md	50,18		
Dispergierungsmittel: 15 ml Na(PO3)6	15 ml		
Ablesung im Referenzzylinder rr	0,999		

t [min. odh]	t (s)	r	c	R	Hr [mm]	Korndurchmesser [mm]	P [Masse-%]	Ptot [Masse-%]
0,5	30	1,0135	-0,001	14,5	147,4	0,0709313	46,2336	21,58
1	60	1,012	-0,001	13	153,4	0,0511667	41,4508	19,35
2	120	1,01	-0,001	11	161,4	0,0371117	35,0737	16,37
5	300	1,0084	-0,001	9,4	167,8	0,0239323	29,9721	13,99
15	900	1,0062	-0,001	7,2	176,6	0,014175	22,9574	10,71
42	2700	1,0045	-0,001	5,5	183,5	0,0083423	17,5369	8,18
2,5	7200	1,0033	-0,001	4,3	188,3	0,005175	13,7106	6,40
5,1	18000	1,0027	-0,001	3,7	190,8	0,0032946	11,7975	5,51
25,5	97200	1,0018	-0,001	2,8	194,4	0,0014311	8,9279	4,17

### Nasssieben nach Schlämmen

Sieböffnung [mm]	Tara [g]	Sieb m. Rückst.	Diff. < 0.1 [%]	Rückst. trocken R <sub>t</sub>	Pn [Masse-%]	Durchgang Gew.- [g]
0,25	377,93	388,66	0,00	10,71	9,96	36,71
		388,64				
0,125	379,63	388,98	0,00	9,34	8,69	28,02
		388,97				
0,063	375,49	382,49	0,00	7,05	6,56	21,47
		382,54				

## Kornverteilungskurve

### Schlämmen und Nasssieben

Aräometernummer	7	Probe	<b>275</b>
Totale Masse der Feinfraktion < 0.5 [g]	2630,6	Datum	Jan. 09
Prozentualer Massenanteil < 0.5 (px)	29,09	Temp:	18,50
Masse des Prüfmusters [g]: Md	50,65		
Dispergierungsmittel: 15 ml Na(PO3)6	15 ml		
Ablesung im Referenzzylinder rr	0,999		

t [min. odh]	t (s)	r	c	R	Hr [mm]	Korndurchmesser [mm]	P [Masse-%]	Ptot [Masse-%]
0,5	30	1,014	-0,001	15,0	82,7	0,0531	47,38	13,76
1	60	1,012	-0,001	13,0	90,9	0,0394	41,07	11,92
2	120	1,0103	-0,001	11,3	97,8	0,0289	35,70	10,36
5	300	1,0082	-0,001	9,2	106,3	0,0190	29,06	8,44
15	900	1,006	-0,001	7,0	115,2	0,0114	22,11	6,42
42	2520	1,0043	-0,001	5,3	122,1	0,0070	16,74	4,86
2,5	9000	1,0029	-0,001	3,9	127,7	0,0038	12,32	3,58
5,1	18600	1,0021	-0,001	3,1	131	0,0027	9,79	2,84
25,5	91800	1,0012	-0,001	2,2	134,6	0,0012	6,95	2,02

### Nasssieben nach Schlämmen

Sieböffnung [mm]	Tara [g]	Sieb m. Rückst.	Diff. < 0.1 [%]	Rückst. trocken R <sub>t</sub>	Pn [Masse-%]	Durchgang Gew.- [g]
0,25	377,87	387,43	0,00	9,54	5,47	23,56
		387,41				
0,125	379,52	388,63	0,00	9,07	5,20	18,36
		388,59				
0,063	353,54	361,67	0,00	7,66	7,66	13,97
		361,2				

## Kornverteilungskurve

### Schlämmen und Nasssieben

Aräometernummer	8	Probe	<b>276</b>
Totale Masse der Feinfraktion < 0.5 [g]	3320,2	Datum	Dez. 08
Prozentualer Massenanteil < 0.5 (px)	71,45	Temp:	20,8 °C
Masse des Prüfmusters [g]: Md	50,18		
Dispergierungsmittel: 15 ml Na(PO3)6	15,11		
Ablesung im Referenzzylinder rr	0,999		

t [min. odh]	t (s)	r	c	R	Hr [mm]	Korndurchmesser [mm]	P [Masse-%]	Ptot [Masse-%]
0,5	30	1,0192	-0,001	20,2	124,7	0,0652	64,41	45,84
1	60	1,0185	-0,001	19,5	127,5	0,0466	62,18	44,25
2	120	1,0177	-0,001	18,7	130,7	0,0334	59,63	42,43
5	300	1,0165	-0,001	17,5	135,4	0,0215	55,80	39,71
15	900	1,0145	-0,001	15,5	143,4	0,0128	49,42	35,17
45	2700	1,0119	-0,001	12,9	153,8	0,0076	41,13	29,27
2	7200	1,0098	-0,001	10,8	152,2	0,0047	34,44	24,51
5	18000	1,0084	-0,001	9,4	167,8	0,0031	29,97	21,33
24	100800	1,0056	-0,001	6,6	179,1	0,0013	21,04	14,98

### Nasssieben nach Schlämmen

Sieböffnung [mm]	Tara [g]	Sieb m. Rückst.	Diff. < 0.1 [%]	Rückst. trocken R <sub>t</sub>	Pn [Masse-%]	Durchgang Gew.- [g]
0,25	395,49	400,83	0,00	5,31	7,53	63,64
		400,8				
0,125	373,64	379,01	0,00	5,35	7,59	56,05
		378,99				
0,063	263,17	267,26	0,00	4,07	5,77	50,28
		267,24				

Klassifikation USCS				
Ungleichförmigkeitsgrad	C <sub>ud</sub> =D <sub>60</sub> /D <sub>10</sub>		Probe	234
Krümmung	C <sub>cd</sub> =D <sub>30</sub> <sup>2</sup> /(D <sub>10</sub> *D <sub>60</sub> )		Datum	Dezember 08
Erforderliche Werte				
Körngrösse bei 50 % [mm]		D <sub>50</sub> =	6,0	
Durchgang bei 2 mm [%]			32,1	
Durchgang bei 0,06 mm [%]			4,3	
Körngrösse bei 60 % [mm]		D <sub>60</sub> =	9,0	
Körngrösse bei 30 % [mm]		D <sub>30</sub> =	1,9	
Körngrösse bei 10 % [mm]		D <sub>10</sub> =	0,26	
Ungleichförmigkeitsgrad C <sub>ud</sub>			35	
Krümmung C <sub>cd</sub>			1,5	
Fließgrenze W <sub>L</sub> [%]			17,4	
Plastizitätsindex I <sub>p</sub> [%]			1,7	
Klassifikationsresultat				
Symbol	Gruppe			
GP	schlecht abgestufter sandiger Kies			
D <sub>50</sub> = Korngrösse, von welcher 50 % kleiner sind als D [mm].				
D <sub>60</sub> und alle anderen analog				

Klassifikation USCS				
Ungleichförmigkeitsgrad	C <sub>ud</sub> =D <sub>60</sub> /D <sub>10</sub>		Probe	235
Krümmung	C <sub>cd</sub> =D <sub>30</sub> <sup>2</sup> /(D <sub>10</sub> *D <sub>60</sub> )		Datum	Dezember 08
Erforderliche Werte				
Körngrösse bei 50 % [mm]		D <sub>50</sub> =	7,0	
Durchgang bei 2 mm [%]			27,0	
Durchgang bei 0,06 mm [%]			9,6	
Körngrösse bei 60 % [mm]		D <sub>60</sub> =	10,0	
Körngrösse bei 30 % [mm]		D <sub>30</sub> =	2,5	
Körngrösse bei 10 % [mm]		D <sub>10</sub> =	0,09	
Ungleichförmigkeitsgrad C <sub>ud</sub>			112	
Krümmung C <sub>cd</sub>			6,9	
Fließgrenze W <sub>L</sub> [%]			22,4	
Plastizitätsindex I <sub>p</sub> [%]			4,1	
Klassifikationsresultat				
Symbol		Gruppe		
GC-GM		siltiger bis toniger Kies mit Sand		
D <sub>50</sub> = Korngrösse, von welcher 50 % kleiner sind als D [mm].				
D <sub>60</sub> und alle anderen analog				

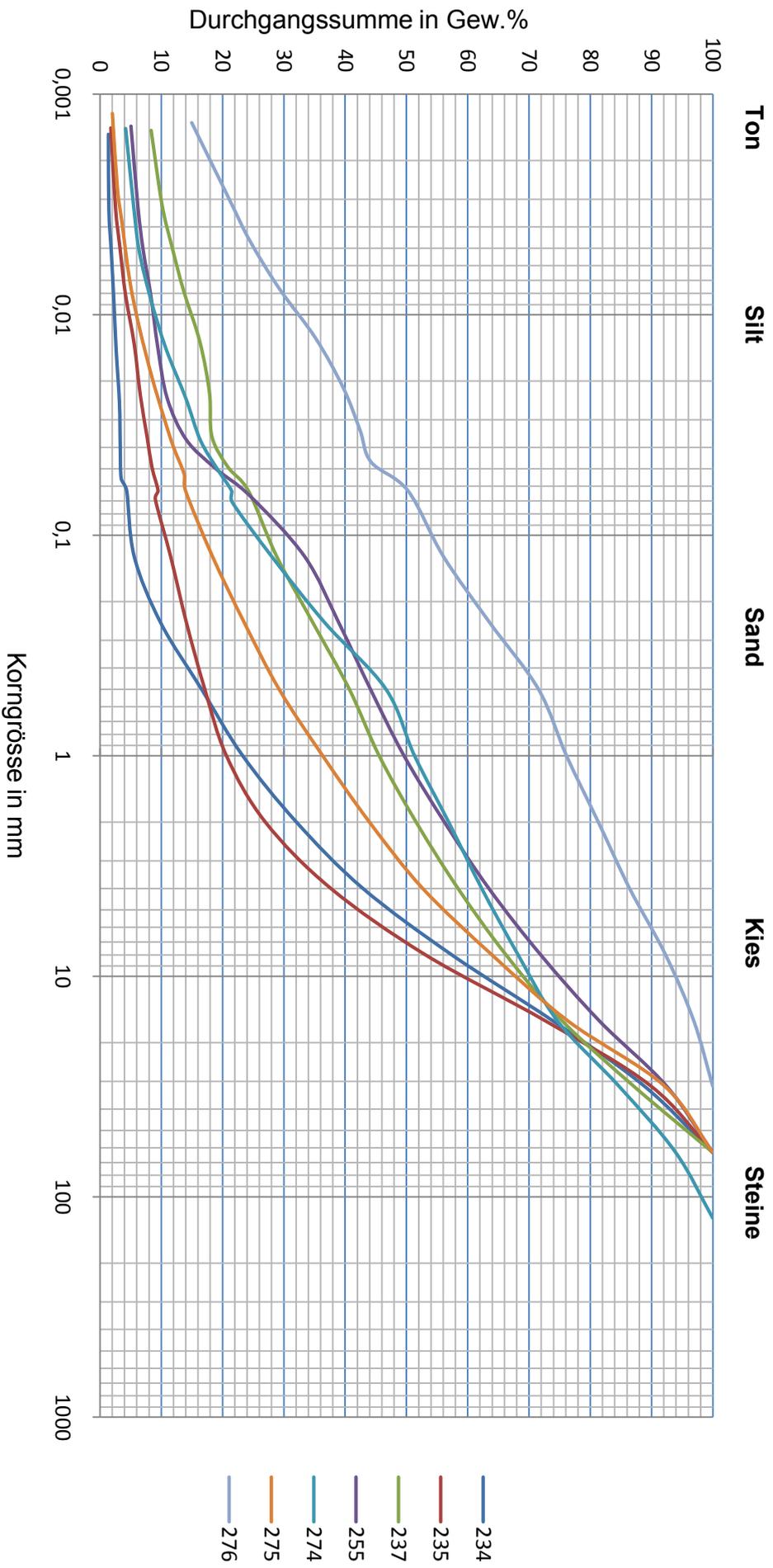
Klassifikation USCS				
Ungleichförmigkeitsgrad	C <sub>ud</sub> =D <sub>60</sub> /D <sub>10</sub>		Probe	237
Krümmung	C <sub>cd</sub> =D <sub>30</sub> <sup>2</sup> /(D <sub>10</sub> *D <sub>60</sub> )		Datum	Dezember 08
Erforderliche Werte				
Körngrösse bei 50 % [mm]		D <sub>50</sub> =	1,8	
Durchgang bei 2 mm [%]			51,6	
Durchgang bei 0,06 mm [%]			24,2	
Körngrösse bei 60 % [mm]		D <sub>60</sub> =	4,7	
Körngrösse bei 30 % [mm]		D <sub>30</sub> =	0,2	
Körngrösse bei 10 % [mm]		D <sub>10</sub> =	0,03	
Ungleichförmigkeitsgrad C <sub>ud</sub>			162	
Krümmung C <sub>cd</sub>			0,2	
Fließgrenze W <sub>L</sub> [%]			24,8	
Plastizitätsindex I <sub>p</sub> [%]			6,1	
Klassifikationsresultat				
Symbol		Gruppe		
GC-GM		siltiger bis toniger Kies mit Sand		
D <sub>50</sub> = Korngrösse, von welcher 50 % kleiner sind als D [mm].				
D <sub>60</sub> und alle anderen analog				

Klassifikation USCS				
Ungleichförmigkeitsgrad	C <sub>ud</sub> =D <sub>60</sub> /D <sub>10</sub>		Probe	255
Krümmung	C <sub>cd</sub> =D <sub>30</sub> <sup>2</sup> /(D <sub>10</sub> *D <sub>60</sub> )		Datum	Dezember 08
Erforderliche Werte				
Körngrösse bei 50 % [mm]		D <sub>50</sub> =	1,2	
Durchgang bei 2 mm [%]			56,2	
Durchgang bei 0,06 mm [%]			23,5	
Körngrösse bei 60 % [mm]		D <sub>60</sub> =	2,9	
Körngrösse bei 30 % [mm]		D <sub>30</sub> =	0,1	
Körngrösse bei 10 % [mm]		D <sub>10</sub> =	0,02	
Ungleichförmigkeitsgrad C <sub>ud</sub>			153	
Krümmung C <sub>cd</sub>			0,2	
Fließgrenze W <sub>L</sub> [%]			41,0	
Plastizitätsindex I <sub>p</sub> [%]			14,0	
Klassifikationsresultat				
Symbol		Gruppe		
GM		siltiger Kies mit Sand		
D <sub>50</sub> = Korngrösse, von welcher 50 % kleiner sind als D [mm].				
D <sub>60</sub> und alle anderen analog				

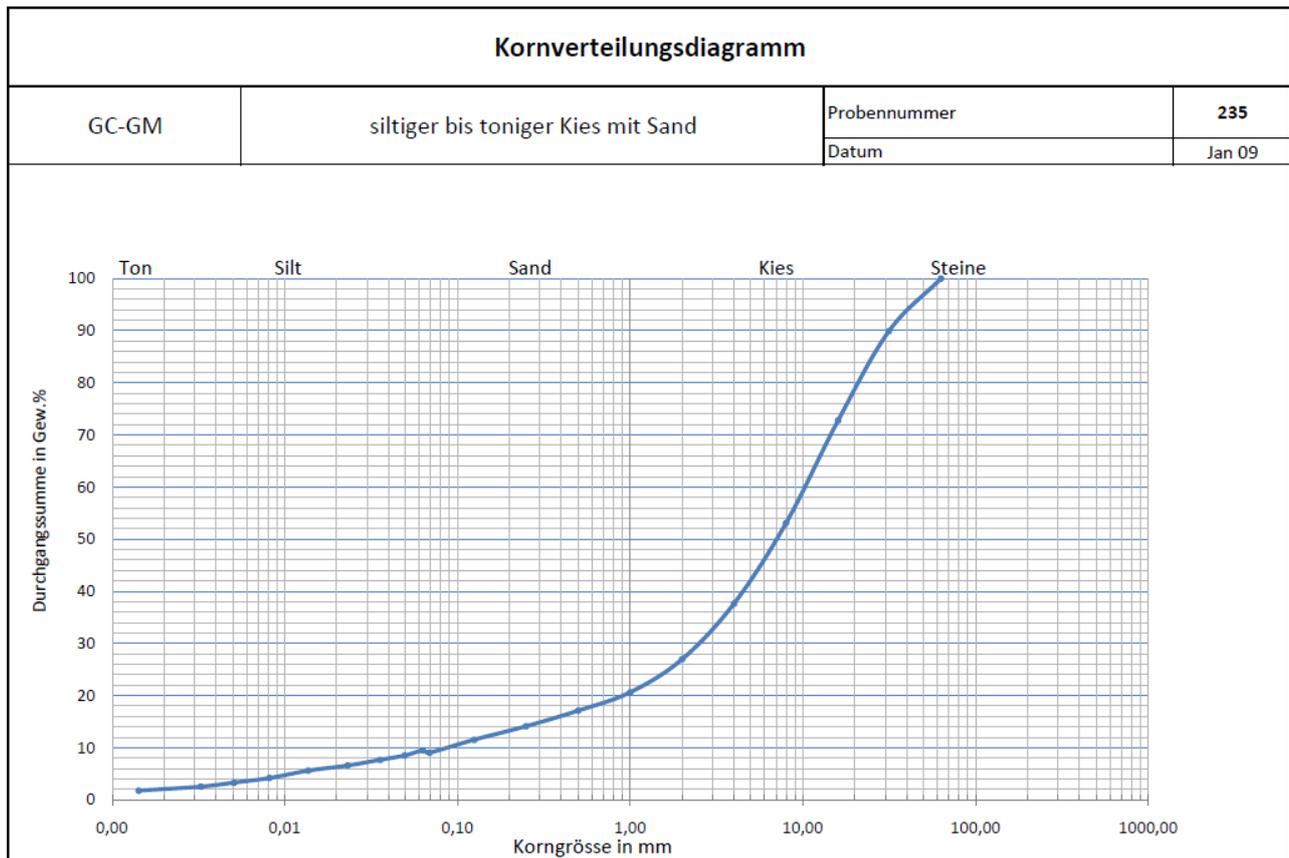
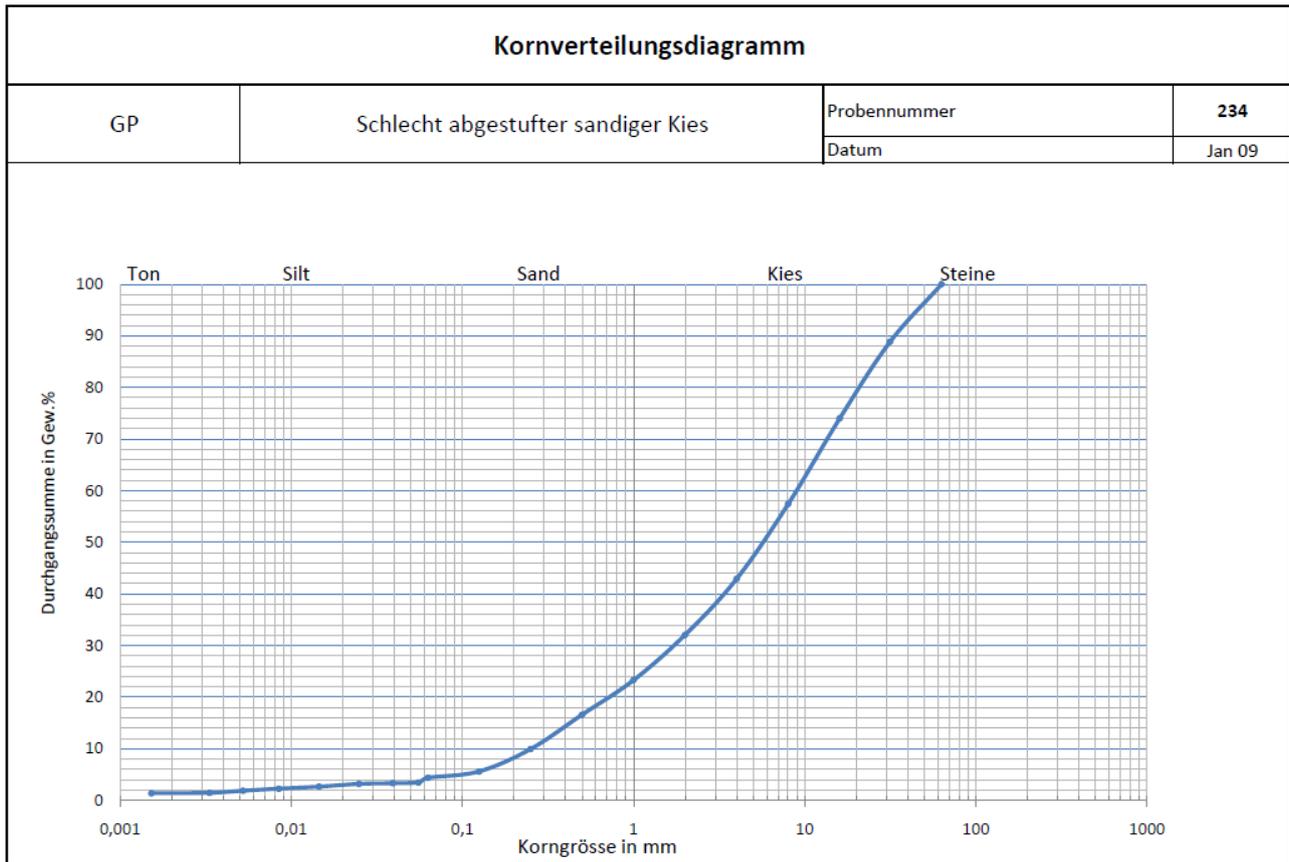
Klassifikation USCS				
Ungleichförmigkeitsgrad	C <sub>ud</sub> =D <sub>60</sub> /D <sub>10</sub>		Probe	275
Krümmung	C <sub>cd</sub> =D <sub>30</sub> <sup>2</sup> /(D <sub>10</sub> *D <sub>60</sub> )		Datum	Dezember 08
Erforderliche Werte				
Körngrösse bei 50 % [mm]		D <sub>50</sub> =	3,3	
Durchgang bei 2 mm [%]			43,9	
Durchgang bei 0,06 mm [%]			14,0	
Körngrösse bei 60 % [mm]		D <sub>60</sub> =	6,3	
Körngrösse bei 30 % [mm]		D <sub>30</sub> =	0,6	
Körngrösse bei 10 % [mm]		D <sub>10</sub> =	0,03	
Ungleichförmigkeitsgrad C <sub>ud</sub>			233	
Krümmung C <sub>cd</sub>			1,8	
Fließgrenze W <sub>L</sub> [%]			15,1	
Plastizitätsindex I <sub>p</sub> [%]			n.b.	
Klassifikationsresultat				
Symbol		Gruppe		
GM		siltiger Kies mit Sand		
D <sub>50</sub> = Korngrösse, von welcher 50 % kleiner sind als D [mm].				
D <sub>60</sub> und alle anderen analog				

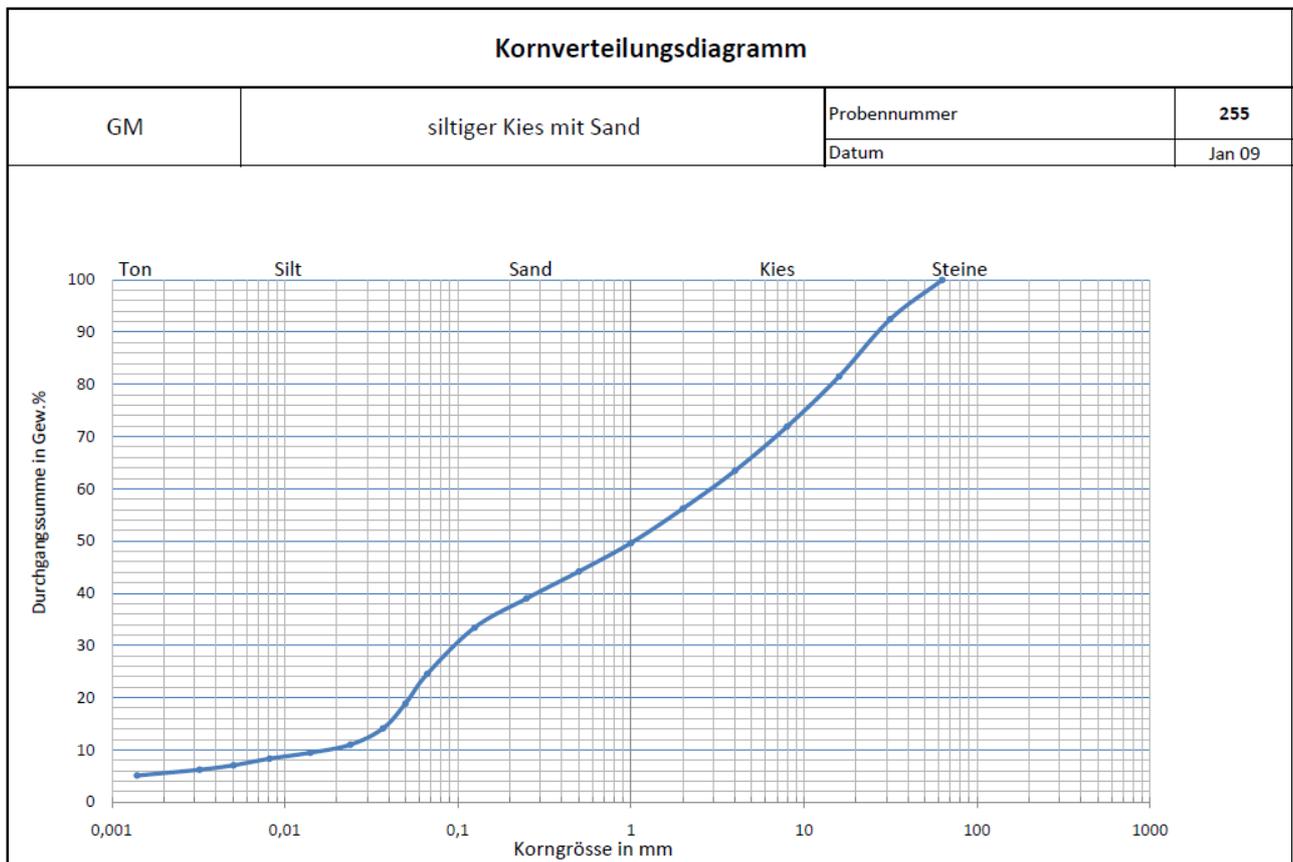
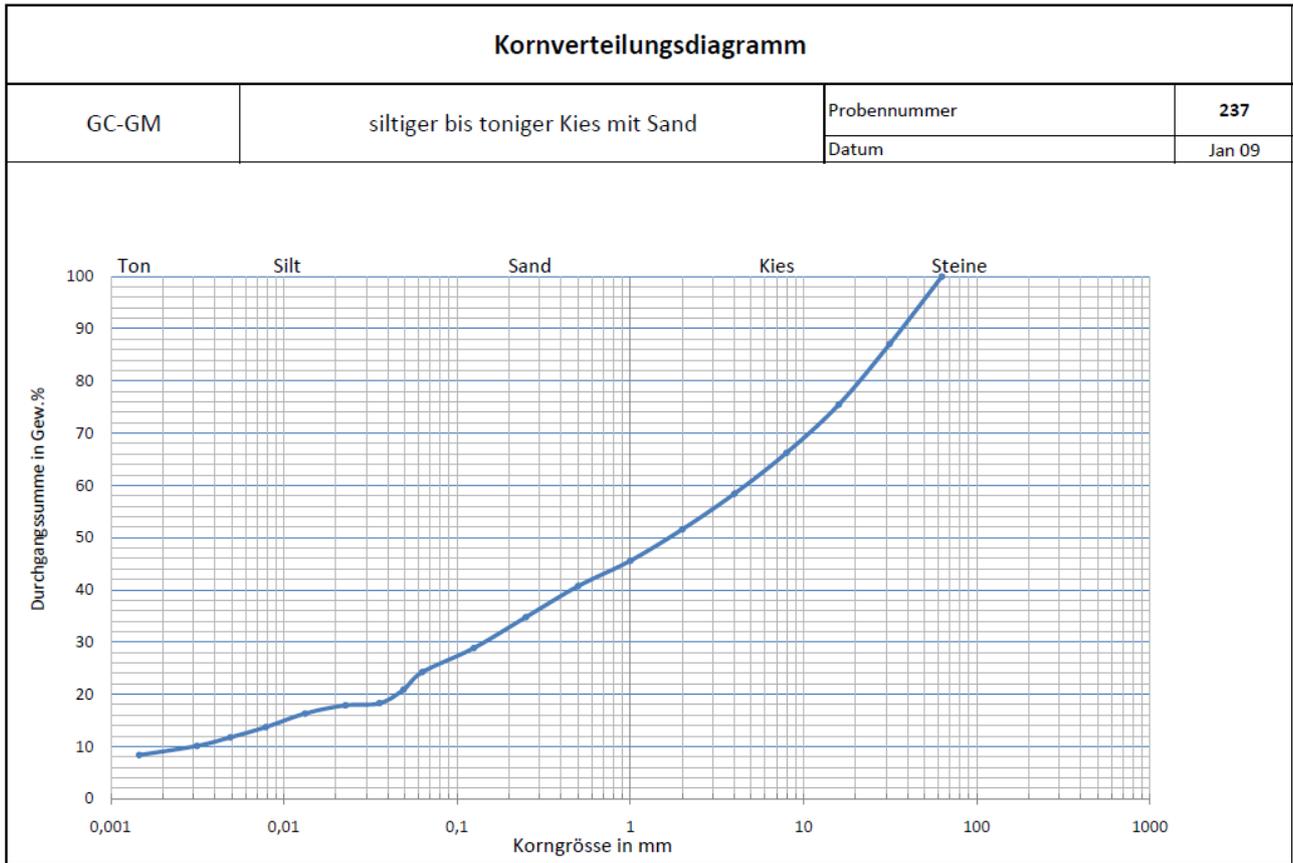
<b>Klassifikation USCS</b>				
<b>Ungleichförmigkeitsgrad</b>	<b><math>C_{ud}=D_{60}/D_{10}</math></b>	Probe	<b>276</b>	
<b>Krümmung</b>	<b><math>C_{cd}=D_{30}^2/(D_{10}*D_{60})</math></b>	Datum	Dezember 08	
<b>Erforderliche Werte</b>				
Körngrösse bei 50 % [mm]		$D_{50} =$	0,1	
Durchgang bei 2 mm [%]			81,3	
Durchgang bei 0,06 mm [%]			50,5	
Körngrösse bei 60 % [mm]		$D_{60} =$	0,2	
Körngrösse bei 30 % [mm]		$D_{30} =$	0,0	
Körngrösse bei 10 % [mm]		$D_{10} =$	0,00	
Ungleichförmigkeitsgrad $C_{ud}$			190	
Krümmung $C_{cd}$			0,3	
Fließgrenze $W_L$ [%]			26,7	
Plastizitätsindex $I_p$ [%]			8,0	
<b>Klassifikationsresultat</b>				
<b>Symbol</b>		<b>Gruppe</b>		
<b>CL</b>		<b>sandiger siltiger Ton mit Kies</b>		
$D_{50}$ = Korngrösse, von welcher 50 % kleiner sind als D [mm].				
$D_{60}$ und alle anderen analog				

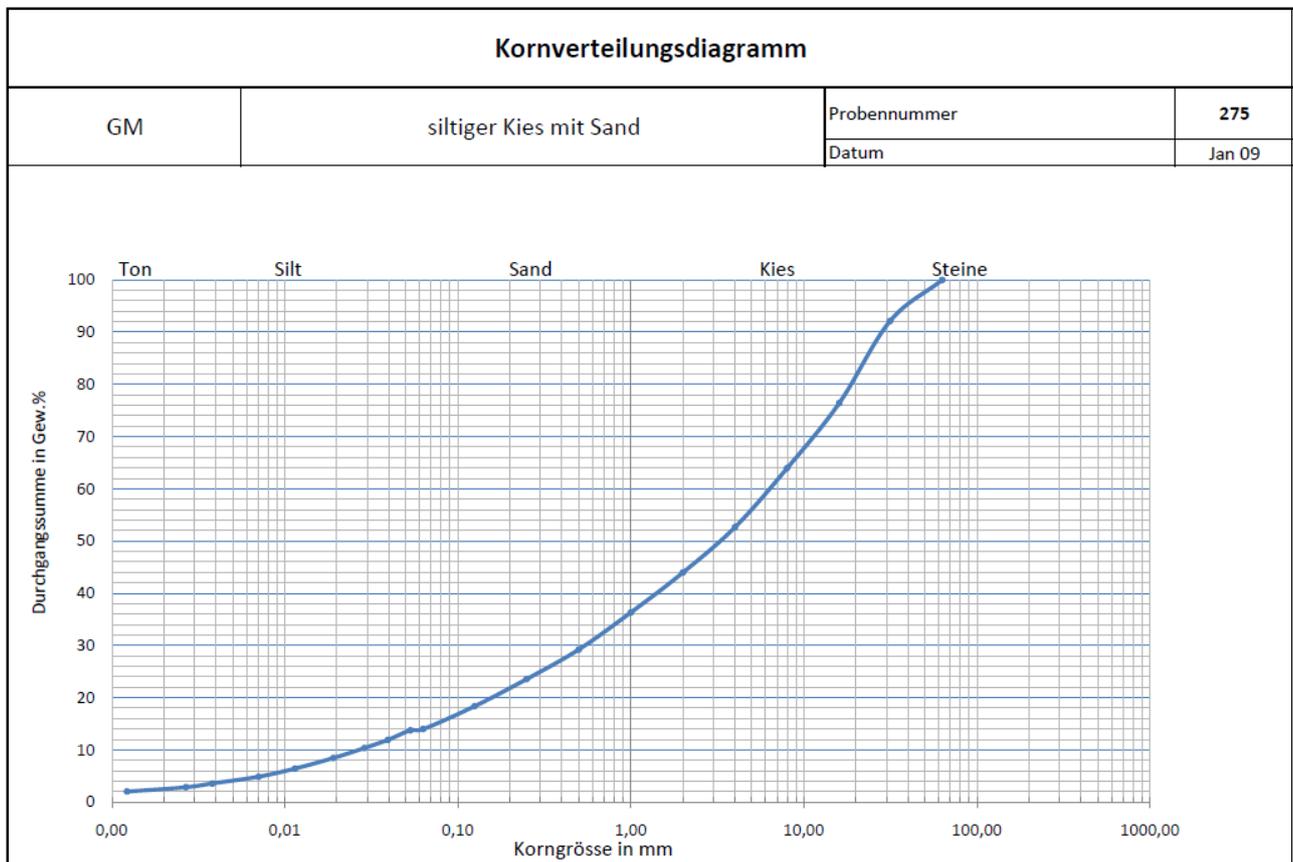
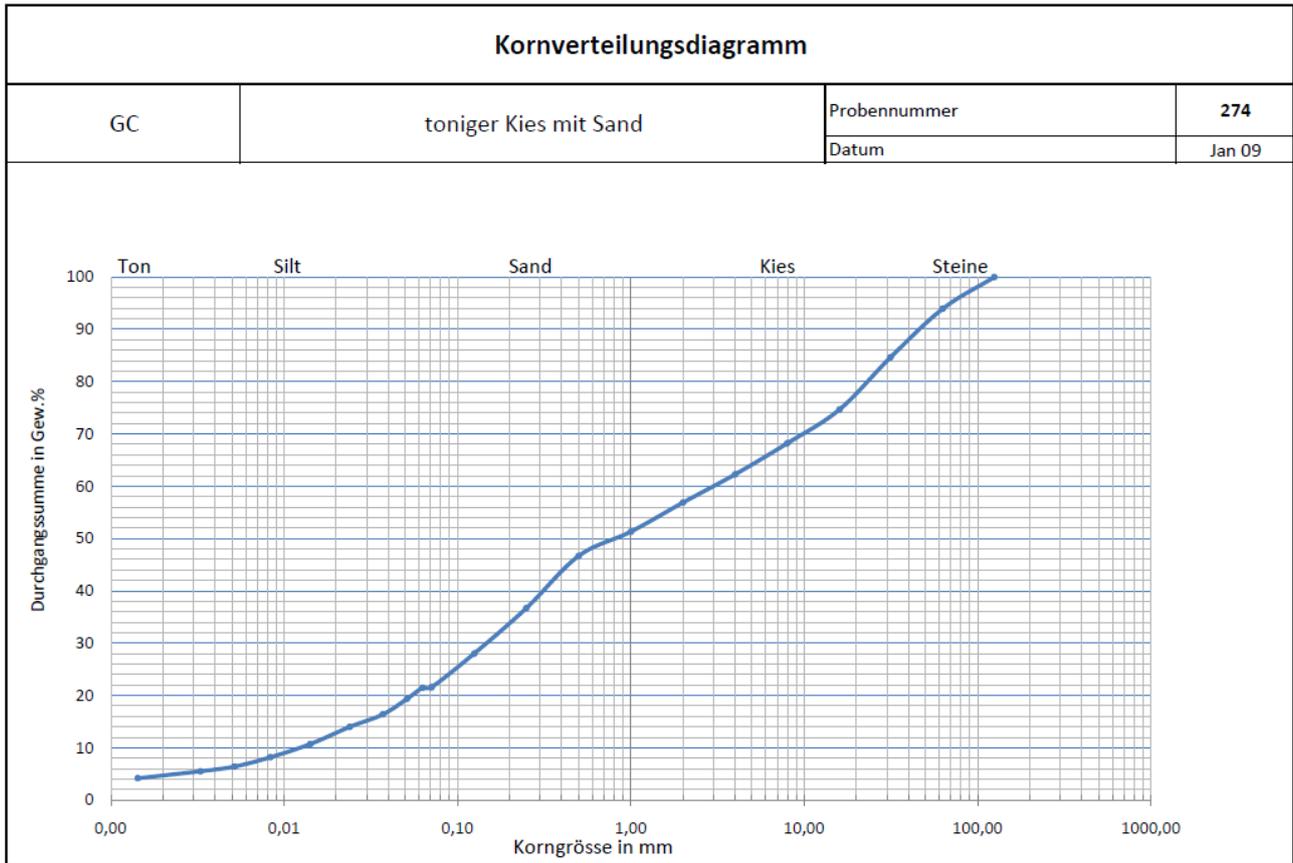
Klassifikation USCS				
Ungleichförmigkeitsgrad	C <sub>ud</sub> =D <sub>60</sub> /D <sub>10</sub>		Probe	274
Krümmung	C <sub>cd</sub> =D <sub>30</sub> <sup>2</sup> /(D <sub>10</sub> *D <sub>60</sub> )		Datum	Dezember 08
Erforderliche Werte				
Körngrösse bei 50 % [mm]		D <sub>50</sub> =	0,8	
Durchgang bei 2 mm [%]			56,9	
Durchgang bei 0,06 mm [%]			21,5	
Körngrösse bei 60 % [mm]		D <sub>60</sub> =	3,0	
Körngrösse bei 30 % [mm]		D <sub>30</sub> =	0,2	
Körngrösse bei 10 % [mm]		D <sub>10</sub> =	0,01	
Ungleichförmigkeitsgrad C <sub>ud</sub>			231	
Krümmung C <sub>cd</sub>			0,6	
Fließgrenze W <sub>L</sub> [%]			28,8	
Plastizitätsindex I <sub>p</sub> [%]			9,1	
Klassifikationsresultat				
Symbol		Gruppe		
GC		toniger Kies mit Sand		
D <sub>50</sub> = Korngrösse, von welcher 50 % kleiner sind als D [mm].				
D <sub>60</sub> und alle anderen analog				



# Kornverteilungskurven







### Kornverteilungsdiagramm

CL

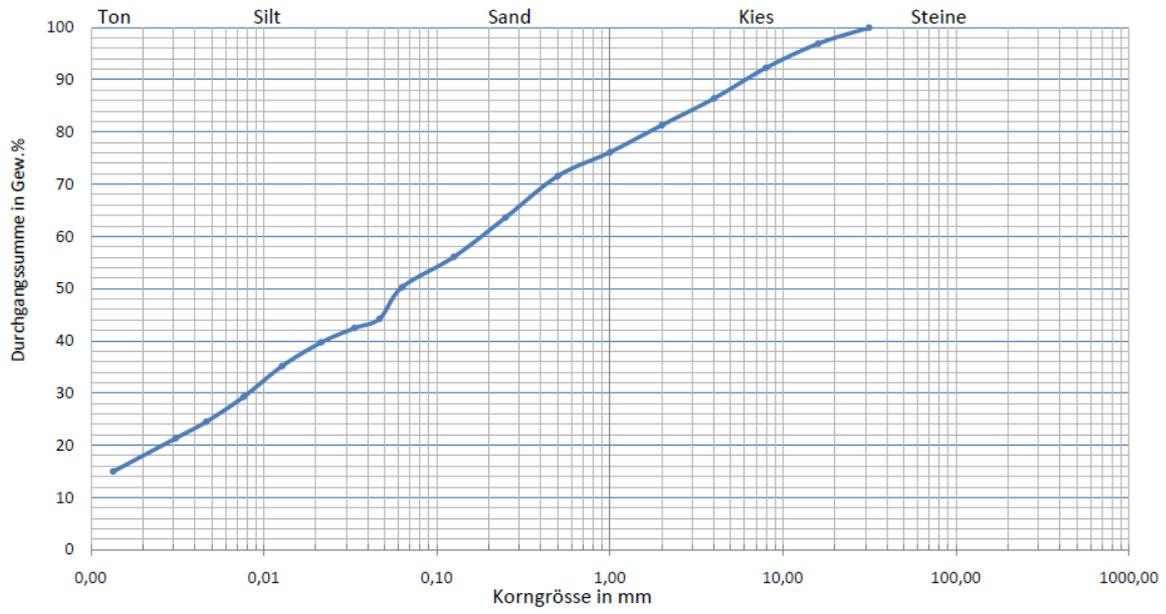
sanidger siltiger Ton mit Kies

Probennummer

276

Datum

Jan 09



# Scherdaten

Parameter für den Kreisringscherversuch und Auswertungsblätter

Kreisringscherversuch			
		Probe	alle
		Datum	Jan. - Juli 09
Versuch Nr. 1			
Konsolidierung		Scherparameter	
Mindestzeit min	1440	Tastzeit s	5
Normalspannung kN/m <sup>2</sup>	500	Normalspannung kN/m <sup>2</sup>	500
Belastungsänderung kN/m <sup>2</sup> /min	10	Vorschub mm/min	0,01
Setzung mm/Y	0	Scherweg mm	130
Y min	0	Probenfläche cm <sup>2</sup>	50
Entkonsolidierung min	0	Probenhöhe: mm	16
Versuch Nr. 2			
Konsolidierung		Scherparameter	
Mindestzeit min	1440	Tastzeit s	5
Normalspannung kN/m <sup>2</sup>	500	Normalspannung kN/m <sup>2</sup>	350
Belastungsänderung kN/m <sup>2</sup> / min	10	Vorschub mm/min	0,01
Setzung mm/Y	0	Scherweg mm	130
Y min	0	Probenfläche cm <sup>2</sup>	50
Entkonsolidierung min	0	Probenhöhe: mm	16
Versuch Nr. 3			
Konsolidierung		Scherparameter	
Mindestzeit min	1440	Tastzeit s	5
Normalspannung kN/m <sup>2</sup>	500	Normalspannung kN/m <sup>2</sup>	200
Belastungsänderung kN/m <sup>2</sup> / min	10	Vorschub mm/min	0,01
Setzung mm/Y	0	Scherweg mm	130
Y min	0	Probenfläche cm <sup>2</sup>	50
Entkonsolidierung min	0	Probenhöhe: mm	16

Die Konsolidations- und Scher/Spannungsdiagramme werden nur teilweise aufgezeigt, da die vorgefertigten Unterlagen des Computerprogrammes, welches automatisch die Auswertung der Scherversuche übernimmt, bei der Änderung der Probennummer- welche aufgrund von Schwierigkeiten am Gerät nötig waren- die zusammengehörenden Daten nicht mehr übernehmen konnte.

## Kreisringverscherversuch, Auswertungsblatt, 237

Wassergehalt Ein- und Ausbau %

$$w = ((M_1 - M_2) / M_2) * 100$$

Teilversuch Nr.	Glas	Tara	Gewicht vor Trocknung		Zwischenwägung		Diff. <0.5 %	M, Porenwasser (g)	W %
			Nr.	(g)	brutto (g)	netto(g) M <sub>1</sub>			
1	Einbau	237,1	34,36	109,98	75,62	96,58			
						96,58	62,22	0	13,4
1	Ausbau	237,1	34,11	190,02	155,91	165,95			
						165,94	131,83	0	24,08
2	Einbau	237,2	35,08	110,19	75,11	95,68			
						95,68	60,6	0	14,51
2	Ausbau	237,2	34,75	195,85	161,1	169,52			
						169,52	134,77	0	26,33
3	Einbau	237,2	34,81	136,95	102,14	118,8			
						118,8	83,99	0	18,15
3	Ausbau	237,3	34,35	194,29	159,94	167,58			
						167,59	133,24	0	26,7

Bestimmung der Ein- und Ausbaufeuchtmasse sowie der Trockenmasse (g)

Tv.	Brutto H1 und Probe	Tara H1	M1 von oben, Netto Probenrest	Einbau Feuchtmasse	Ausbau Feuchtmasse
	brutto (g)	(g)	(g)	netto (g)	netto(g)
1	393,45	152,47	75,62	165,36	155,91
2	396,75	152,47	75,11	169,17	161,1
3	419,69	152,47	102,14	165,08	159,94

Bestimmung der Ein- und Ausbaudichte (g/cm<sup>2</sup>)

Tv.	Einbau Feuchtmasse	Volumen	Dichte	Ausbau Feuchtmasse	Setzung	Ausbau Probe V	Dichte
	(g)	(cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	(g)	(mm)		(g/cm)
1	165,36	80,12	2,06	155,91	1,99	70,16	2,22
2	169,17	80,12	2,11	161,1	0,59	77,17	2,09
3	165,08	80,12	2,06	159,94	1,54	72,41	2,21

$$V = \pi * (r_{\text{ausßen}}^2 - r_{\text{innen}}^2) * h$$

h = 1.6 cm

r<sub>ausßen</sub> = 4.7 cm

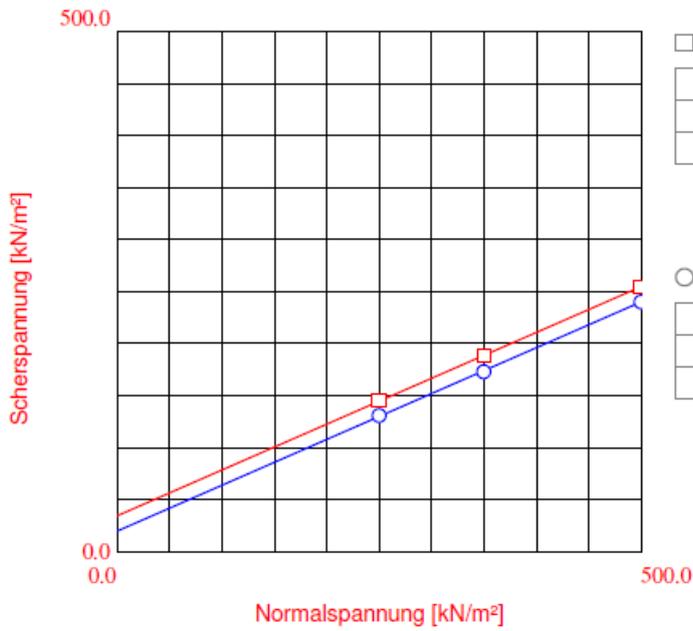
V Ausbau (cm<sup>3</sup>)

r<sub>innen</sub> = 2.48 cm

$$V = 50.0757 * ((16 - \text{Setzung (mm)}) / 10)$$

Scherspannung

500/350/200



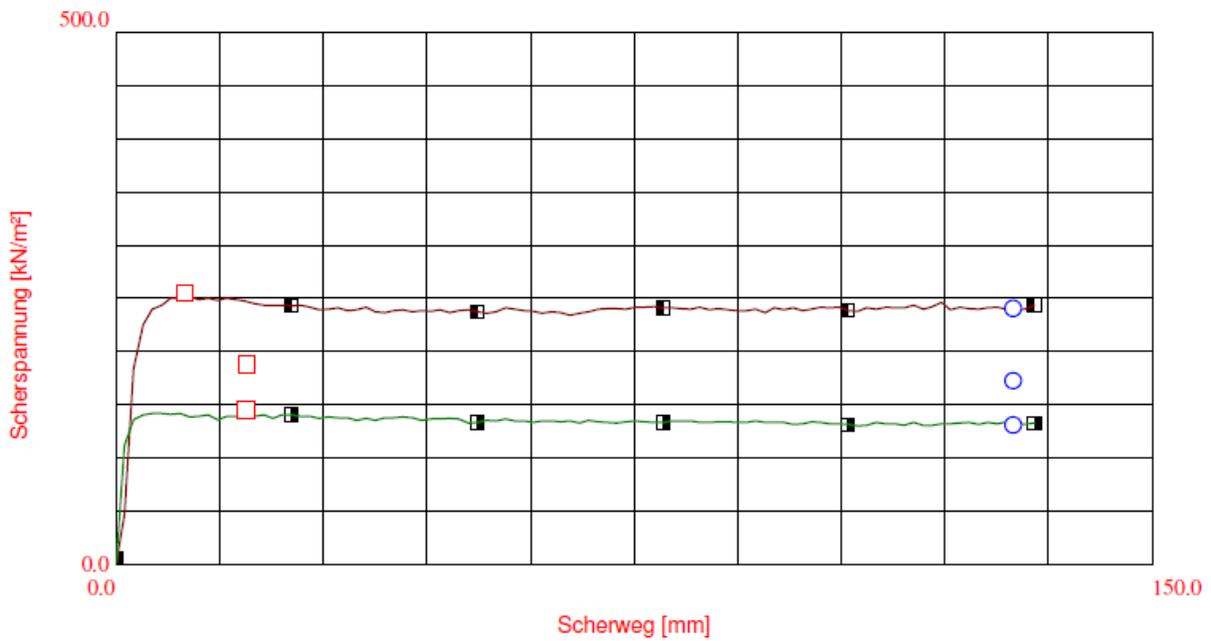
□ Bruchparameter

Reibungswinkel	23.69 [°]
Kohäsion	34.65 [kN/m²]
Korrelation	1.00

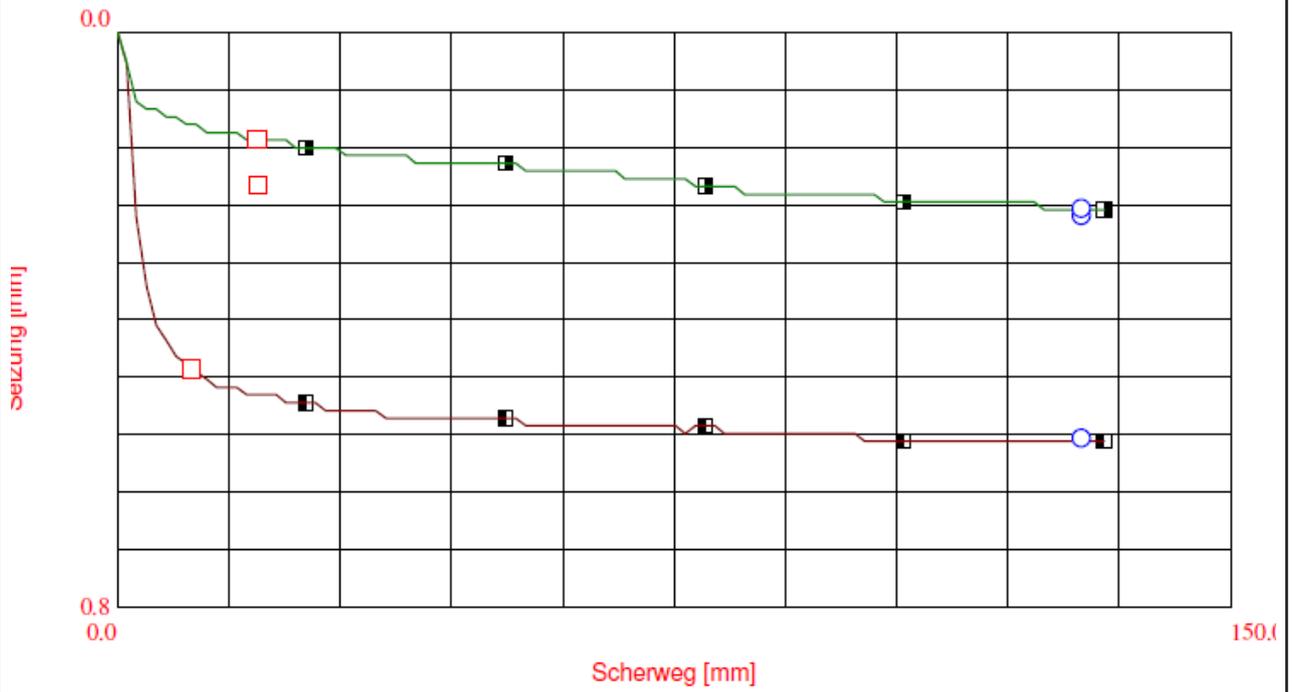
○ Restscherfestigkeit

Reibungswinkel	23.71 [°]
Kohäsion	19.78 [kN/m²]
Korrelation	1.00

Nr.	Normalspannung kN/m²		Bruchspannung kN/m²	Bruchweg mm	Restsf-Spannung kN/m²	Restsf-Weg mm
	Bruch	Restsf.				
2	350.0	350.0	187.41	19.07	172.07	130.00
1	500.0	500.0	254.34	10.00	239.98	130.00
3	250.0	250.0	144.82	18.86	130.46	130.00



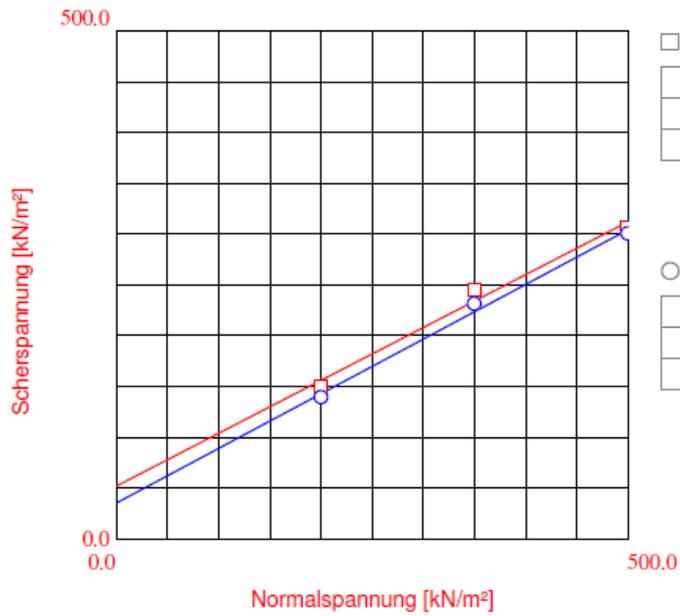
Nr.		Normalspannung kN/m²		Bruchfläche cm²	Bruchgeschw. mm/min	Restsf-Fläche cm²	Restsf-Geschw. mm/min
		Bruch	Restsf.				
2	■	350.0	350.0	50.00	0.01000	50.00	0.01000
1	■	500.0	500.0	50.00	0.01000	50.00	0.01000
3	■	250.0	250.0	50.00	0.01000	50.00	0.01000



Nr.	Normalspannung kN/m <sup>2</sup>		Setzung bei Bruch mm	Setzung bei Restsf. mm	Probenhöhe Scherbeginn mm	Maximale Setzung mm	
	Bruch	Restsf.					
2	■	350.0	350.0	0.20	0.24	15.41	0.25
1	■	500.0	500.0	0.44	0.53	16.00	0.54
3	■	250.0	250.0	0.14	0.23	14.46	0.24

## Kreisringscherversuch, Auswertungsblatt, 255

Wassergehalt Ein- und Ausbau %				$w = ((M_1 - M_2) / M_2) * 100$						
Teilversuch Nr.	Glas	Tara	Gewicht vor Trocknung		Zwischenwägung		Diff. <0.5	M, Porenwasser (g)	W	
	Nr.	(g)	brutto (g)	netto(g) M <sub>1</sub>	brutto (g)	netto (g) M <sub>2</sub>	%	(g)	%	
1	Einbau	255,1	35	95,1	60,1	77,85	42,85	0	17,25	40,26
						77,85	42,85			
	Ausbau	255,1	34,31	165,78	131,47	140,78	106,47	24,99	23,47	
						140,79	106,48			
2	Einbau	255,2	35,15	107,64	72,49	87,21	52,06	20,42	39,22	
						87,22	52,07			
	Ausbau	255,2	34	157,1	123,1	132,56	98,56	24,51	24,86	
						132,59	98,59			
3	Einbau	255,3	35,21	108,92	73,71	88,72	53,51	20,19	37,72	
						88,73	53,52			
	Ausbau	255,3	34,46	156,25	121,79	133,57	99,11	22,69	22,90	
						133,56	99,1			
Bestimmung der Ein- und Ausbaufeuchtmasse sowie der Trockenmasse (g)										
Tv.	Brutto H1 und Probe		Tara H1		M1 von oben, Netto Probenrest		Einbau Feuchtmasse		Ausbau Feuchtmasse	
	brutto (g)		(g)		(g)		netto (g)		netto(g)	
1	366,04		152,45		60,1		153,49		131,47	
2	366,32		152,45		72,49		141,38		123,1	
3	366,04		152,43		73,71		139,9		121,79	
Bestimmung der Ein- und Ausbaudichte (g/cm <sup>2</sup> )										
Tv.	Einbau Feuchtmasse		Volume n	Dichte	Ausbau Feuchtmasse		Setzung	Ausbau Probe V		Dichte
	(g)		(cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	(g)		(mm)	(cm <sup>3</sup> )		(g/cm <sup>3</sup> )
1	153,49		80,12	1,92	131,47		4,07	59,74		2,20
2	141,38		80,12	1,76	123,1		5,65	51,83		2,38
3	139,9		80,12	1,75	121,79		4,88	55,68		2,19
$V = \pi * (r_{\text{ausßen}}^2 - r_{\text{innen}}^2) * h$					h = 1.6 cm					
$r_{\text{ausßen}} = 4.7 \text{ cm}$					V Ausbau (cm <sup>3</sup> )					
$r_{\text{innen}} = 2.48 \text{ cm}$					$V = 50.0757 * ((16 - \text{Setzung (mm)}) / 10)$					
Scherspannung					500/350/200					



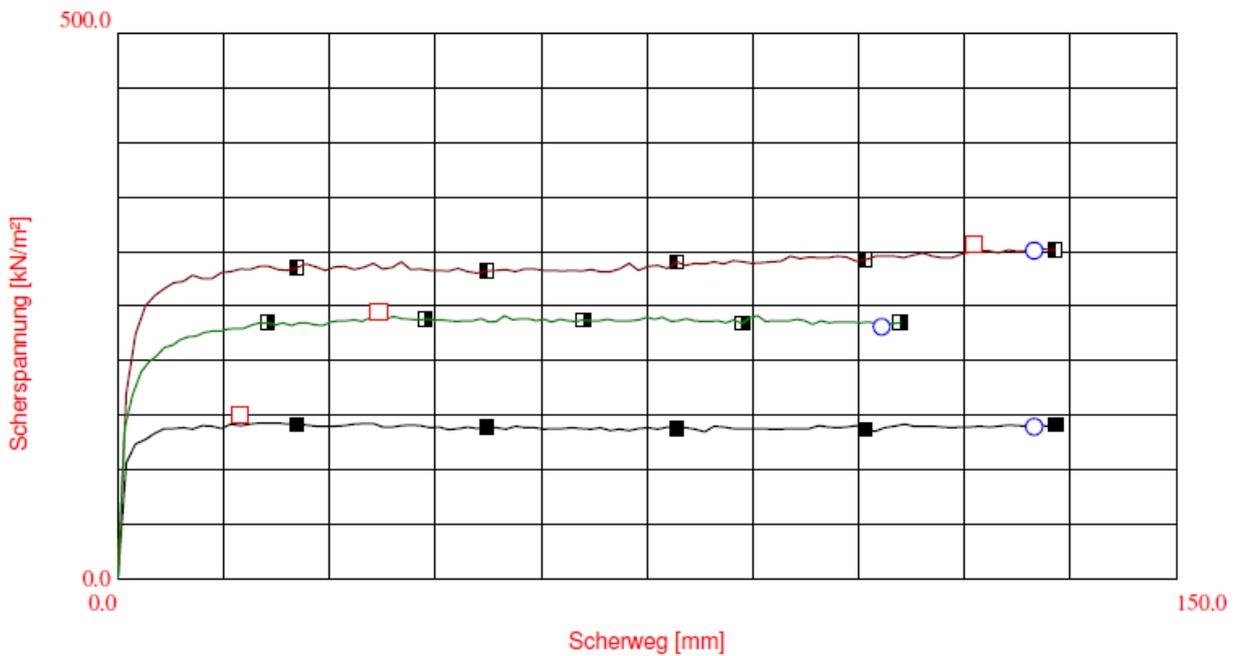
□ Bruchparameter

Reibungswinkel	27.48 [°]
Kohäsion	51.40 [kN/m <sup>2</sup> ]
Korrelation	0.99

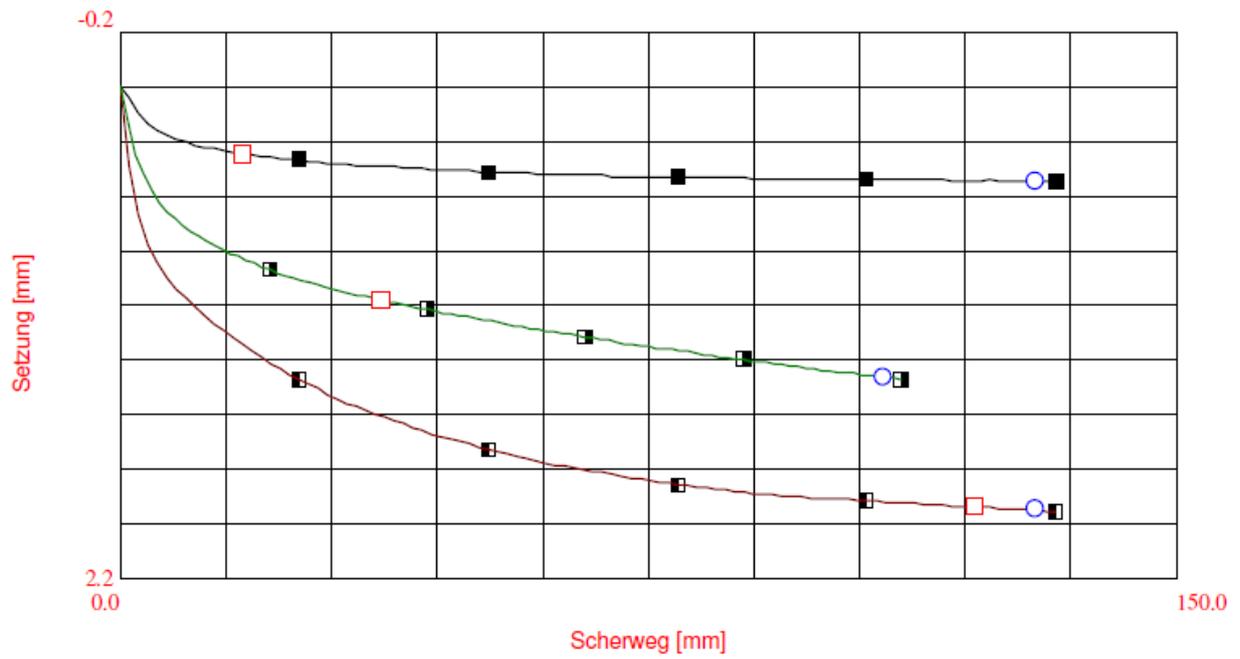
○ Restscherfestigkeit

Reibungswinkel	28.24 [°]
Kohäsion	35.29 [kN/m <sup>2</sup> ]
Korrelation	1.00

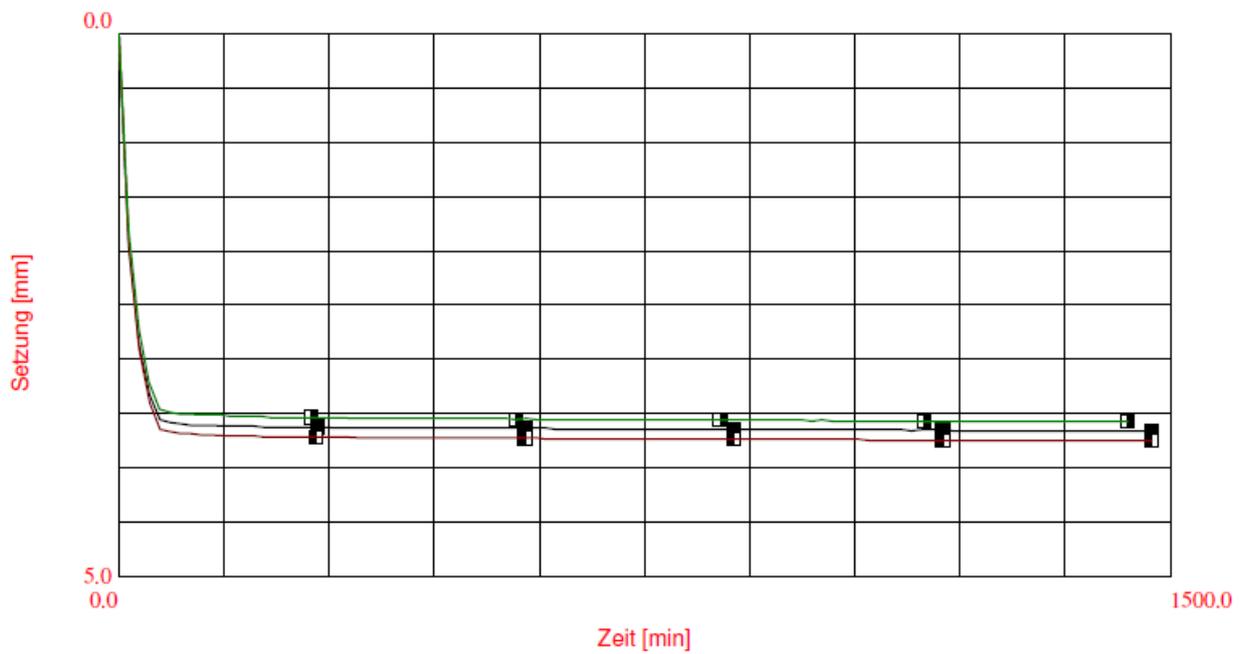
Nr.	Normalspannung kN/m <sup>2</sup>		Bruchspannung kN/m <sup>2</sup>	Bruchweg mm	Restsf-Spannung kN/m <sup>2</sup>	Restsf-Weg mm
	Bruch	Restsf.				
5	200.0	200.0	149.93	17.46	138.97	130.00
1	500.0	500.0	305.94	121.39	300.10	130.00
2	350.0	350.0	244.36	37.06	230.73	108.40



Nr.	Symbol	Normalspannung kN/m <sup>2</sup>		Bruchfläche cm <sup>2</sup>	Bruchgeschw. mm/min	Restsf-Fläche cm <sup>2</sup>	Restsf-Geschw. mm/min
		Bruch	Restsf.				
5	■	200.0	200.0	50.00	0.01000	50.00	0.01000
1	■	500.0	500.0	50.00	0.01000	50.00	0.01000
2	■	350.0	350.0	50.00	0.01000	50.00	0.01000



Nr.	Normalspannung kN/m <sup>2</sup>		Setzung bei Bruch mm	Setzung bei Restsf. mm	Probenhöhe Scherbeginn mm	Maximale Setzung mm	
	Bruch	Restsf.					
5	■	200.0	200.0	0.31	0.43	12.37	0.44
1	■	500.0	500.0	1.92	1.93	12.28	1.93
2	■	350.0	350.0	0.98	1.33	12.46	1.34



Nr.	Normalspannung kN/m <sup>2</sup>	Setzung mm	Konsolidierungsdauer min	Probenhöhe		
				zu Beginn mm	Ende mm	
5	■	500	3.63	1440	16.00	12.37
1	■	500	3.72	1440	16.00	12.28
2	■	500	3.54	1407	16.00	12.46

## Kreisringscherversuch, Auswertungsblatt, 274

Wassergehalt Ein- und Ausbau %

$$w = ((M_1 - M_2) / M_2) * 100$$

Teilversuch Nr.	Glas Nr.	Tara (g)	Gewicht vor Trocknung		Zwischenwägung		Diff. <0.5 %	M, Porenwasser (g)	W %
			brutto (g)	netto (g) M <sub>1</sub>	brutto (g)	netto (g) M <sub>2</sub>			
1	Einbau	274,1	34,98	116,06	81,08	99,92	64,94		
						99,92	64,94	0	16,14
	Ausbau	274,1	34,83	181,81	146,98	157,02	122,19		
						157,03	122,2	0	24,78
8	Einbau	274,2	34,28	117,87	83,59	101,96	67,68		
						101,97	67,69	0	15,9
	Ausbau	274,2	35,02	184,44	149,42	160,2	125,18		
						160,2	125,18	0	24,24
	Einbau	274,5	34,83	114,26	79,43	97,83	63		
						97,81	62,98	0	16,45
	Ausbau	274,5	34,79	178,6	143,81	153,41	118,62		
						153,41	118,62	0	25,19

Bestimmung der Ein- und Ausbaufeuchtmasse sowie der Trockenmasse (g)

Tv.	Brutto H1 und Probe brutto (g)	Tara H1 (g)	M1 von oben, Netto Probenrest (g)	Einbau Feuchtmasse netto (g)	Ausbau Feuchtmasse netto (g)
1	389,47	152,4	81,08	155,99	146,98
2	396,5	152,4	83,59	160,51	149,42
8	385,19	152,4	79,43	153,36	143,81

Bestimmung der Ein- und Ausbaudichte (g/cm<sup>3</sup>)

Tv.	Einbau Feuchtmasse (g)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Dichte (g/cm <sup>3</sup> )	Ausbau Feuchtmasse (g)	Setzung (mm)	Ausbau Probe V (cm <sup>3</sup> )	Dichte (g/cm <sup>3</sup> )
1	155,99	80,12	1,95	146,98	2,6	67,10	2,19
2	160,51	80,12	2,00	149,42	1,5	72,61	2,06
3	153,36	80,12	1,91	143,81	2,6	67,10	2,14

$$V = \pi * (r_{\text{ausßen}}^2 - r_{\text{innen}}^2) * h$$

h = 1.6 cm

r<sub>ausßen</sub> = 4.7 cm

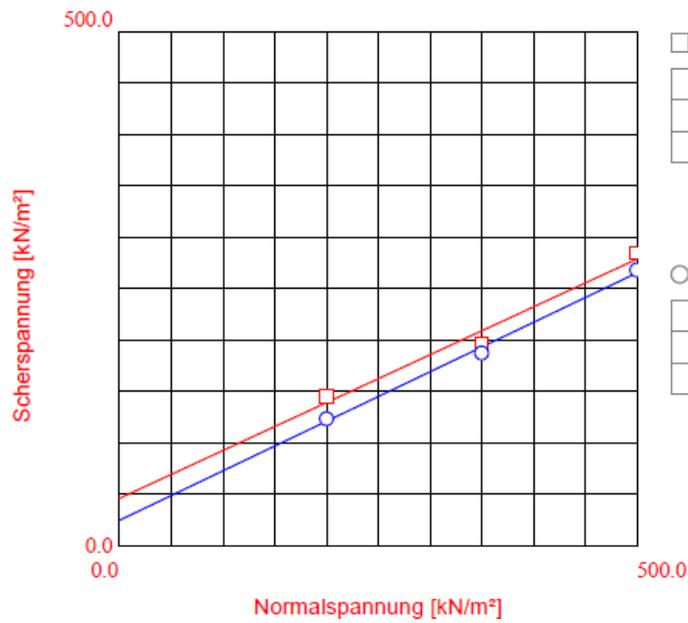
V Ausbau (cm<sup>3</sup>)

r<sub>innen</sub> = 2.48 cm

$$V = 50.0757 * ((16 - \text{Setzung (mm)}) / 10)$$

Scherspannung

500/350/200



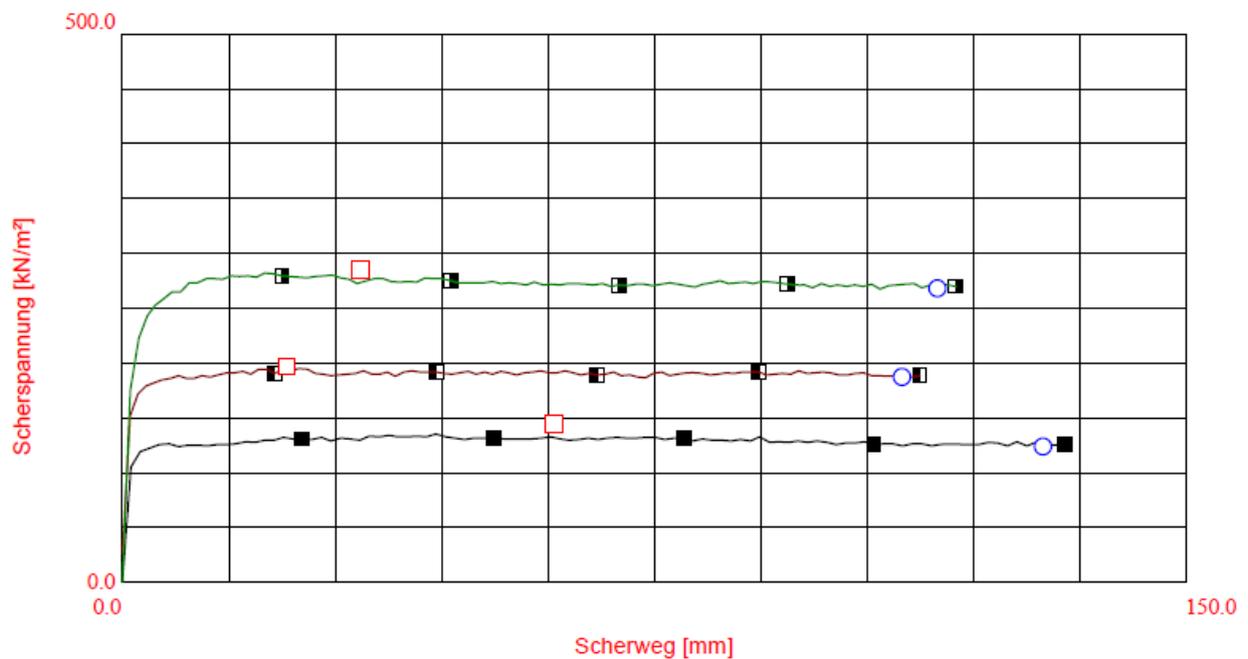
□ Bruchparameter

Reibungswinkel	24.97 [°]
Kohäsion	45.35 [kN/m²]
Korrelation	0.99

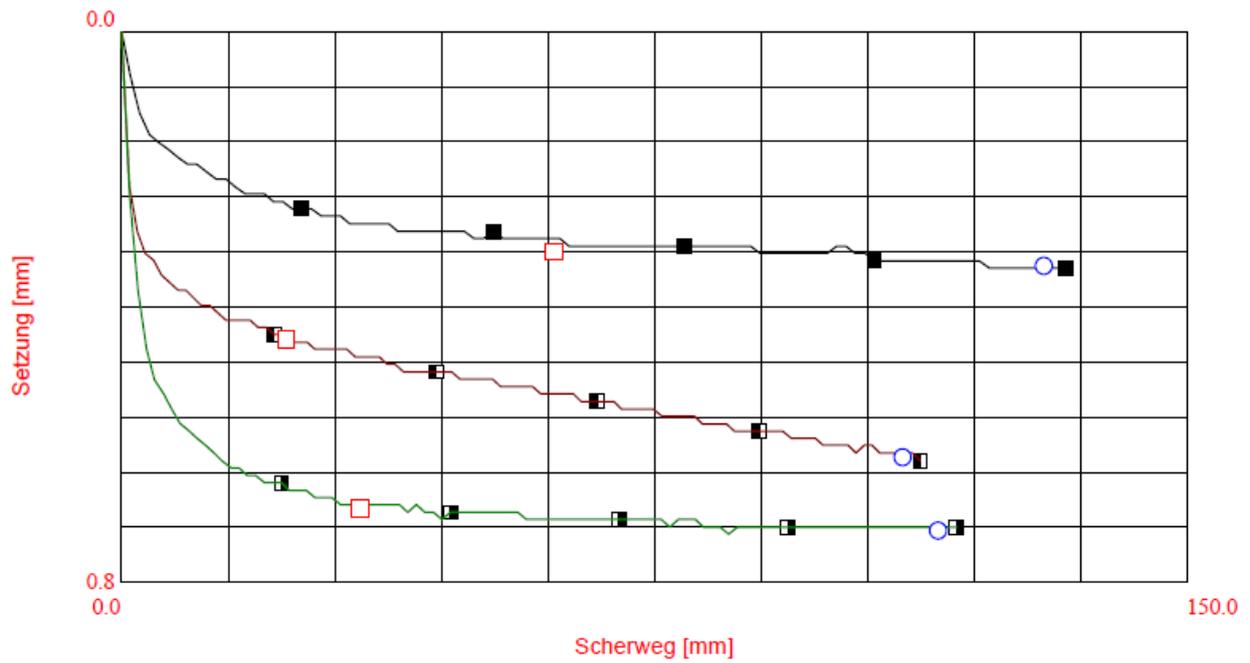
○ Restscherfestigkeit

Reibungswinkel	25.69 [°]
Kohäsion	24.14 [kN/m²]
Korrelation	1.00

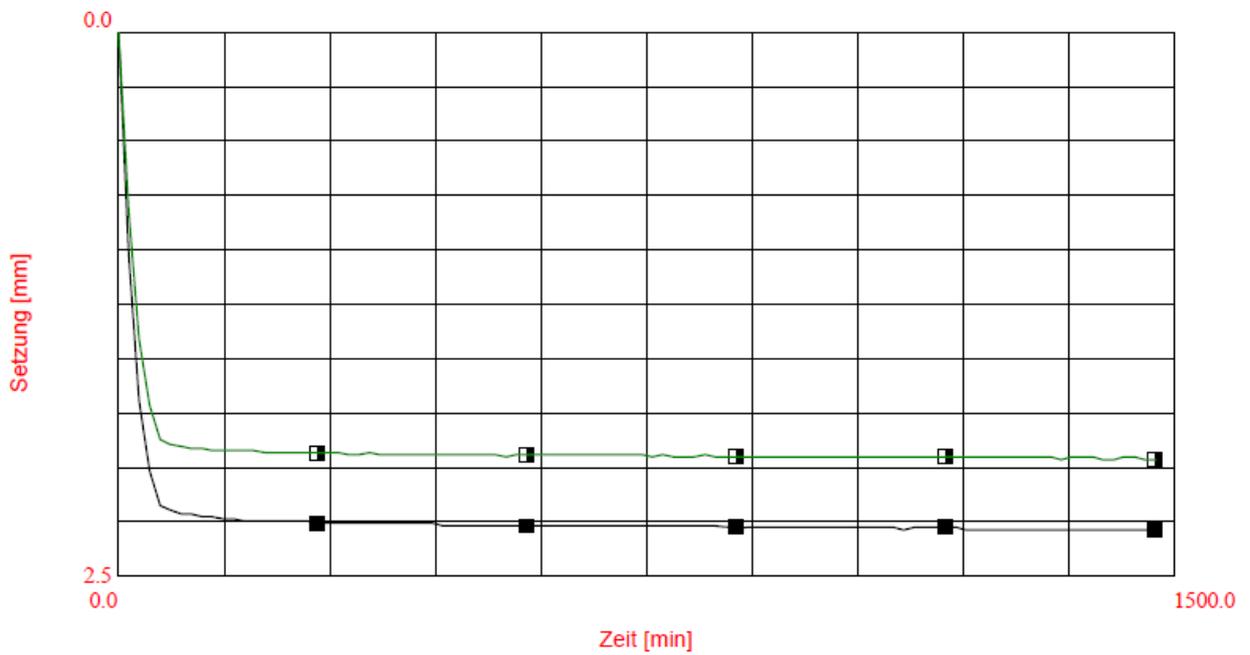
Nr.	Normalspannung kN/m²		Bruchspannung kN/m²	Bruchweg mm	Restsf-Spannung kN/m²	Restsf-Weg mm
	Bruch	Restsf.				
3	200.0	200.0	144.33	60.94	123.15	130.00
9	350.0	350.0	196.66	23.28	186.92	110.05
2	500.0	500.0	284.03	33.63	267.48	115.01



Nr.		Normalspannung kN/m²		Bruchfläche cm²	Bruchgeschw. mm/min	Restsf-Fläche cm²	Restsf-Geschw. mm/min
		Bruch	Restsf.				
3	■	200.0	200.0	50.00	0.01000	50.00	0.01000
9	■	350.0	350.0	50.00	0.01000	50.00	0.01000
2	■	500.0	500.0	50.00	0.01000	50.00	0.01000



Nr.	Normalspannung kN/m <sup>2</sup>		Setzung bei Bruch mm	Setzung bei Restsf. mm	Probenhöhe Scherbeginn mm	Maximale Setzung mm	
	Bruch	Restsf.					
3	■	200.0	200.0	0.30	0.32	13.73	0.32
9	■	350.0	350.0	0.42	0.58	16.22	0.58
2	■	500.0	500.0	0.65	0.68	14.05	0.69



Nr.	Normalspannung kN/m <sup>2</sup>	Setzung mm	Konsolidierungsdauer min	Probenhöhe		
				zu Beginn mm	Ende mm	
3	■	500	2.27	1440	16.00	13.73
9	■	500	-0.22	7	16.00	16.22
2	■	500	1.95	1440	16.00	14.05

## Kreisringverscherversuch, Auswertungsblatt, 275

Wassergehalt Ein- und Ausbau %

$$w = ((M_1 - M_2) / M_2) * 100$$

Teilversuch Nr.	Glas	Tara	Gewicht vor Trocknung		Zwischenwägung		Diff. <0.5 %	M, Porenwasser (g)	W %
			Nr.	(g)	brutto (g)	netto(g) M <sub>1</sub>			
1	Einbau	275,1	34,85	119,9	85,05	109,07	74,22		
						109,07	74,22	0	10,83
1	Ausbau	275,1	35,02	199,91	164,89	179,44	144,42		
						179,42	144,4	0	20,49
2	Einbau	275,2	35,14	116,61	81,47	106,86	71,72		
						106,88	71,74	0	9,73
2	Ausbau	275,2	35,13	211,11	175,98	190,5	155,37		
						190,52	155,39	0	20,59
3	Einbau	275,3	34,1	117,85	83,75	108,91	74,81		
						108,92	74,82	0	8,93
3	Ausbau	275,3	35,1	221,85	186,75	199,36	164,26		
						199,36	164,26	0	22,49

Bestimmung der Ein- und Ausbaufeuchtmasse sowie der Trockenmasse (g)

Tv.	Brutto H1 und Probe	Tara H1	M1 von oben, Netto Probenrest	Einbau Feuchtmasse	Ausbau Feuchtmasse
	brutto (g)	(g)	(g)	netto (g)	netto(g)
1	406,01	152,47	85,05	168,49	164,89
2	413,85	152,47	81,47	179,91	175,98
3	426,45	152,47	83,75	190,23	186,75

Bestimmung der Ein- und Ausbaudichte (g/cm<sup>3</sup>)

Tv.	Einbau Feuchtmasse	Volumen	Dichte	Ausbau Feuchtmasse	Setzung	Ausbau Probe V	Dichte
	(g)	(cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	(g)	(mm)		(g/cm)
1	168,49	80,12	2,10	164,89	1,29	73,66	2,24
2	179,91	80,12	2,25	175,98	0,46	77,82	2,26
3	190,23	80,12	2,37	186,75	0,11	79,57	2,35

$$V = \pi * (r_{\text{ausßen}}^2 - r_{\text{innen}}^2) * h$$

h = 1.6 cm

r<sub>ausßen</sub> = 4.7 cm

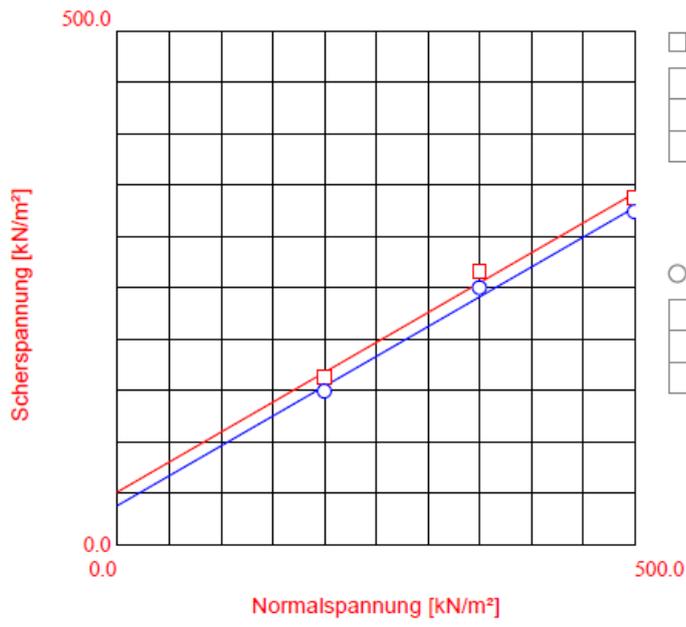
V Ausbau (cm<sup>3</sup>)

r<sub>innen</sub> = 2.48 cm

$$V = 50.0757 * ((16 - \text{Setzung (mm)}) / 10)$$

Scherspannung

500/350/200

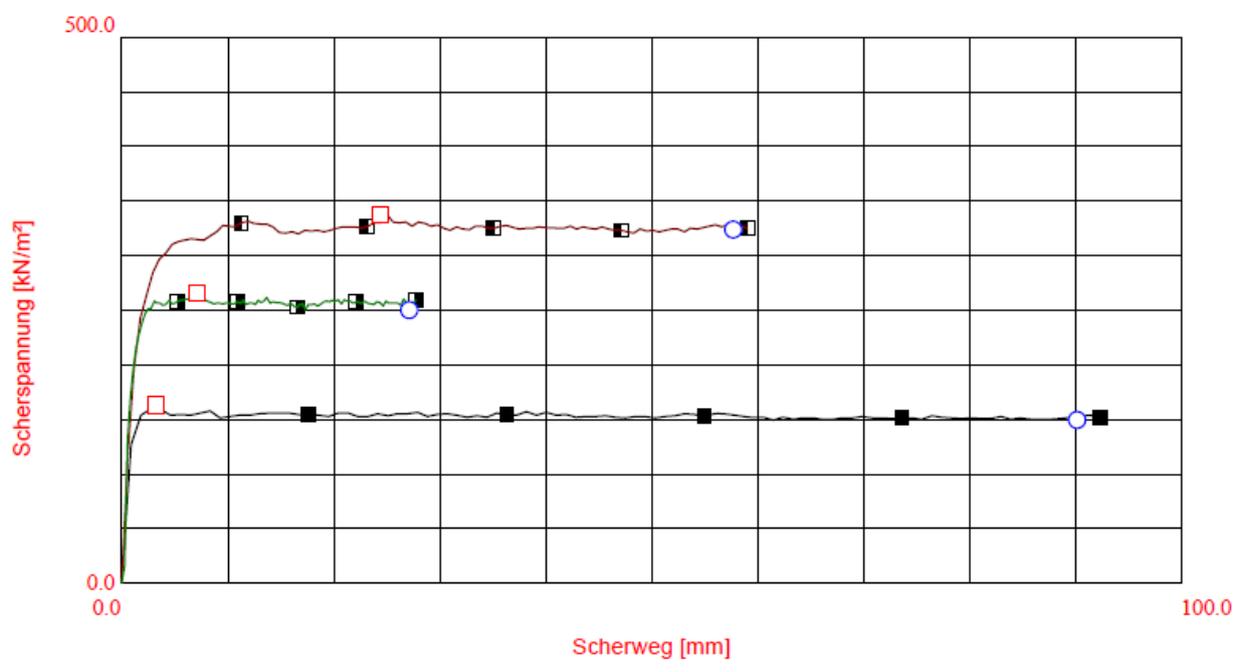


Bruchparameter	
Reibungswinkel	30.19 [°]
Kohäsion	51.07 [kN/m²]
Korrelation	0.99

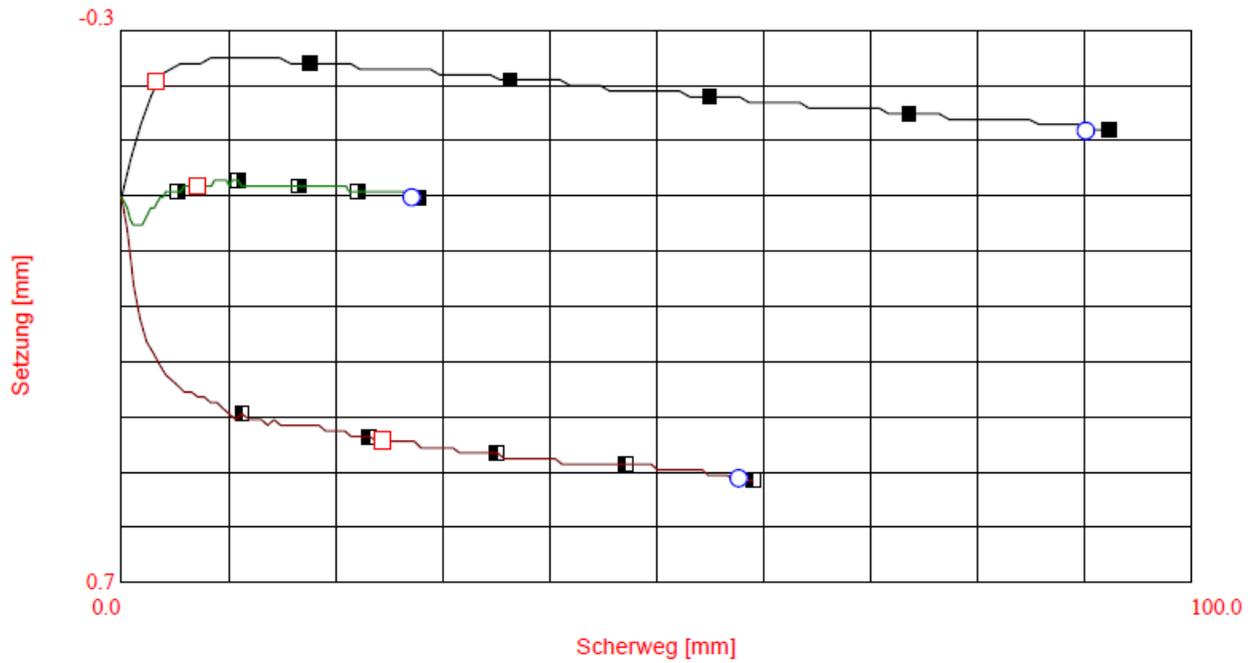
  

Restscherfestigkeit	
Reibungswinkel	30.15 [°]
Kohäsion	37.48 [kN/m²]
Korrelation	1.00

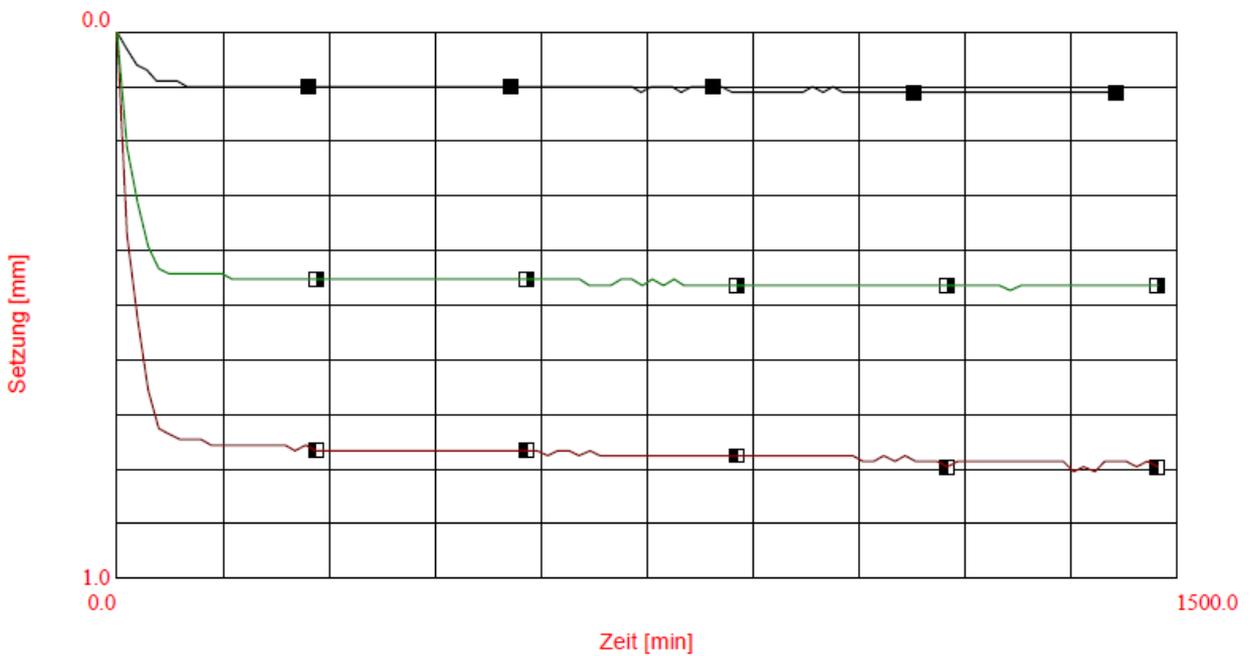
Nr.	Normalspannung kN/m²		Bruchspannung kN/m²	Bruchweg mm	Restsf-Spannung kN/m²	Restsf-Weg mm
	Bruch	Restsf.				
3	200.0	200.0	162.34	3.21	149.20	90.26
1	500.0	500.0	336.85	24.46	323.46	57.76
2	350.0	350.0	264.80	7.09	249.71	27.14



Nr.		Normalspannung kN/m²		Bruchfläche cm²	Bruchgeschw. mm/min	Restsf-Fläche cm²	Restsf-Geschw. mm/min
		Bruch	Restsf.				
3	■	200.0	200.0	50.00	0.01000	50.00	0.01000
1	■	500.0	500.0	50.00	0.01000	50.00	0.01000
2	■	350.0	350.0	50.00	0.01000	50.00	0.01000



Nr.	Normalspannung kN/m <sup>2</sup>		Setzung bei Bruch mm	Setzung bei Restsf. mm	Probenhöhe Scherbeginn mm	Maximale Setzung mm	
	Bruch	Restsf.					
3	■	200.0	200.0	-0.21	-0.12	15.89	0.00
1	■	500.0	500.0	0.44	0.51	15.21	0.52
2	■	350.0	350.0	-0.02	0.00	15.54	0.05



Nr.	Normalspannung kN/m <sup>2</sup>	Setzung mm	Konsolidierungsdauer min	Probenhöhe	
				zu Beginn mm	Ende mm
3	■	0.11	1379	16.00	15.89
1	■	0.79	1440	16.00	15.21
2	■	0.46	1439	16.00	15.54

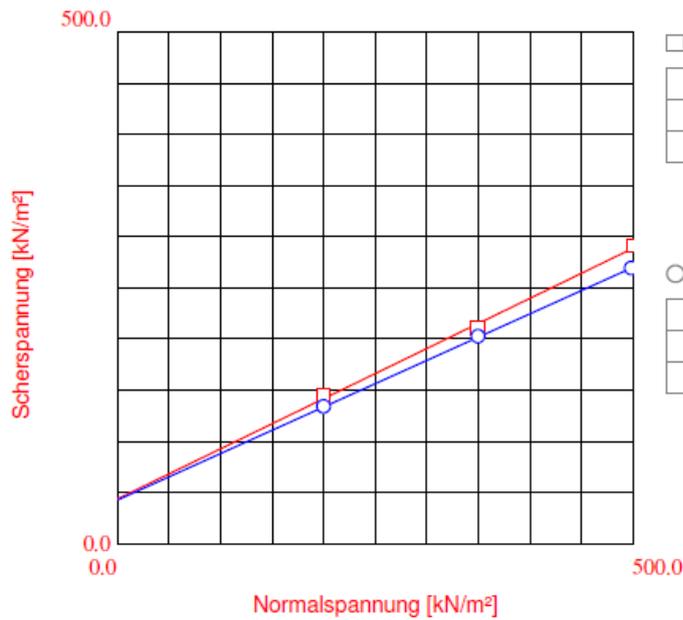
Parameter für den Kreisringscherversuch und Auswertungsblätter

Rahmenscherversuch			
		Probe	alle
		Datum	Jan. - Juli 09
Versuch Nr. 1			
Konsolidierung		Scherparameter	
Mindestzeit min	1440	Tastzeit s	5
Normalspannung kN/m <sup>2</sup>	500	Normalspannung kN/m <sup>2</sup>	500
Belastungsänderung kN/m <sup>2</sup> /min	10	Vorschub mm/min	0,01
Setzung mm/Y	0	Scherweg mm	20/25
Y min	0	Probenfläche cm <sup>2</sup>	40
Entkonsolidierung min	0	Probenhöhe: mm	20
Versuch Nr. 2			
Konsolidierung		Scherparameter	
Mindestzeit min	1440	Tastzeit s	5
Normalspannung kN/m <sup>2</sup>	500	Normalspannung kN/m <sup>2</sup>	350
Belastungsänderung kN/m <sup>2</sup> /min	10	Vorschub mm/min	0,01
Setzung mm/Y	0	Scherweg mm	20/25
Y min	0	Probenfläche cm <sup>2</sup>	40
Entkonsolidierung min	0	Probenhöhe: mm	20
Versuch Nr. 3			
Konsolidierung		Scherparameter	
Mindestzeit min	1440	Tastzeit s	5
Normalspannung kN/m <sup>2</sup>	500	Normalspannung kN/m <sup>2</sup>	200
Belastungsänderung kN/m <sup>2</sup> /min	10	Vorschub mm/min	0,01
Setzung mm/Y	0	Scherweg mm	20/25
Y min	0	Probenfläche cm <sup>2</sup>	40
Entkonsolidierung min	0	Probenhöhe: mm	20

Die Konsolidations- und Scher/Spannungsdiagramme werden (wie beim Kreisringschergerät) nur teilweise aufgezeigt, da die vorgefertigten Unterlagen des Computerprogrammes, welches automatisch die Auswertung der Scherversuche übernimmt, bei der Änderung der Probennummer- welche aufgrund von Schwierigkeiten am Gerät nötig waren- die zusammengehörenden Daten nicht mehr übernehmen konnte.

## Rahmenscherversuch, Auswertungsblatt,

Datum:					Probe: 237				
Wassergehalt Ein- und Ausbau %					$w = ((M_1 - M_2) / M_2) * 100$				
Teilversuch Nr.	Glas	Tara	Gewicht vor Trocknung		Zwischenwägung		Diff. <0.5	M, Porenwasser (g)	W
	Nr.	(g)	brutto (g)	netto(g) $M_1$	brutto (g)	netto (g)	%	(g)	%
1	Einbau	237,3	35,1	52,36	17,26	48,85			
						48,85	13,75	0,00	3,5
	Ausbau	237,3	34,11	182,48	148,37	156,06			
						156,08	121,97	-0,01	26,4
2	Einbau	237,2	34,77	51,6	16,83	48,34			
						48,32	13,55	0,04	3,3
	Ausbau	237,2	34,77	182,24	147,47	157,72			
						157,2	122,43	0,33	25,0
3	Einbau	237,1	34,36	46,7	12,34	44,15			
						44,16	9,8	-0,02	2,5
	Ausbau	237,1	34,89	179,89	145	156,42			
						156,42	121,53	0,00	23,5
Bestimmung der Ein- und Ausbaufeuchtmasse sowie der Trockenmasse (g)									
Tv.	Brutto H1 und Probe		Tara H1	Einbau Feuchtmasse		Ausbau Feuchtmasse			
	brutto (g)		(g)	netto (g)		netto (g)			
1	239,24		83,94	155,3		148,37			
2	239,57		83,94	155,63		147,47			
3	241,84		83,94	157,9		145			
Bestimmung der Ein- und Ausbaudichte (g/cm <sup>2</sup> )									
Tv.	Einbau Feuchtmasse	Volume n	Dichte	Ausbau Feuchtmasse	Setzung	Ausbau Probe V		Dichte	
	(g)	(cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	(g)	(mm)	(cm)	(cm <sup>3</sup> )	(g/cm)	
1	155,3	80,08	1,94	148,37	3,5	0,35	37,01	4,01	
2	155,63	80,08	1,94	147,47	3,5	0,35	37,01	3,98	
3	157,9	80,08	1,97	145	1,5	0,15	41,50	3,49	
$V = \pi * r^2 * h$					$h = 2 \text{ cm}$				
$r = 3,57 \text{ cm}$					$V \text{ Ausbau (cm}^3\text{)}$				
$V_2 = \pi * r^2 * h$					$V_2 = \pi * r^2 * (h - \text{Setzung})$				



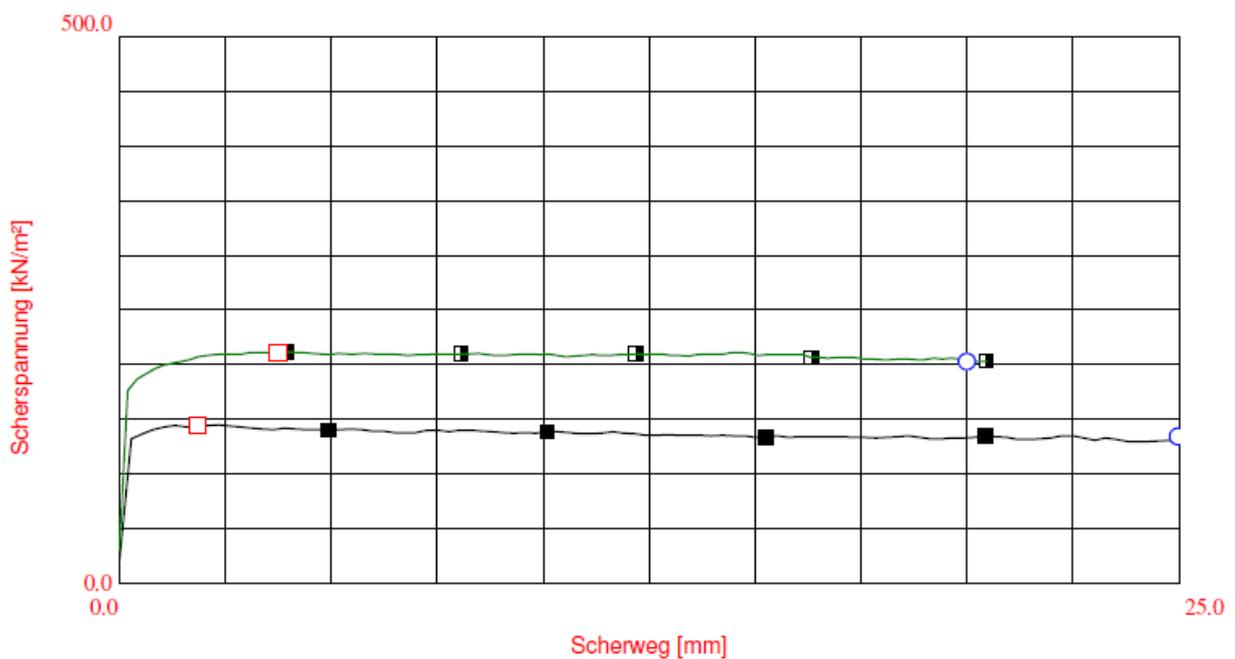
□ Bruchparameter

Reibungswinkel	26.06 [°]
Kohäsion	43.79 [kN/m <sup>2</sup> ]
Korrelation	1.00

○ Restscherfestigkeit

Reibungswinkel	24.46 [°]
Kohäsion	42.52 [kN/m <sup>2</sup> ]
Korrelation	1.00

Nr.	Normalspannung kN/m <sup>2</sup>		Bruchspannung kN/m <sup>2</sup>	Bruchweg mm	Restsf-Spannung kN/m <sup>2</sup>	Restsf-Weg mm
	Bruch	Restsf.				
3	200.0	200.0	144.04	1.86	133.34	25.00
5	501.1	499.0	291.25	9.47	269.32	20.00
2	349.9	350.1	210.09	3.76	202.11	20.00



Nr.		Normalspannung kN/m <sup>2</sup>		Bruchfläche cm <sup>2</sup>	Bruchgeschw. mm/min	Restsf-Fläche cm <sup>2</sup>	Restsf-Geschw. mm/min
		Bruch	Restsf.				
3	■	200.0	200.0	40.00	0.01000	40.00	0.01000
5	■	501.1	499.0	40.00	0.01000	40.00	0.01000
2	■	349.9	350.1	40.00	0.01000	40.00	0.01000

## Rahmenscherversuch, Auswertungsblatt, 255

Datum: 24.02.-11.03

Probe: 255

Wassergehalt Ein- und Ausbau %

$$w = \frac{(M_1 - M_2)}{M_2} \cdot 100$$

Teilversuch Nr.	Glas Nr.	Tara (g)	Gewicht vor Trocknung		Zwischenwägung		Diff. <0.5 %	M, Porenwasser (g)	W %
			brutto (g)	netto(g) M <sub>1</sub>	brutto (g)	netto (g)			
1	Einbau	R255,1	34,31	50,57	16,26	46,15			
						46,12	11,81	0,07	4,5
	Ausbau	R255,1	34,19	164,61	130,42	137,18			
						137,18	102,99	0,00	27,4
2	Einbau	255,2	35,13	49,98	14,85	45,9			
						45,91	10,78	-0,02	4,1
	Ausbau	R255,2	34,97	161,34	126,37	135,28			
						135,28	100,31	0,00	26,1
3	Einbau	R255,3	35,24	85,3	50,06	72,46			
						72,45	37,21	0,01	12,9
	Ausbau	R255,3	35,1	165,42	130,32	138,01			
						138	102,9	0,01	27,4

Bestimmung der Ein- und Ausbaufeuchtmasse sowie der Trockenmasse (g)

Tv.	Ausstechring und Probe	Tara H1	Einbau Feuchtmasse	Ausbau Feuchtmasse
	brutto (g)	(g)	netto (g)	netto (g)
1	226,16	83,92	142,24	130,42
2	224,3	83,92	140,38	126,37
3	227,04	83,92	143,12	130,32

Bestimmung der Ein- und Ausbaudichte (g/cm<sup>2</sup>)

Tv.	Einbau Feuchtmasse	Volume n	Dichte	Ausbau Feuchtmasse	Setzung	Ausbau Probe V		Dichte
	(g)	(cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	(g)	(mm)	(cm)	(cm <sup>3</sup> )	(g/cm)
1	142,24	80,08	1,78	130,42	3,2	0,32	37,68	3,46
2	140,38	80,08	1,75	126,37	3	0,3	38,13	3,31
3	143,12	80,08	1,79	130,32	2,8	0,28	38,58	3,38

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

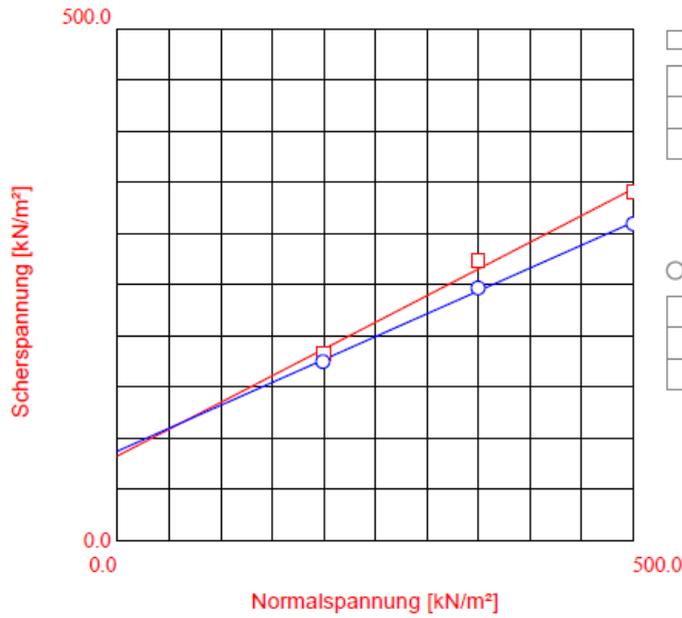
$$h = 2 \text{ cm}$$

$$r = 3,57 \text{ cm}$$

$$V \text{ Ausbau (cm}^3\text{)}$$

$$V_2 = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

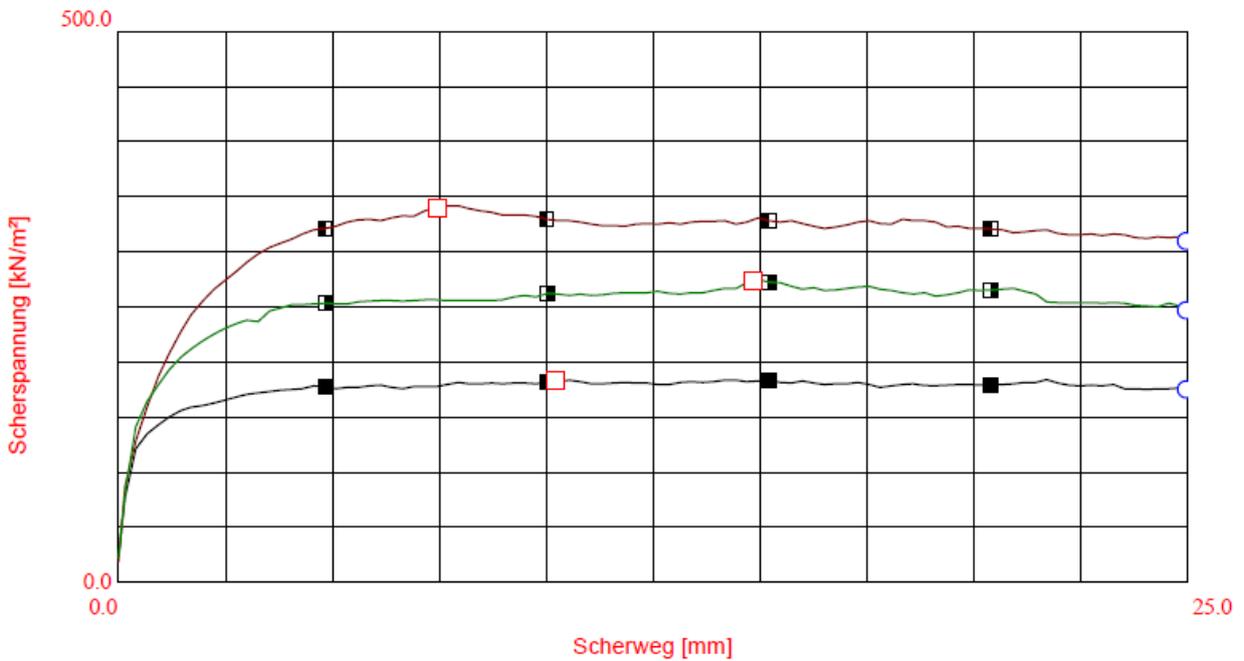
$$V_2 = \pi \cdot r^2 \cdot (h - \text{Setzung})$$



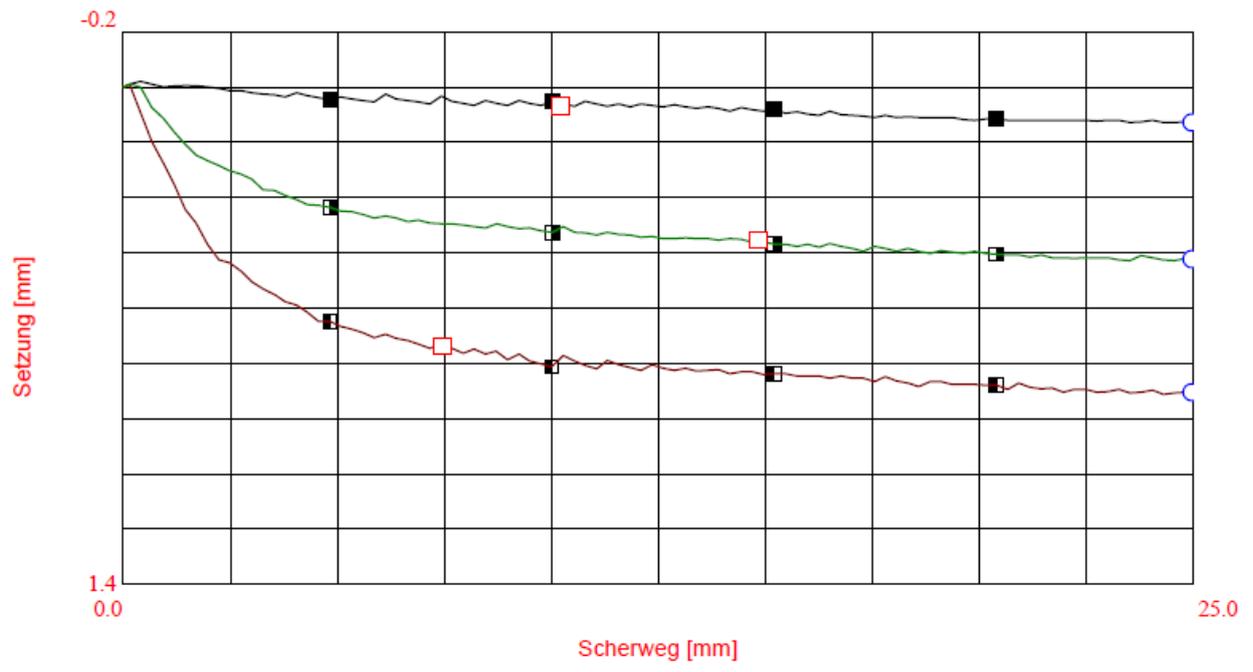
Bruchparameter	
Reibungswinkel	27.54 [°]
Kohäsion	82.27 [kN/m²]
Korrelation	1.00

Restscherfestigkeit	
Reibungswinkel	24.09 [°]
Kohäsion	86.71 [kN/m²]
Korrelation	1.00

Nr.	Normalspannung kN/m²		Bruchspannung kN/m²	Bruchweg mm	Restsf-Spannung kN/m²	Restsf-Weg mm
	Bruch	Restsf.				
4	200.2	200.0	182.66	10.22	174.49	25.00
1	500.7	501.0	339.35	7.48	309.10	25.00
3	350.5	350.1	273.04	14.86	246.56	25.00



Nr.	Normalstress kN/m²	Normalspannung kN/m²		Bruchfläche cm²	Bruchgeschw. mm/min	Restsf-Fläche cm²	Restsf-Geschw. mm/min
		Bruch	Restsf.				
4	200.2	200.0	40.00	0.01000	40.00	0.01000	
1	500.7	501.0	40.00	0.01000	40.00	0.01000	
3	350.5	350.1	40.00	0.01000	40.00	0.01000	



Nr.	Normalspannung kN/m <sup>2</sup>		Setzung bei Bruch mm	Setzung bei Restsf. mm	Probenhöhe Scherbeginn mm	Maximale Setzung mm
	Bruch	Restsf.				
4 ■	200.2	200.0	0.05	0.10	15.07	0.10
1 ■	500.7	501.0	0.71	0.83	20.00	0.84
3 ■	350.5	350.1	0.42	0.47	20.00	0.47

## Rahmenscherversuch, Auswertungsblatt, 274

Datum: 24.03-

Probe: 274

Wassergehalt Ein- und Ausbau %

$$w = ((M_1 - M_2) / M_2) * 100$$

Teilversuch Nr.	Glas	Tara	Gewicht vor Trocknung		Zwischenwägung		Diff. <0.5 %	M, Porenwasser (g)	W %
			Nr.	(g)	brutto (g)	netto(g) M <sub>1</sub>			
1	Einbau	274,1	34,98	116,06	81,08	99,92	64,94		
						99,92	64,94	0,00	16,1
	Ausbau	274,1	35,02	186,27	151,25	163,07			
						162,07	127,05	0,62	24,2
4	Einbau	274,2	34,28	117,87	83,59	101,96	67,68		
						101,97	67,69	0,00	15,9
	Ausbau	274,4	35	184,9	149,9	158,03			
						158,07	123,07	-0,03	26,8
5	Einbau	274,5	34,17	48,42	14,25	45,62			
						45,63	11,46	-0,02	2,8
	Ausbau	274,5	34,73	188,28	153,55	160,87			
						160,87	126,14	0,00	27,4

Bestimmung der Ein- und Ausbaufeuchtmasse sowie der Trockenmasse (g)

Tv.	Brutto H1 und Probe	Tara H1	Einbau Feuchtmasse	Ausbau Feuchtmasse
	brutto (g)	(g)	netto (g)	netto (g)
1	243,04	83,92	159,12	151,25
4	238,96	83,92	155,04	149,9
5	242,85	83,92	158,93	153,55

Bestimmung der Ein- und Ausbaudichte (g/cm<sup>2</sup>)

Tv.	Einbau Feuchtmasse	Volume n	Dichte	Ausbau Feuchtmasse	Setzung	Ausbau Probe V		Dichte
	(g)	(cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	(g)	(mm)	(cm)	(cm <sup>3</sup> )	(g/cm)
1	159,12	80,08	1,99	151,25	3,29	0,329	37,48	4,04
4	155,04	80,08	1,94	149,9	3,4	0,34	37,24	4,03
5	158,93	80,08	1,98	153,55	2,88	0,288	38,40	4,00

$$V = \pi * r^2 * h$$

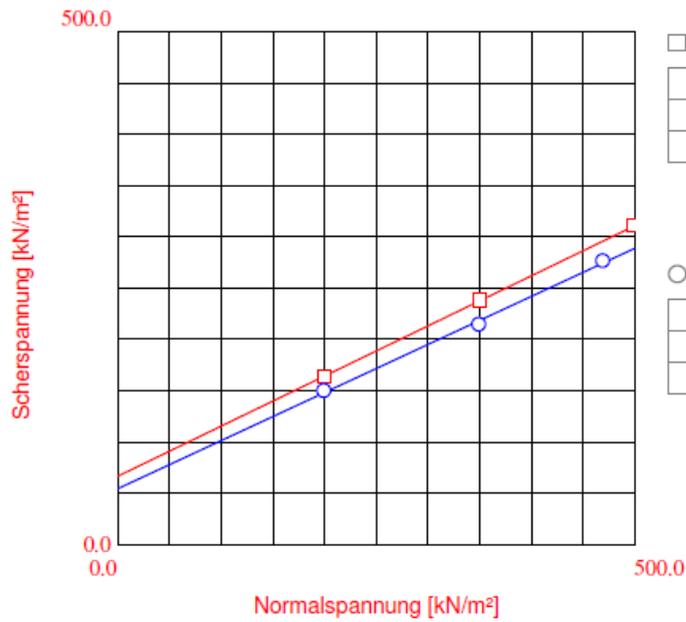
$$h = 2 \text{ cm}$$

$$r = 3,57 \text{ cm}$$

$$V \text{ Ausbau (cm}^3\text{)}$$

$$V_2 = \pi * r^2 * h$$

$$V_2 = \pi * r^2 * (h - \text{Setzung})$$



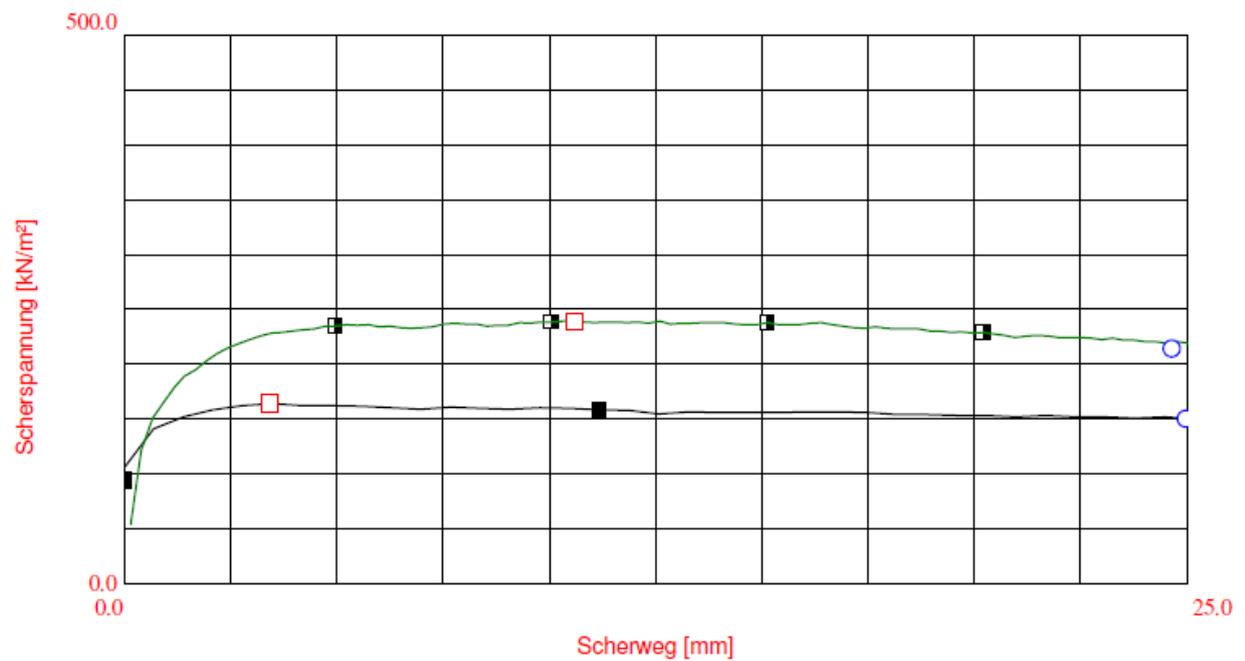
□ Bruchparameter

Reibungswinkel	26.04 [°]
Kohäsion	66.28 [kN/m²]
Korrelation	1.00

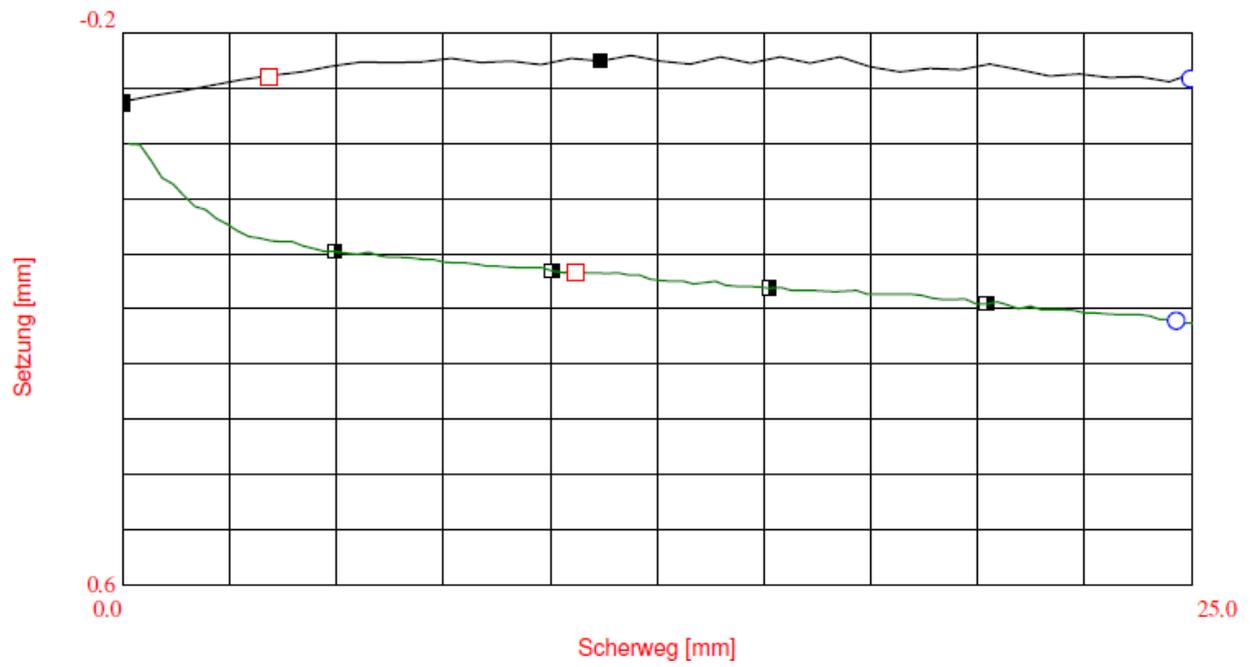
○ Restscherfestigkeit

Reibungswinkel	25.10 [°]
Kohäsion	54.14 [kN/m²]
Korrelation	1.00

Nr.	Normalspannung kN/m²		Bruchspannung kN/m²	Bruchweg mm	Restsf-Spannung kN/m²	Restsf-Weg mm
	Bruch	Restsf.				
5	200.0	200.0	163.69	3.44	149.60	25.00
1	500.4	469.5	310.46	7.80	276.32	16.78
4	350.0	349.8	237.90	10.61	214.10	24.66



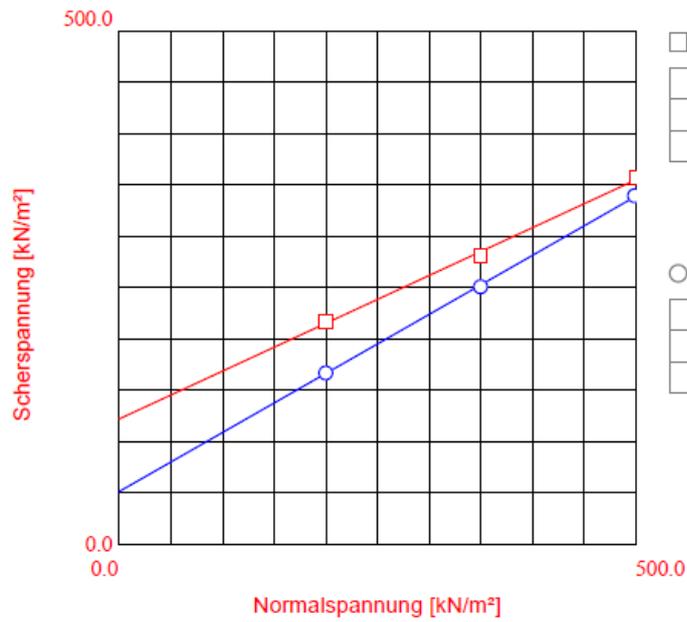
Nr.		Normalspannung kN/m²		Bruchfläche cm²	Bruchgeschw. mm/min	Restsf-Fläche cm²	Restsf-Geschw. mm/min
		Bruch	Restsf.				
5	■	200.0	200.0	40.00	0.01000	40.00	0.01000
1	■	500.4	469.5	40.00	0.01000	40.00	0.01000
4	■	350.0	349.8	40.00	0.01000	40.00	0.01000



Nr.	Normalspannung kN/m <sup>2</sup>		Setzung bei Bruch mm	Setzung bei Restsf. mm	Probenhöhe Scherbeginn mm	Maximale Setzung mm	
	Bruch	Restsf.					
5	■	200.0	200.0	-0.09	-0.09	17.12	0.00
1	■	500.4	469.5	0.35	0.40	16.71	0.41
4	■	350.0	349.8	0.17	0.24	19.96	0.24

## Rahmenscherversuch, Auswertungsblatt,

Datum:					Probe: 275				
Wassergehalt Ein- und Ausbau %					$w = ((M_1 - M_2) / M_2) * 100$				
Teilversuch Nr.	Glas	Tara	Gewicht vor Trocknung		Zwischenwägung		Diff. <0.5	M, Porenwasser (g)	W
	Nr.	(g)	brutto (g)	netto(g) $M_1$	brutto (g)	netto (g)	%	(g)	%
1	Einbau	275,1	34,85	119,9	85,05	109,07			
						109,07	74,22	0,00	10,8
	Ausbau	275,2	34,21	203,32	169,11	180,28			
						180,26	146,05	0,01	23,1
2	Einbau	275,2	35,14	116,61	81,47	106,86			
						103,88	68,74	2,87	12,7
	Ausbau	275,2	35,01	202,87	167,86	181,54			
						181,53	146,52	0,01	21,3
3	Einbau	275,3	34,1	117,85	83,75	108,91			
						108,92	74,82	-0,01	8,9
	Ausbau	275,3	34,81	204,3	169,49	184,14			
						184,14	149,33	0,00	20,2
Bestimmung der Ein- und Ausbaufeuchtmasse sowie der Trockenmasse (g)									
Tv.	Brutto H1 und Probe		Tara H1	Einbau Feuchtmasse		Ausbau Feuchtmasse			
	brutto (g)		(g)	netto (g)		netto (g)			
1	257,85		83,94	173,91		169,11			
2	253,83		83,94	169,89		167,86			
3	254,42		83,94	170,48		169,49			
Bestimmung der Ein- und Ausbaudichte (g/cm <sup>2</sup> )									
Tv.	Einbau Feuchtmasse	Volume n	Dichte	Ausbau Feuchtmasse	Setzung	Ausbau Probe V		Dichte	
	(g)	(cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	(g)	(mm)	(cm)	(cm <sup>3</sup> )	(g/cm)	
1	173,91	80,08	2,17	169,11	1,92	0,192	40,56	4,17	
2	169,89	80,08	2,12	167,86	1,85	0,185	40,71	4,12	
3	170,48	80,08	2,13	169,49	0,11	0,011	44,62	3,80	
$V = \pi * r^2 * h$					h = 2 cm				
r = 3,57cm					V Ausbau (cm <sup>3</sup> )				
$V_2 = \pi * r^2 * h$					$V_2 = \pi * r^2 * (h - \text{Setzung})$				



Bruchparameter

Reibungswinkel	24.96 [°]
Kohäsion	121.68 [kN/m²]
Korrelation	1.00

Restscherfestigkeit

Reibungswinkel	29.89 [°]
Kohäsion	50.71 [kN/m²]
Korrelation	1.00

Nr.	Normalspannung kN/m²		Bruchspannung kN/m²	Bruchweg mm	Restsf-Spannung kN/m²	Restsf-Weg mm
	Bruch	Restsf.				
1	501.1	499.9	357.12	18.36	338.75	25.00
2	350.1	350.1	280.11	5.40	250.40	25.00
3	200.2	200.1	217.09	3.01	166.49	25.00

## Rahmenscherversuch, Auswertungsblatt, 276

Datum: 13.03-24.03

Probe: 276

Wassergehalt Ein- und Ausbau %

$$w = ((M_1 - M_2) / M_2) * 100$$

Teilversuch Nr.	Glas Nr.	Tara (g)	Gewicht vor Trocknung		Zwischenwägung		Diff. <0.5 %	M, Porenwasser (g)	W %
			brutto (g)	netto (g) M <sub>1</sub>	brutto (g)	netto (g)			
1	Einbau	276,1	34,82	54,73	19,91	50,67			
						50,68	15,86	-0,02	4,1
	Ausbau	276,1	34,27	185,33	151,06	157,93			
						157,93	123,66	0,00	27,4
2	Einbau	276,2	34,11	52,66	18,55	48,87			
						48,87	14,76	0,00	3,8
	Ausbau	276,2	35,14	190,66	155,52	161,95			
						161,94	126,8	0,01	28,7
3	Einbau	276,3	34,41	50,87	16,46	47,55			
						47,54	13,13	0,02	3,3
	Ausbau	276,3	34,99	189,29	154,3	161,79			
						161,79	126,8	0,00	27,5

Bestimmung der Ein- und Ausbaufeuchtmasse sowie der Trockenmasse (g)

Tv.	Brutto H1 und Probe	Tara H1	Einbau Feuchtmasse	Ausbau Feuchtmasse
	brutto (g)	(g)	netto (g)	netto (g)
1	240,86	83,92	156,94	151,06
2	244,85	83,92	160,93	155,52
3	244,38	83,92	160,46	154,3

Bestimmung der Ein- und Ausbaudichte (g/cm<sup>2</sup>)

Tv.	Einbau Feuchtmasse	Volume n	Dichte	Ausbau Feuchtmasse	Setzung	Ausbau Probe V		Dichte
	(g)	(cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	(g)	(mm)	(cm)	(cm <sup>3</sup> )	(g/cm)
1	156,94	80,08	1,96	151,06	3,1	0,31	37,91	3,98
2	160,93	80,08	2,01	155,52	2,69	0,269	38,83	4,01
3	160,46	80,08	2,00	154,3	2,79	0,279	38,60	4,00

$$V = \pi * r^2 * h$$

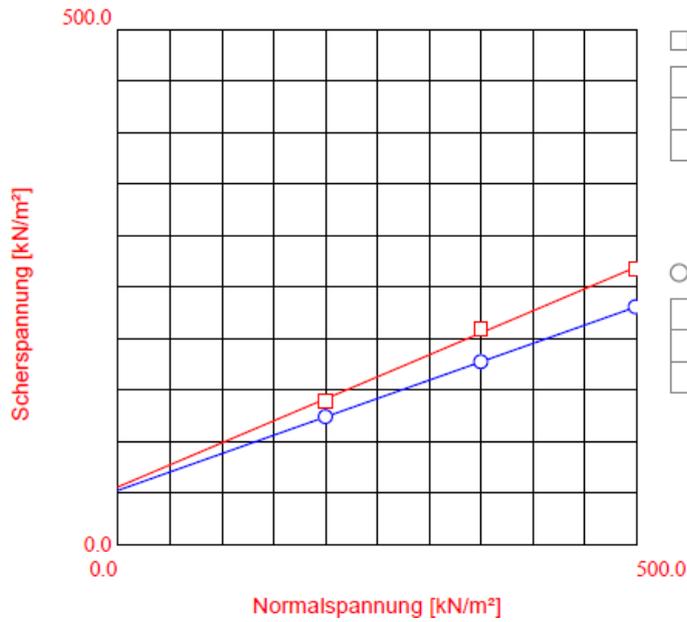
$$h = 2 \text{ cm}$$

$$r = 3,57 \text{ cm}$$

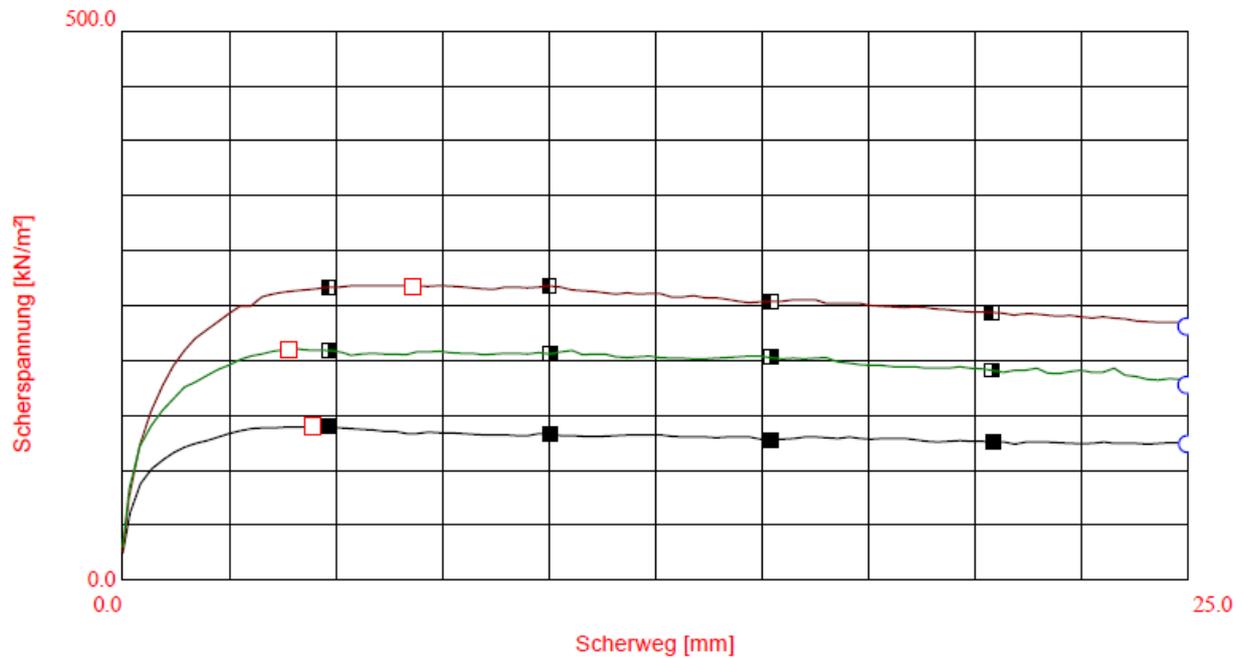
$$V \text{ Ausbau (cm}^3\text{)}$$

$$V_2 = \pi * r^2 * h$$

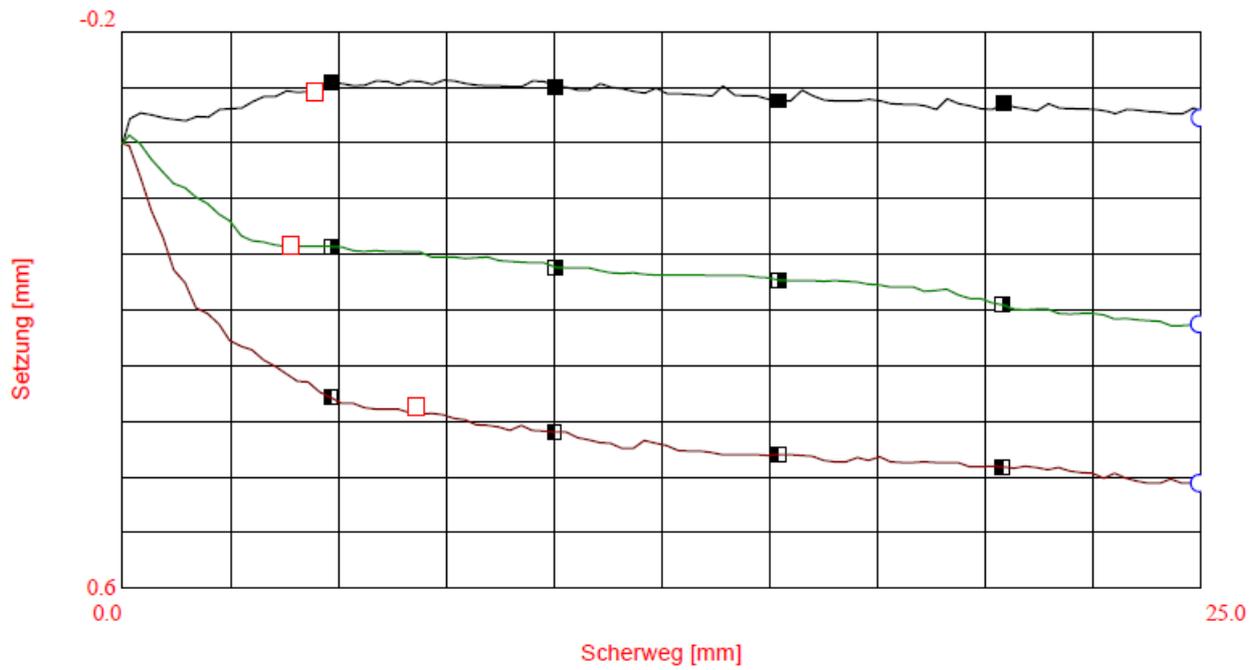
$$V_2 = \pi * r^2 * (h - \text{Setzung})$$



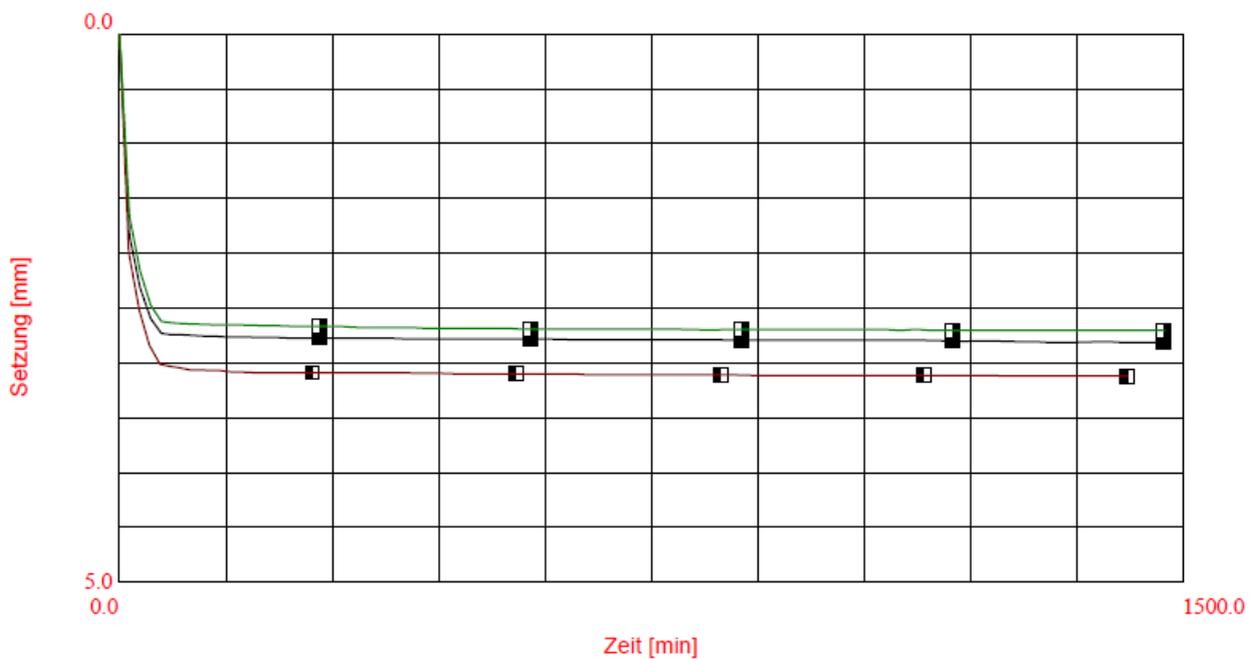
Nr.	Normalspannung kN/m²		Bruchspannung kN/m²	Bruchweg mm	Restsf-Spannung kN/m²	Restsf-Weg mm
	Bruch	Restsf.				
4	200.0	200.1	139.18	4.47	123.42	25.00
1	500.2	499.8	267.11	6.83	230.32	25.00
2	350.2	350.0	209.20	3.90	177.01	25.00



Nr.		Normalspannung kN/m²		Bruchfläche cm²	Bruchgeschw. mm/min	Restsf-Fläche cm²	Restsf-Geschw. mm/min
		Bruch	Restsf.				
4	■	200.0	200.1	40.00	0.01000	40.00	0.01000
1	■	500.2	499.8	40.00	0.01000	40.00	0.01000
2	■	350.2	350.0	40.00	0.01000	40.00	0.01000



Nr.	Normalspannung kN/m <sup>2</sup>		Setzung bei Bruch mm	Setzung bei Restsf. mm	Probenhöhe Scherbeginn mm	Maximale Setzung mm
	Bruch	Restsf.				
4 ■	200.0	200.1	-0.07	-0.03	17.21	0.00
1 ■	500.2	499.8	0.36	0.46	16.90	0.46
2 ■	350.2	350.0	0.14	0.24	17.31	0.24

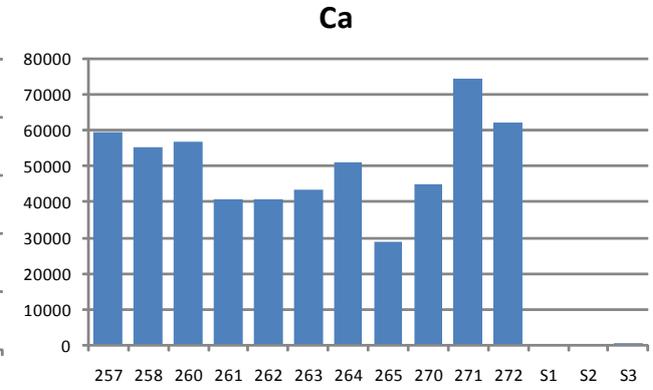
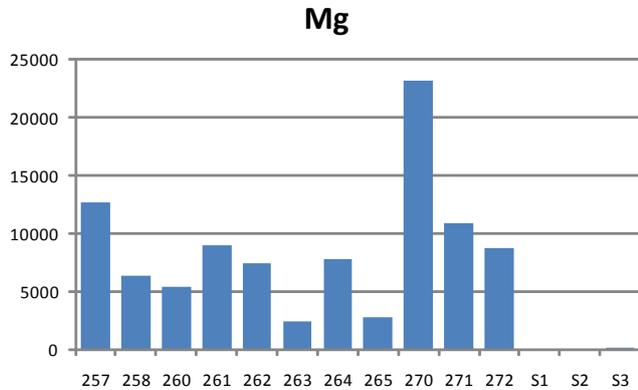
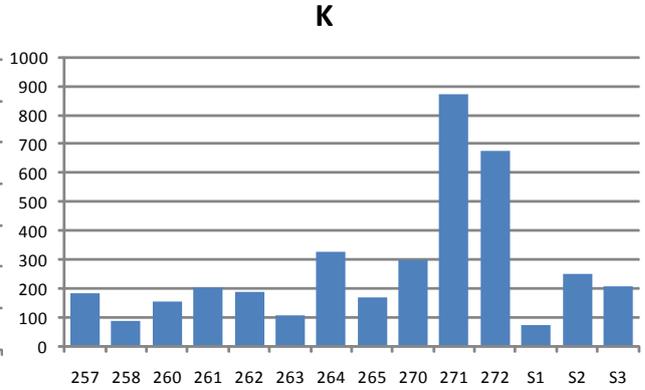
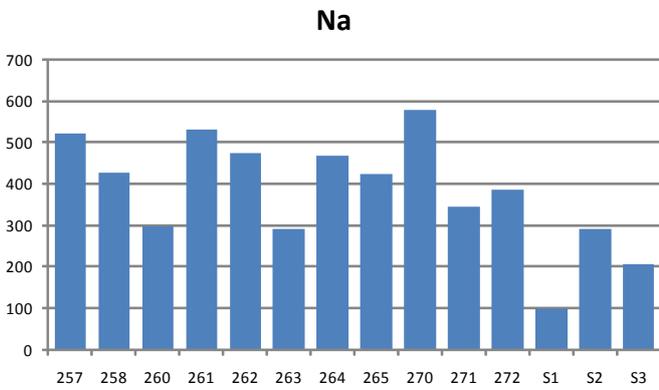
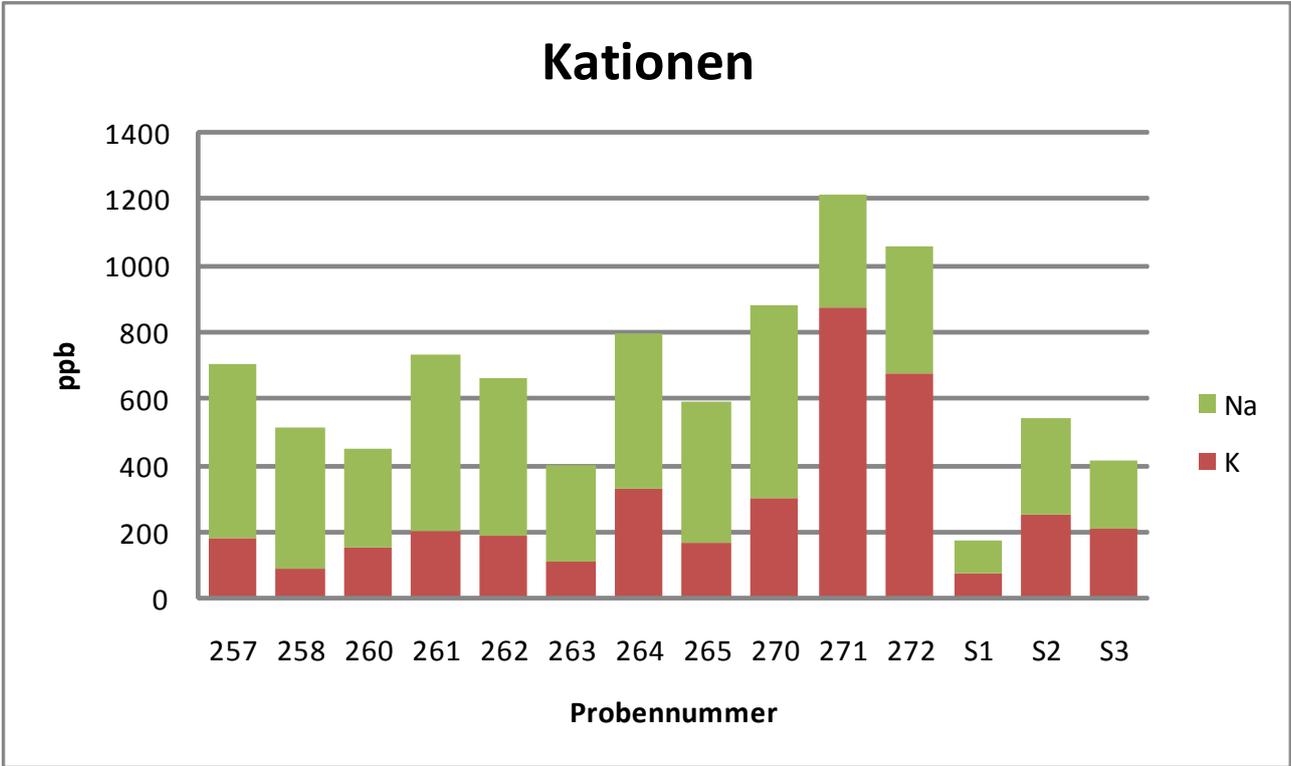


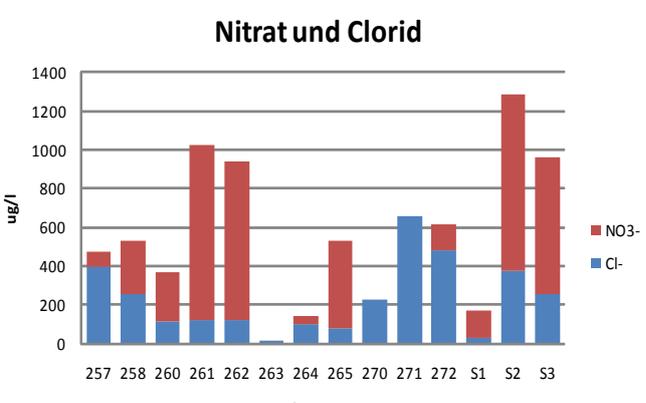
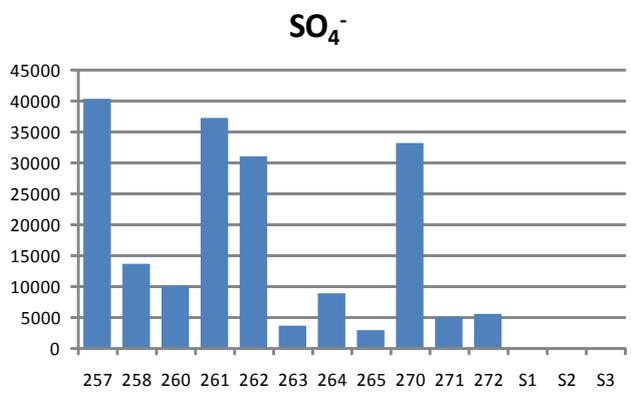
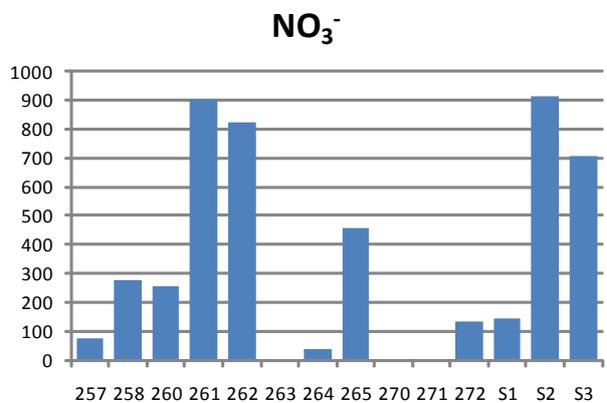
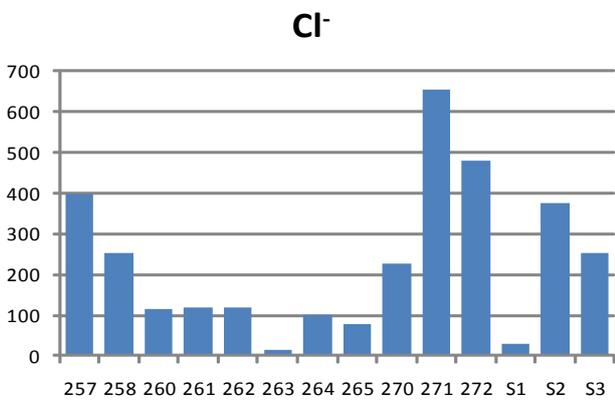
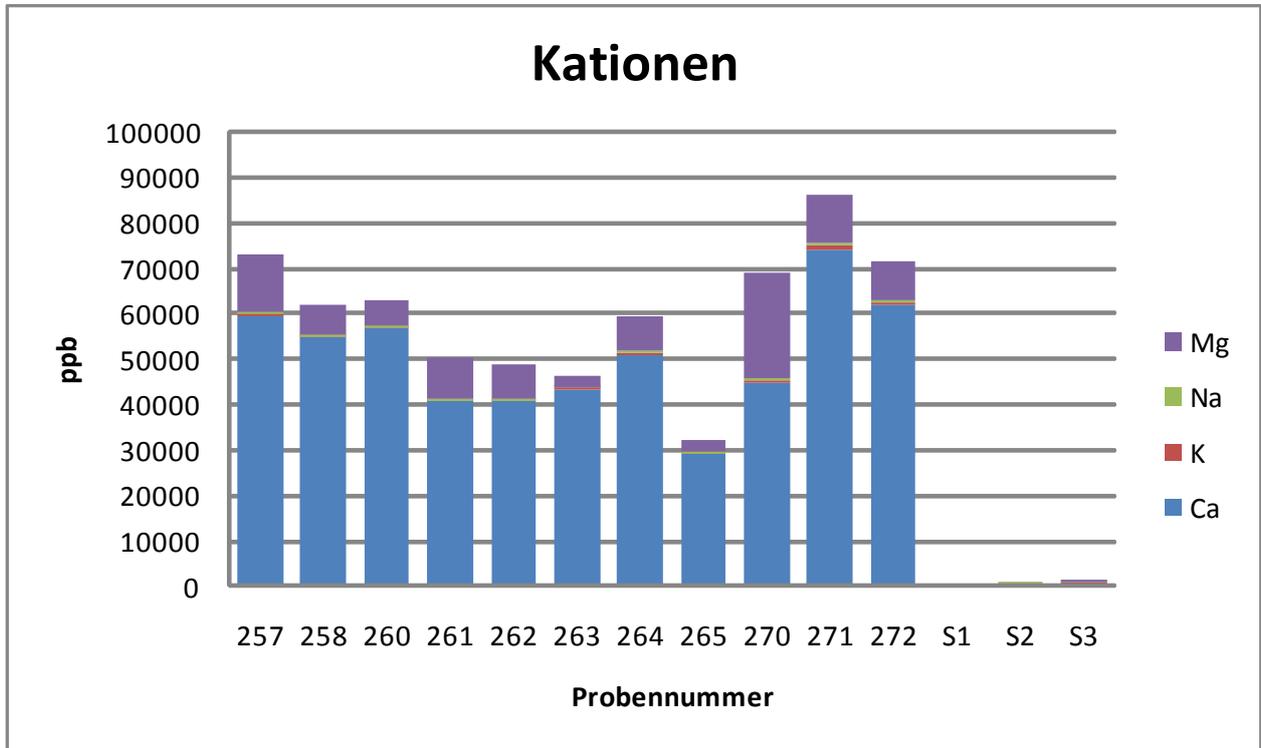
Nr.	Normalspannung kN/m <sup>2</sup>	Setzung mm	Konsolidierungsdauer min	Probenhöhe	
				zu Beginn mm	Ende mm
4 ■	500	2.79	1440	20.00	17.21
1 ■	500	3.10	1386	20.00	16.90
2 ■	500	2.69	1440	20.00	17.31

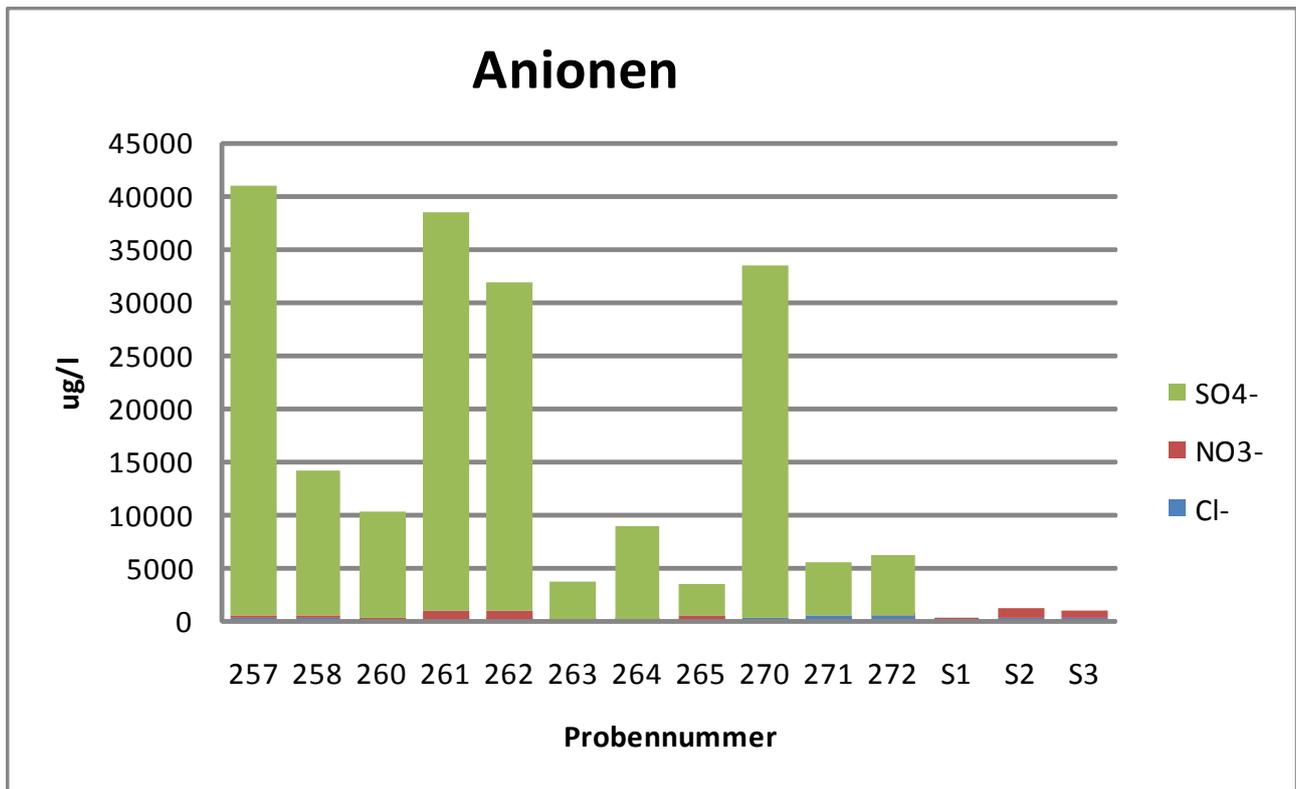


## Analyse Wasser- und Schneeproben









Tab. 15 Ergebnisse des Ionenchromatographen für die Wasser- und Schneeprouben. Die Anionen sind in mg/l angegeben, die Kationen in ppb.

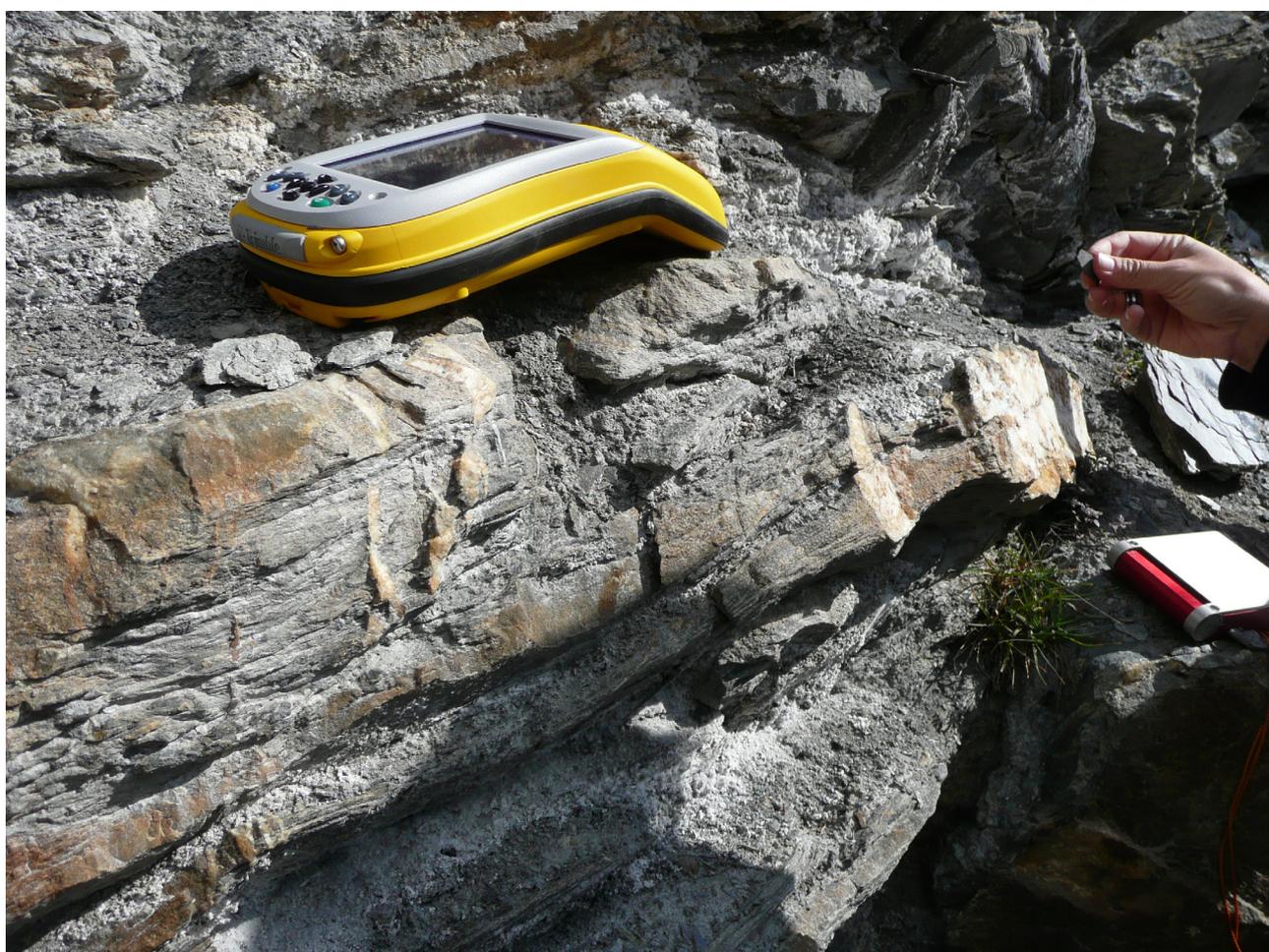
Proben	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>		Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>
	399	0	40593		535	188	12680	59445
	399	146	40358		508	177	12822	59645
257	399	73	40476		522	183	12751	59545
	253	278	13590		418	92	6412	55058
	256	273	13642		433	84	6438	55026
258	255	276	13616		426	88	6425	55042
	113	249	9960		293	149	5427	56865
	118	242	9981		304	162	5411	56895
	114	253	9954		299	156	5419	56880
	115	237	10085					
260	115	245	9995		299	156	5419	56880
	123	895	37321		539	218	9017	40628
	118	909	37337		520	191	8961	40782
261	121	902	37329		530	205	8989	40705
	121	817	30961		487	172	7477	40863
	120	827	30972		463	210	7512	40628
262	121	822	30967		475	191	7495	40746
	56	144	3177		298	129	2450	43482
	17	0	3615		284	92	2532	43547
	16	0	3600					
263	30	48	3464		291	111	2491	43515
	98	55	8826		469	321	7826	51637

	101	24	8887		466	335	7761	50485
264	100	40	8857		468	328	7794	51061
	79	454	3003		427	175	2845	52760
	76	458	3021		417	166	2785	5203
265	78	456	3012		422	171	2815	28982
	225	0	33175		582	302	23369	44175
	227	0	33271		576	300	23068	45560
270	226	0	33223		579	301	23219	44868
	655	0	4936		356	886	10845	74391
	655	0	4955		331	859	11024	73991
271	655	0	4946		344	873	10935	74191
	478	143	5627		388	690	8722	62158
	481	125	5606		6780	661	8694	61890
272	480	134	5617		384	676	8708	62024
	32	120	0		27	35	0	204
	28	166	1512		47	0	0	9
S1	30	143	0		99	77	0	106
	373	920	1624		414	426	47	43
	379	902	0		138	104	0	156
S2	376	911	0		281	260	16	161
	255	699	0		188	228	0	861
	254	709	0		195	200	89	814
S3	255	704	0		205	209	54	566



# Tektonik

---





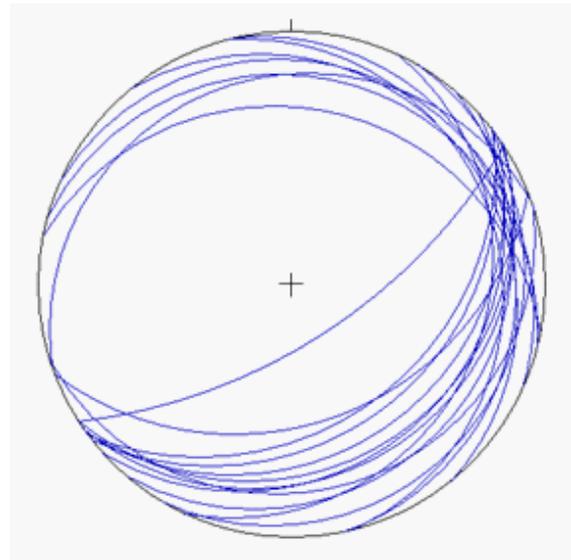
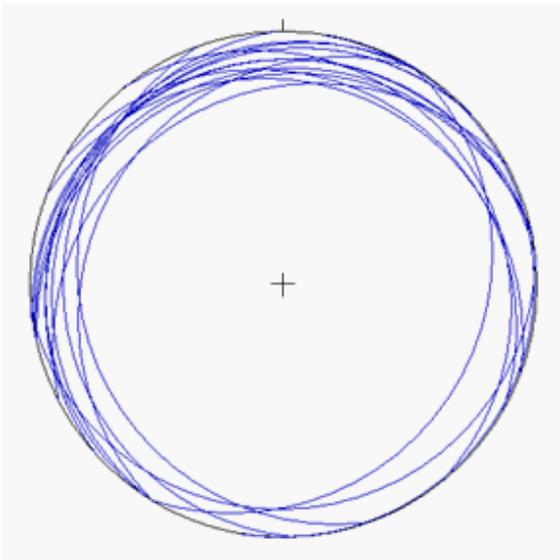


Abb. 61. Links: Aufschlüsse an der Abrisskante von Patain bis N<sup>o</sup> von Crostata; 18 Datensätze; Rechts: Aufschlüsse im Süden des Kartiergebietes, 19 Datensätze

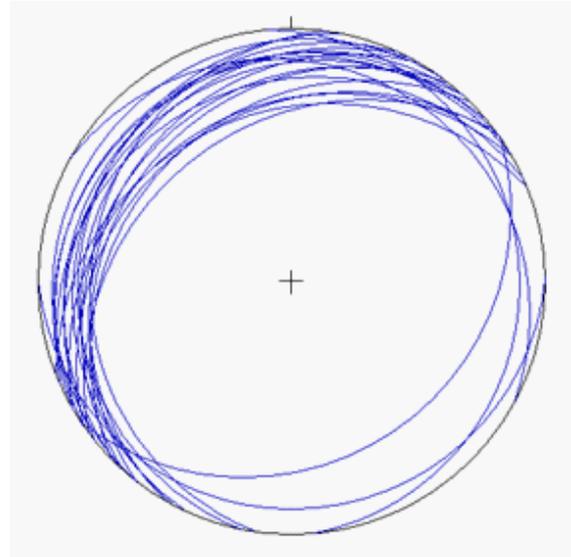
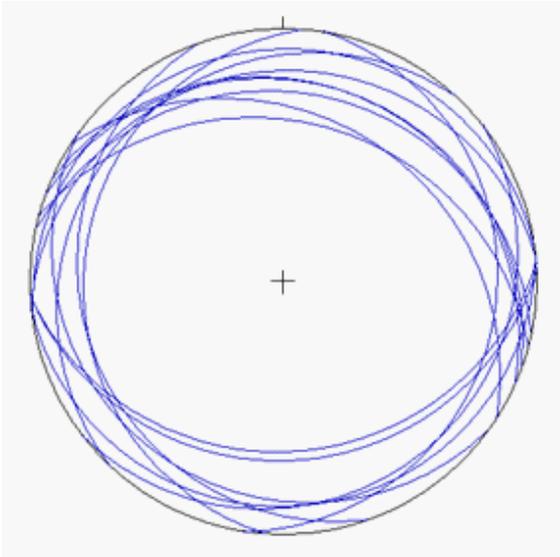


Abb. 59. Links: Aufschlüsse entlang der Clozza südlich von Vallatschas; 16 Datensätze. Rechts: Aufschlüsse im Norden des Kartiergebietes; 23 Datensätze

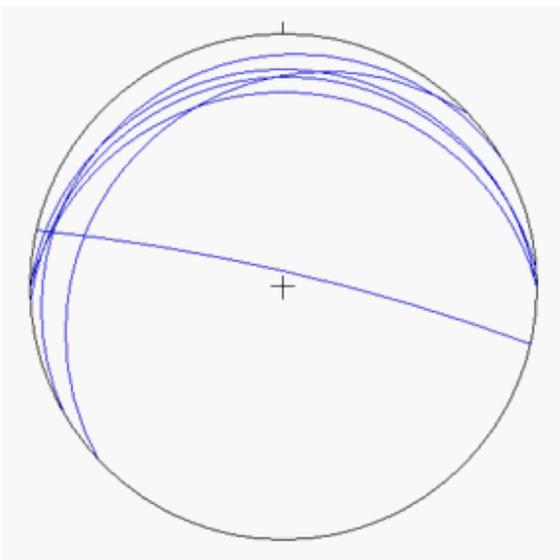


Abb. 60. Aufschlüsse an der orografisch linken Seite der Clozza bei Scuol; 6 Datensätze



# Karten

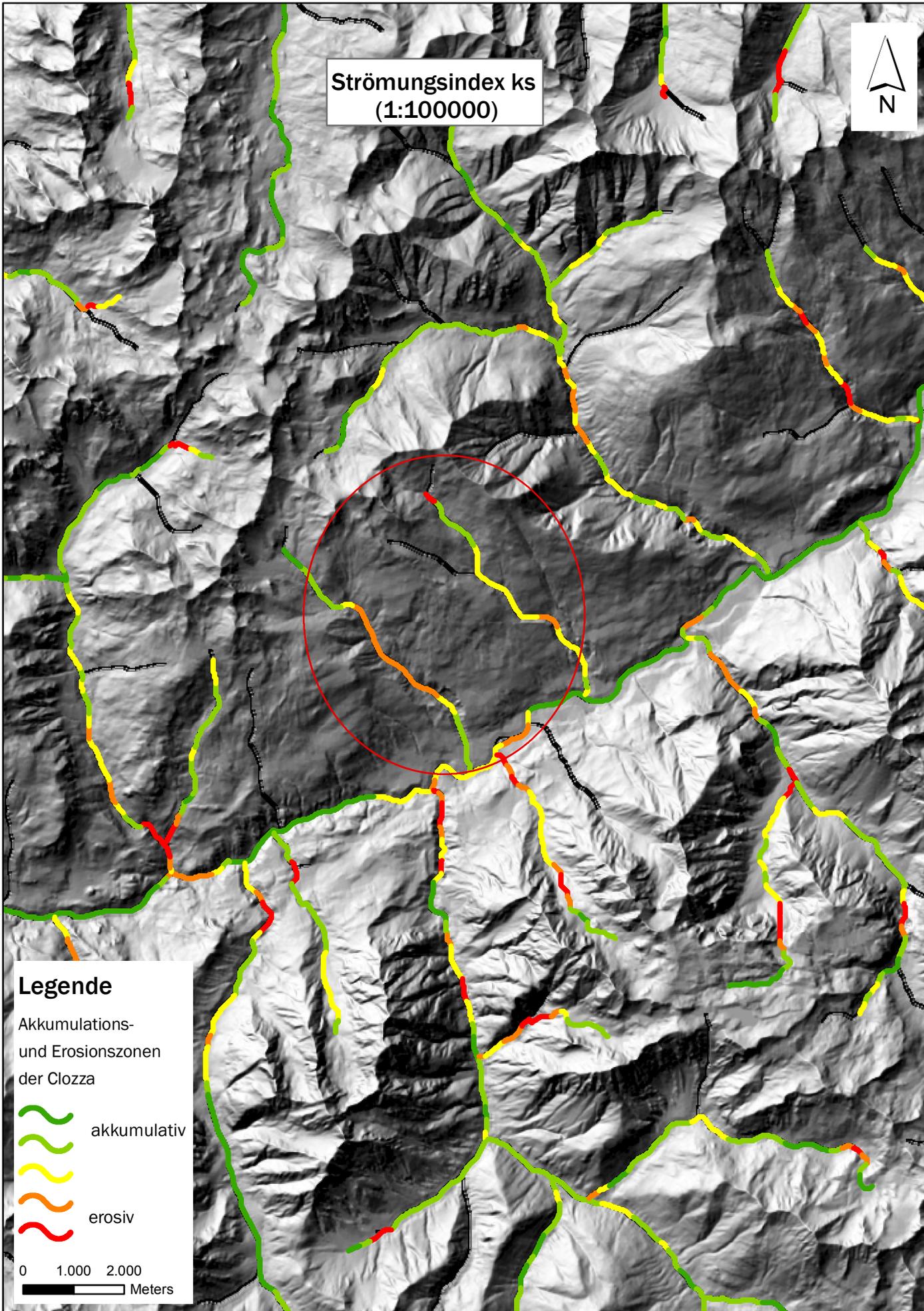
---





Abb. 62. Kartierung bei Scuol von P. Schlusche (2003) aus „Zur Quartärgeologie und Neotektonik im Unterengadin“





# Hangneigungskarte (1:30000)



**Legende**  
**Neigung**

	gering
	hoch
	Grenze Kartiergebiet

0    500    1.000  
 Meters

