

Theresa Magdalena Sattler, BSc

Charakterisierung von Störungsgesteinen im Hinblick auf ihr Potenzial für "fließendes Gebirgsverhalten"

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

Master of Science

Masterstudium Erdwissenschaften

eingereicht an der

Technischen Universität Graz

Betreuerin

Mag.rer.nat. Dr.rer.nat. Christine Latal

Angewandte Geowissenschaften

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit identisch.

Datum

Unterschrift

Danksagung

Hiermit möchte ich mich im Besonderen bei meiner Betreuerin Frau Mag.rer.nat. Dr.rer.nat. Christine Latal für ihren Einsatz, ihre Unterstützung und Bemühungen bedanken. Dafür, dass sie sich immer Zeit genommen hat um über Themen zu diskutieren und um mir Ratschläge auf fachlicher und persönlicher Ebene zu geben. Ich danke ihr sehr, dass sie vor vielen Jahren meine Begeisterung für das Studium der Erdwissenschaften geweckt hat und seither zu jeder Zeit eine Mentorin für mich war.

Mein ganz besonderer Dank gilt auch Herrn Mag. Robert Vanek, der durch seine Fragestellungen die Thematik dieser Masterarbeit erst ermöglichte. Ich danke ihm dafür, dass er jederzeit bereit war, sein Wissen weiterzugeben und Einzelheiten durchzusprechen. Für die zahlreichen Anregungen sowie die stets konstruktive Hilfestellung gilt ihm gleichfalls mein großer Dank.

Ebenso danke ich der ÖBB-Infrastruktur AG, für die Bereitstellung vieler Daten und des Probenmaterials bezüglich des Semmering-Basistunnels.

Ich möchte mich auch bei all jenen bedanken, die mir eine Hilfestellung bei der Durchführung der Analysen dieser Arbeit gegeben haben. Bei Frau Ing. Daniela Schwaiger der Firma 3G, Herrn Thomas Theißl des Instituts für Bodenmechanik und Grundbau und Herrn Gerhard Lauk des Instituts für Angewandte Geowissenschaften.

Ein großer Dank gilt meiner Familie, meinen Eltern und Schwestern, die mich während der gesamten Studienzeit immer hilfsbereit motiviert und sich für mich eingesetzt haben. Danke für jegliche Unterstützung von euch, die mich meinem Ziel einen Schritt nähergebracht hat!

Ich danke meinem Freund Wolfgang ganz besonders dafür, dass er mir immer beigestanden ist und niemals müde wurde, mich zu bestärken. Ich danke ihm, dass er auch in meinen sehr arbeitsintensiven Zeiten immer verständnisvoll war und es schaffte, dass ich den Blick nach vorne gerichtet hielt. Ich danke dir für deine positive, liebevolle und unterstützende Art!

Zusammenfassung

Der Semmering-Basistunnel wird die Bundesländer Steiermark und Niederösterreich verbinden und ermöglicht eine zusammenhängende Eisenbahninfrastruktur der Südbahnstrecke in Österreich (Gobiet, 2013). Das Baulos 3.1 verläuft von Mürzzuschlag über Grautschenhof bis nach Friedrichhütte (3G, 2015a) und wird in dieser Masterarbeit behandelt.

Der tektonische Gebirgsbau setzt sich hier aus der Stuhleck-Kirchberg-Decke (Oberostalpin) und der Semmering-Decke (Unterostalpin) nach Schuster (2010 & 2013) zusammen.

Der bearbeitete Teilabschnitt des Semmering-Basistunnels wird tektonisch vom „Mur-Mürz-Semmering-Wiener-Becken-Störungssystem“ beeinflusst (3G, 2015a). Dadurch bedingt ist eine hohe Dichte an auftretenden Störungszonen gegeben.

Störungszonen im Tunnelvortrieb stellen eine enorme Herausforderung in Bauprojekten dar, da sie eine Abschätzung des Gebirgsverhaltens erschweren. Besonders, wenn kohäsionsarme sowie schlecht verzahnte Störungsgesteine vorliegen. Diese neigen dazu, ein „fließendes Gebirgsverhalten“ aufzuweisen. Die Auswirkung jenes Gebirgsverhaltens sind extrem starke Wasserzutritte innerhalb kürzester Zeit, gesättigt mit Gesteinsbruchstücken und Fragmenten des gestörten Materials.

Es können dadurch einerseits die im Tunnel arbeitenden Personen erheblich gefährdet werden, andererseits entstehen, aufgrund der zu ergreifenden Maßnahmen, erhöhte Kosten.

Das Ziel der vorliegenden Masterarbeit ist es, unterschiedlichste Eigenschaften von Störungsgesteinen zu erfassen, um ihnen in weiterer Folge ein Potenzial für „fließendes Gebirgsverhalten“ zuordnen zu können. Darauf basierend soll eine präzise Abschätzung des Gebirgsverhaltens ermöglicht werden. Ebenso erfolgt diesbezüglich eine Abgrenzung zwischen den unterschiedlichen Störungsgesteinen.

Die Charakterisierung der auftretenden Störungsgesteine wurde anhand der Bestimmung von relevanten Materialkennwerten vollzogen. Geologische, geotechnische, bodenmechanische, mineralogische und geophysikalische Analysen ermöglichten eine umfassende Beurteilung der Materialeigenschaften.

Es wurden Daten wie die Korngrößenverteilung, Dichte, Porosität, mineralogische Zusammensetzung sowie Gefügedaten im mikroskopischen und makroskopischen Maßstab ermittelt.

Basierend auf den Daten der Analysen konnte eine Klassifikation von Störungsgesteinen entwickelt werden. Innerhalb dieser wurden Störungsgesteine mit ähnlichen Eigenschaften in acht Klassen zusammengefasst. Den einzelnen Störungsgesteins-Klassen wurde auf einer vierteiligen Skala das Fließpotenzial („kein“ bis „hoch“) zugeordnet.

Die Charakterisierung der Störungsgesteine kann in der Vorausplanung von Tunnelbauten angewandt werden, da aufgrund der Klassifizierung eine präzisierte Beurteilung vorab erfolgen kann. Somit können vorseilende Maßnahmen in ihrem Ausmaß gezielter angewandt werden.

In dieser Arbeit werden Grundlagen für eine differenzierte Abschätzung des Potenzials für „fließendes Gebirgsverhaltens“ erarbeitet.

Abstract

The Semmering Base Tunnel will connect the provinces of Styria and Lower Austria. It establishes continuous railway infrastructure within the “Südbahn line” in Austria (Gobiet, 2013). The tunneling contract section 3.1 extends from Mürzzuschlag over Grautschenhof to the area of Friedrichhütte (3G, 2015a) and is treated in this thesis.

Local geology is characterized after Schuster (2010 & 2013) by the rocks of the Stuhleck-Kirchberg-Nappe (Upper Austroalpine) and the Semmering-Nappe (Lower Austroalpine). Tectonically the presented section of the tunnel is influenced by the “Mur-Mürz-Semmering-Wiener-Becken-Fault System” (3G, 2015a) creating an enhanced presence of fault zones.

Fault zones are a great challenge in tunneling because they make it difficult to predict rock behavior, especially if fault rocks with low cohesion and poor grain interlocking are present. They tend to a high degree of “flowing ground behavior”. Consequences of this behavior are strong ingresses of water, saturated with fragments of rocks and faulted material, within a short time. On the one hand tunneling personnel may be endangered and on the other hand additional costs are created due to necessary measures.

The aim of the presented thesis was to define different properties of fault rocks to further assign them a potential for “flowing ground behavior” as a base for a detailed estimation of the general rock behavior. Therefore, a distinction of the different fault rock types was executed.

This differentiation is based on the determination of relevant material parameters. Therefore, geological, geotechnical, soil mechanical, mineralogical and geophysical analyses were executed for the comprehensive evaluation of material properties. Parameters such as grain size distribution, density, porosity, mineralogical composition, and texture, on a macroscopic and microscopic scale, were determined.

Based on the results of the analyses, a classification of fault rocks was realized, summarizing rocks with similar properties in eight different classes. Subsequently, each class was assigned a potential for “flowing ground behavior” on a four-stage scale from “no potential” to “high potential”.

The characterization of fault rocks can be applied at planning stages in tunneling projects, because a more detailed evaluation based on the presented classification can be executed prior. Technical measures can be applied subsequently in a more specific way.

In this thesis, basics for a differentiated estimation of “flowing ground behavior” of rock mass are presented.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	1
Abstract	2
1 Einleitung	5
2 Einführung	7
2.1 Semmering-Basistunnel.....	7
2.2 Bedeutung und Charakterisierung von Störungszonen	7
2.2.1 Aufbau von Störungszonen	8
2.2.2 Definition Störungsgestein/Kataklasit.....	8
2.3 Fließendes Gebirgsverhalten.....	10
3 Geographische Lage	11
4 Regionalgeologischer Überblick	12
4.1 Strukturgeologischer Überblick und Tektonik.....	14
5 Methodik	15
5.1 Durchgeführte Analysen.....	15
5.2 Bohrkernaufnahme	16
5.2.1 Makroskopische Bohrkernbeschreibung.....	16
5.3 Mineralogische Versuche	17
5.3.1 Dünnschliffherstellung	17
5.3.2 Digitale Bildanalyse	17
5.3.3 Röntgendiffraktometrie.....	18
5.4 Bodenmechanische Versuche	18
5.4.1 Siebanalyse.....	18
5.4.2 Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwertes (k_f -Wert).....	19
5.4.3 Bestimmung des Porenanteils/der Porenzahl durch Tauchwägung	19
5.4.4 Bestimmung der Korndichte nach ÖNORM EN ISO 17892-3.....	20
5.5 Bohrlochgeophysik	20

6	Ergebnisse	21
6.1	Klassifizierung nach makroskopischer Ansprache.....	22
6.2	Beschreibung der Bohrkernstrecken.....	23
6.2.1	Bohrkernstrecke KB 11_13	24
6.3	Makroskopische Probenbeschreibung	30
6.4	Makroskopische und mikroskopische Gefügedaten	41
6.5	Digitale Bildanalyse der Anschliffe	50
6.6	Digitale Bildanalyse der Dünnschliffe	50
6.7	Röntgendiffraktometrie	51
6.8	Korngrößenanalyse.....	52
6.8.1	Darstellung der Korngrößenverteilung.....	53
6.8.2	Feinkornanteil.....	54
6.8.3	Ermittlung des k_f -Wertes.....	55
6.9	Porenanteile des Probenmaterials.....	56
6.10	Geophysikalische Bohrlochmessungen	57
7	Interpretation	59
7.1	Klassifizierung alt/neu	59
7.2	Interpretation der Ergebnisse	61
7.2.1	Korngrößenanalyse.....	61
7.2.2	K_f -Werte.....	62
7.2.3	Porenanteile	63
7.2.4	Gefügedaten.....	64
7.2.5	Mineralogische Untersuchungen	65
7.3	Abschätzung des Potenzials für „fließendes Gebirgsverhalten“	66
7.4	Finale Klassifizierung der Kataklasite	67
8	Schlussfolgerung und Ausblick.....	69
9	Literaturverzeichnis	70
10	Abbildungsverzeichnis.....	73
11	Tabellenverzeichnis.....	74
	Anhang I, II, III, IV	76

1 Einleitung

Im Zuge eines Großprojekts, wie dem Bau des Semmering-Basistunnels, sind die geologische und geotechnische Vorausplanung unerlässlich für eine sichere, zielorientierte sowie wirtschaftliche Planung und Durchführung.

Einen besonderen Risikofaktor stellen auftretende tektonische Störungszonen dar, da sie durch ihre Inhomogenität oft die Prognose des Gebirgsverhaltens erschweren. Dies gilt im Besonderen, wenn durch Auftreten hohen Wasserdrucks bei geringer Verzahnung und Kohäsion des Materials die Gefahr auf „fließendes Gebirgsverhalten“ besteht.

Dadurch können im Vorhinein nicht vorhergesehene Kosten sowie ein zusätzlicher technischer und zeitlicher Aufwand entstehen. Als Maßnahmen zur Verhinderung von „fließendem Gebirgsverhalten“ können einerseits präventiv Injektionen, bestehend vor allem aus Zementmischungen, erfolgen, andererseits können Entwässerungen, Drainagen, vorgenommen werden. Zeigen die ergriffenen Maßnahmen jedoch keine ausreichende Wirkung, so müssen im Nachhinein stabilisierende Maßnahmen durchgeführt werden. Dies führt zu unerwarteten Kostenerhöhungen und einem bedeutenden Zeitverlust.

Unvorhergesehene Wasserzutritte im Tunnelvortrieb stellen zudem eine große Gefahr für das arbeitende Personal im Tunnel dar. Wassermassen mitsamt Gesteinsfragmenten und Felsbrocken können den Arbeitskräften unkontrolliert entgegen schnellen. Ein erhöhtes Verletzungsrisiko und Gefahrenpotenzial ist durch diese unerwarteten Zutritte gegeben.

Für eine genaue Abschätzung des Fließpotenzials von Gesteinen beziehungsweise dem Gebirge liegen kaum wissenschaftliche Grundlagen vor. Daher erfolgt die Beurteilung von „fließendem Gebirge“ weitgehend empirisch, unter Berücksichtigung der maßgeblichen Gesteins-/Gebirgseigenschaften und der hydrogeologischen Rahmenbedingungen.

Im Baulos SBT 3.1 liegen Gebirgsverhältnisse vor, in denen ein Potenzial für „fließendes Gebirge“ gegeben ist, da es im Einflussbereich des Mur-Mürz-Semmering-Wiener-Becken-Störungssystems liegt. Dies trifft insbesondere auf Störungsgesteine bzw. tektonisch stark überprägte Abschnitte des sogenannten Grobgneises (grobkörniger Orthogneis) zu. Die gegenständliche Arbeit hat zum Ziel eine genaue labortechnische Charakterisierung der auftretenden Störungsgesteine vorzunehmen, um Grundlagen für die Abschätzung des Potenzials auf „fließendes Gebirgsverhalten“ der unterschiedlichen Materialien bzw. Störungszonen zu liefern.

Daher erfolgte eine Detailanalyse dieser Störungsgesteine und ihrer geologisch-geotechnischen Kenngrößen. Anhand von repräsentativem Probenmaterial, das aus ausgewählten Bohrkernstrecken der Vorerkundung des Projektes vorlag, werden im Rahmen dieser Masterarbeit maßgebende Materialparameter für „fließendes Gebirgsverhalten“ ermittelt.

Geotechnische, geologische und hydrogeologische Parameter wie etwa Korngrößenverteilung, Porenanteil, Dichte, Korngefüge und Durchlässigkeit wurden mithilfe dem Stand der Technik entsprechenden Labor-, Geländemethoden und Softwarelösungen analysiert. Das Ziel dieser Masterarbeit stellte eine Ermittlung von Abgrenzungskriterien dieser Materialkennwerte dar, auf deren Basis eine Störungszonenklassifizierung im Hinblick auf ihr Potenzial für „fließendes Gebirgsverhalten“ abgeleitet wurde.

Ein Auswahlkriterium des Projektgebiets war die Heterogenität der auftretenden Störungszonen, die Entnahme von vielfältigem Probenmaterial wurde somit ermöglicht.

Die erarbeitete Klassifizierung vereinfacht die Abschätzung des Potenzials für „fließendes Gebirgsverhalten“ der untersuchten Störungszonen, noch bevor diese mit den Tunnelvortrieben angetroffen werden. Die Ergebnisse der Masterarbeit stehen somit als Grundlage für die Detailplanung der tunnelbautechnischen Maßnahmen zur Verfügung.

Neben der Entwässerung des Gebirges zählen die Planung von vorseilenden Baugrundinjektionen, die Art der Injektionsmedien und deren Verbrauch dazu.

Zudem können die Ergebnisse der Detailanalyse auf andere Störungszonen übertragen werden, um eine Abschätzung des Fließpotenzials betroffener Abschnitte weiterer Tunnelbauprojekte zu gewährleisten.

Da das Fließpotenzial im Besonderen von der Kohäsion gesteuert wird, wäre es optimal gewesen, diese zu bestimmen. Die Analysen diesbezüglich dürften jedoch keine realitätsnahen Resultate liefern, da davon auszugehen ist, dass durch die Gewinnung des Probenmaterials oftmals der ursprüngliche Kornverband aufgelockert oder zerstört wird. Zusätzlich sind bei den meisten Proben, aufgrund des lockergesteinsartigen Zustands des Materials, keine entsprechenden Messungen möglich. Daher wurde von der Bestimmung der Kohäsion abgesehen.

Es wurde sich den Abgrenzungskriterien über andere Materialparameter, wie etwa Korngrößenverteilung, Porosität und Dichte angenähert.

Im ersten Kapitel dieser Arbeit erfolgt eine Einführung in die Bedeutung und Charakterisierung von Störungszonen in Bezug auf Bautätigkeiten untertage. Weiters wird näher auf den Aufbau sowie die Zonierung von spröde-tektonischen Störungszonen eingegangen und darüber hinaus werden Störungsgesteine definiert. Schlussendlich folgen Erläuterungen bezüglich der Thematik des „fließenden Gebirgsverhaltens“.

Das zweite Kapitel präsentiert sämtliche Methoden, die im Zuge der präzisen Analyse des Probenmaterials angewandt wurden. Hierbei wurde auf Methodiken aus mehreren Fachdisziplinen zurückgegriffen. Geologische, mineralogische, bodenmechanische als auch geophysikalische Parameter konnten bestimmt werden.

Im dritten Kapitel werden die ermittelten Ergebnisse der umfassenden Laboruntersuchungen veranschaulicht. Auf diese folgen im letzten Teil dieser Arbeit eine Interpretation und Korrelation der analysierten Daten.

2 Einführung

2.1 Semmering-Basistunnel

Durch den Bau des Semmering-Basistunnels wird eine zusammenhängende Eisenbahninfrastruktur der Südbahnstrecke innerhalb Österreichs ermöglicht. Diese Verkehrsachse wird den Standort Österreich in Bezug auf wirtschaftliche Interessen stärken.

Der Semmering-Basistunnel wird eine Verbindung zwischen den Bundesländern Niederösterreich und der Steiermark generieren und vom Portal in Gloggnitz sowie über die drei Zwischenangriffe in Göstritz, im Fröschnitzgraben und in Grautschenhof aufgeföhren. Dies ist aufgrund der geologischen Rahmenverhältnisse und logistischen sowie tunnelbautechnischen Erfordernisse nötig (Gobiet, 2013).

Mit dem Semmering-Basistunnel wird ein etwa 27,3 km langer Eisenbahntunnel bestehend aus zwei eingleisigen Tunnelröhren, Querschlägen, die einen maximalen Abstand von 500 Metern aufweisen und einer mittig lokalisierten und belüfteten Nothaltestelle gebaut (Gobiet & Wagner, 2013).

Als erstes Tunnelbaulos wurde das Baulos 2.1 Fröschnitzgraben im Jahr 2014 begonnen, es folgten 2015 die Vortriebe bei Baulos 1.1 in Gloggnitz sowie in Göstritz. Mit dem Vortrieb des für diese Arbeit relevanten Bauloses 3.1 Grautschenhof wurde im Mai des Jahres 2016 gestartet (Gobiet, 2013).

2.2 Bedeutung und Charakterisierung von Störungszonen

Im Zuge von Bautätigkeiten untertage muss sprödekteonischen Störungszonen besondere Beachtung geschenkt werden, da sämtliche geologische, geotechnische sowie hydrogeologische Gebirgsverhältnisse maßgeblich von ihnen beeinflusst werden (Fasching & Vanek, 2011).

Störungszonen generieren aufgrund ihrer diffizilen Internstruktur stark variable Gebirgseigenschaften. Diese fördern bautechnisch ungünstige Faktoren. Solche Parameter können durch unterschiedliche Festigkeitseigenschaften und Permeabilitäten, Stabilitätsprobleme und in weiterer Folge auftretende Wassereinbrüche beschrieben werden (Schubert et al., 2006).

Störungszonen sind dadurch für die bautechnische Planung höchst relevant. Aufgrund ihrer Komplexität und unterschiedlichen Materialeigenschaften sind fachübergreifende Kenntnisse der Ingenieurgeologie und Geotechnik vonnöten, um eine aussagekräftige Gebirgscharakterisierung bezüglich der Prognose des Gebirgsmodells sowie mechanischer Eigenschaften zu ermöglichen (Fasching & Vanek, 2011).

2.2.1 Aufbau von Störungszonen

Sprödetektonische Störungszonen variieren in Maßstäben von einigen Dezimetern bis hin zu mehreren Kilometern Mächtigkeit und sind meistens in den oberen 5 bis 10 Kilometern der oberen Erdkruste anzutreffen (Mandl 1988 & 1999). Sie entstehen durch Relativverschiebungen von Gebirgskörpern, wobei die Tektonik als forcierende Kraft wirkt (Fasching & Vanek, 2011).

Laut Caine et al. (1996) beeinflusst der Internbau von Störungszonen maßgeblich die Eigenschaften dieser. In Abbildung 2.1 wird ein konzeptuelles Modell des Aufbaus einer Störungszone nach Hoffmann-Rothe (2002) präsentiert. Die Zerrüttungszone bildet den Übergang von intaktem Fels zur Störungskernzone. Unter anderem ist sie durch viele kleine Brüche und Risse charakterisiert. Die Kernzone der Störung wird von Störungsgesteinen, vor allem Kataklastiten, beherrscht (Hoffmann-Rothe, 2002).

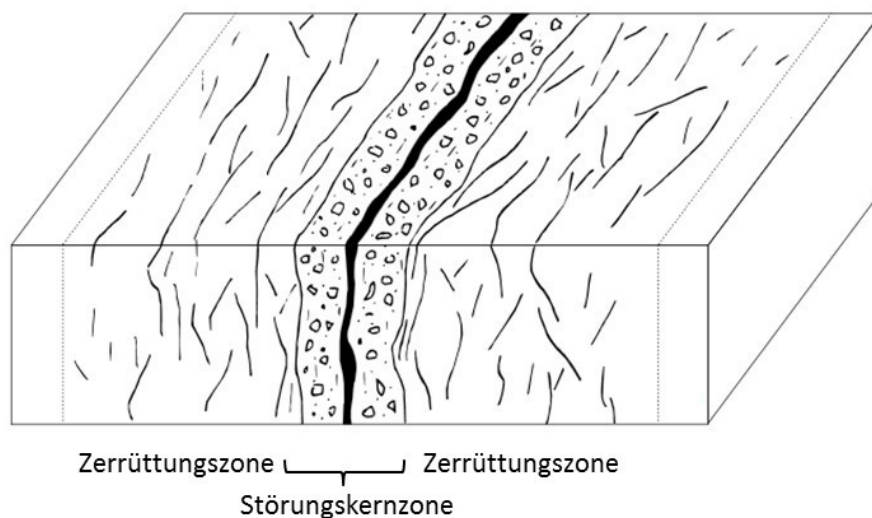


Abbildung 2.1 Aufbau einer Störungszone nach Hoffmann-Rothe, 2002

In Natura gestaltet sich der Aufbau einer Störungszone jedoch meist vielschichtiger, selten ist eine Störungszone so wohlgestaltet vorzufinden. Mitunter weisen Störungszonen in ihrem Aufbau eine Asymmetrie auf. Daher ist beim Tunnelvortrieb innerhalb von Zonen aus gestörtem Gestein, durch die Komplexität des Aufbaus, Fachkenntnis erforderlich.

Weiters beinhaltet der komplexe Aufbau einer Störungszone Bereiche, die durch intensive Scherbewegung und kataklastische Überprägung charakterisiert werden. Zudem aber auch Zonen, die geringer bis wenig beansprucht sind. Hier treten oft Scherkörper in Form von Scherlinsen auf, welche von Scherbahnen umschlossen sind (Fasching & Vanek, 2011).

2.2.2 Definition Störungsgestein/Kataklastit

Sprödetektonisch verursachte Gesteinsdeformation wird mit dem Begriff „Kataklastik“ beschrieben. Neben der Deformation zählen dazu auch Rotation, Granulation und Zerkleinerung. Dadurch bedingt können den Störungsgesteinen sowohl festgesteinsartige Attribute als auch lockergesteinsartige Eigenschaften zugewiesen werden. Zu den Eigenschaften des Lockermaterials zählen die Korngrößenverteilung, Plastizität und die Kompaktion, den Festgesteinsarten sind die

Gesteinsfestigkeit, Gefüge, Trennflächeneigenschaften, Tropie, Struktur und Textur zuzuordnen. Zwei weitere wesentliche Faktoren, beide Gesteinsarten betreffend, sind die Kohäsion sowie die Durchlässigkeit (Fasching & Vanek, 2011).

Kataklasite entstehen durch den Einfluss von sprödetektonischen Störungen, unterteilt werden sie in Störungsgesteine mit kohäsiven und kohäsionslosen Eigenschaften. Ist ein kohäsionsloses Material vorhanden, so wird als nächstes der Grad an Fragmenten gegenüber dem feinkörnigen Material bestimmt. Im nächsten Schritt werden die jeweiligen dominanten Korngrößen ermittelt. Dadurch ergibt sich eine Unterscheidung von Kies-, Sand-, Schluff- und Ton-dominierten Kataklasiten, die in weiterer Folge als G-, S-, M- und C-Kataklasit bezeichnet werden (Riedmüller et al., 2001).

In Abbildung 2.2 ist eine schematische Darstellung der Vorgehensweise der Klassifizierung von Kataklasiten nach Riedmüller et al. (2001) dargestellt. Für die gegenständliche Arbeit sind die kohäsionslosen kataklastischen Gesteine von Bedeutung, hier wird im Weiteren auf die Matrix und auf die Korngrößenverteilung eingegangen. Grobkörnige Kataklasite werden in G- sowie S-Kataklasite unterteilt, die feinkornreichen Kataklasite sind in M- und C-Kataklasite untergliedert (Riedmüller et al., 2001). Zudem wurden Kataklasite, die fließende Übergänge zwischen den Kataklasit-Typen darstellen, als M-S-Kataklasite beziehungsweise als S-G-Kataklasite bezeichnet.

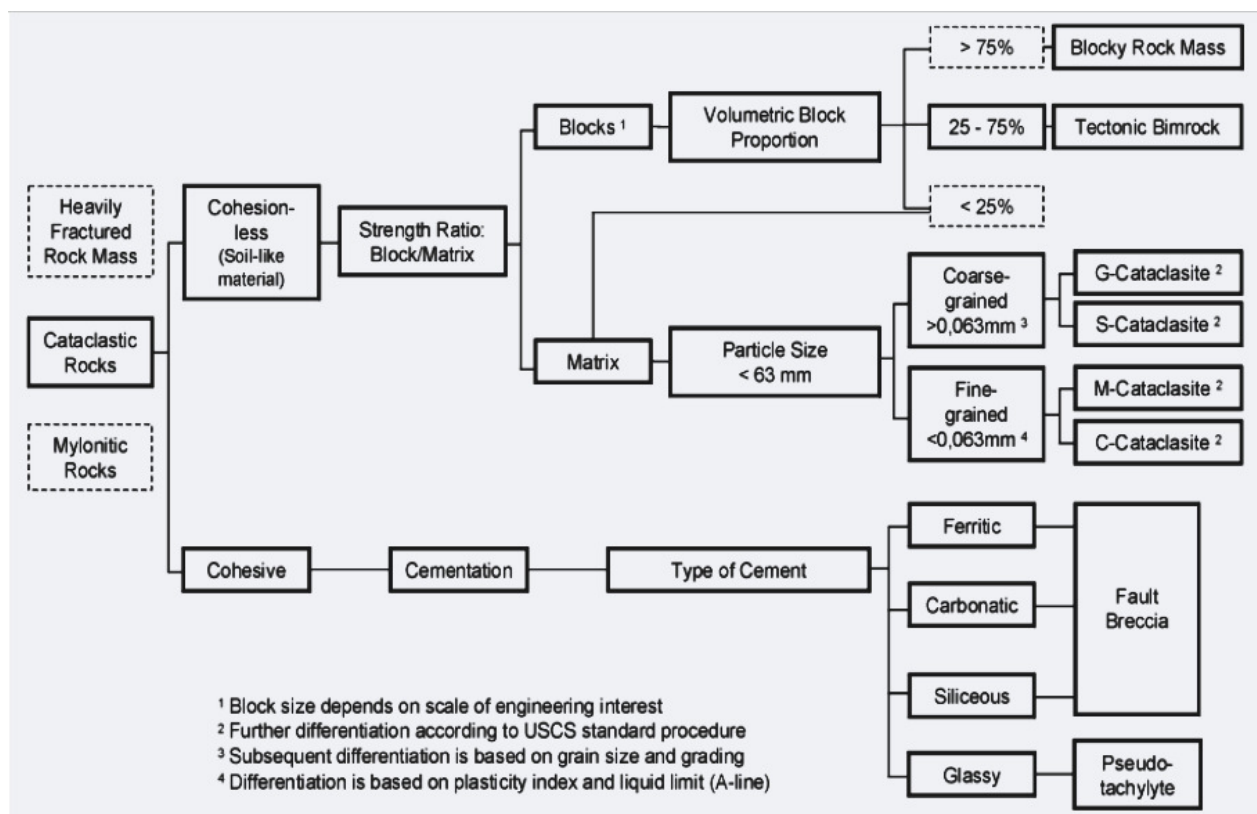


Abbildung 2.2 Ingenieurgeologische Klassifizierung von kataklastischen Gesteinen/Störungsgesteinen (Riedmüller et al., 2001)

2.3 Fließendes Gebirgsverhalten

Das „fließende Gebirgsverhalten“ wird in der „Richtlinie für die geotechnische Planung von Untertagebauten mit zyklischem Vortrieb“ der Österreichischen Gesellschaft für Geomechanik beschrieben. Dieser Gebirgsverhaltenstyp stellt eine der elf übergeordneten Kategorien zur Beschreibung des Gebirgsverhaltens in Bezug auf Verformungscharakteristika und Versagensmechanismen dar (ÖGG, 2008).

Ein „fließendes Gebirge“ wird durch das „Ausfließen von kohäsionsarmem, gering verzahntem Gebirge mit hohem Wassergehalt oder Wasserzufluss“ (ÖGG, 2008) gekennzeichnet.

Insofern muss den baugeologischen als auch den hydrogeologischen Verhältnissen besondere Beachtung geschenkt werden.

Das Fließpotenzial ist, aus baugeologischer Sicht, meist nur bei Gesteinen zu erwarten, die in ihren Eigenschaften einem Korngemisch ähneln. Dies betrifft im Besonderen Kataklasite, wobei feinkornarme und sandig-kiesige Kataklasite bevorzugt zu „fließendem Gebirgsverhalten“ neigen, da die Kohäsion herabgesetzt und die hydraulische Durchlässigkeit erhöht ist. Aus hydrogeologischer Sicht werden dem hydrostatischen Wasserdruck und der Durchlässigkeit große Bedeutsamkeit beigemessen. „Fließendes Gebirgsverhalten“ tritt bevorzugt dort auf, wo eine mittlere Durchlässigkeit des Gebirges vorliegt, dies entspricht in etwa k_f -Werten (Durchlässigkeitsbeiwerten) von $1 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-6}$ (3G, 2015a), und der Bergwasserspiegel über dem Bauwerk liegt. Sobald der Wasserdruck die Festigkeitseigenschaften des Gebirges übersteigt, ist, hinsichtlich geotechnischer Eigenschaften, ein Fließpotenzial möglich. „Fließendes Gebirgsverhalten“ ist im Vortrieb bereits ab dem Dezimetermaßstab von höchster Relevanz (3G, 2015a).

Um eine genaue Bestimmung des Fließpotenzials zu ermöglichen, fehlen bisher die wissenschaftlichen Grundlagen. In dieser Arbeit wurde eine präzise labortechnische Charakterisierung des Störungsmaterials durchgeführt. Somit sind für eine Abschätzung des Fließpotenzials bessere Grundlagen geschaffen worden.

3 Geographische Lage

Der in der gegenständlichen Arbeit behandelte Teilabschnitt des Semmering-Basistunnels befindet sich im Baulos SBT 3.1, welches von Mürtzschlag über Grautschenhof bis zum Bereich Friedrichhütte am Semmering verläuft und eine Länge von etwa 7 km aufweist (3G, 2015a). Östlich davon schließt das Baulos SBT 2.1 an. Die bearbeiteten Bohrkernstrecken befinden sich dabei im Gebiet von Grautschenhof. Weitere Details über die geographische Situation sind der nachstehenden Abbildung 3.1 zu entnehmen.

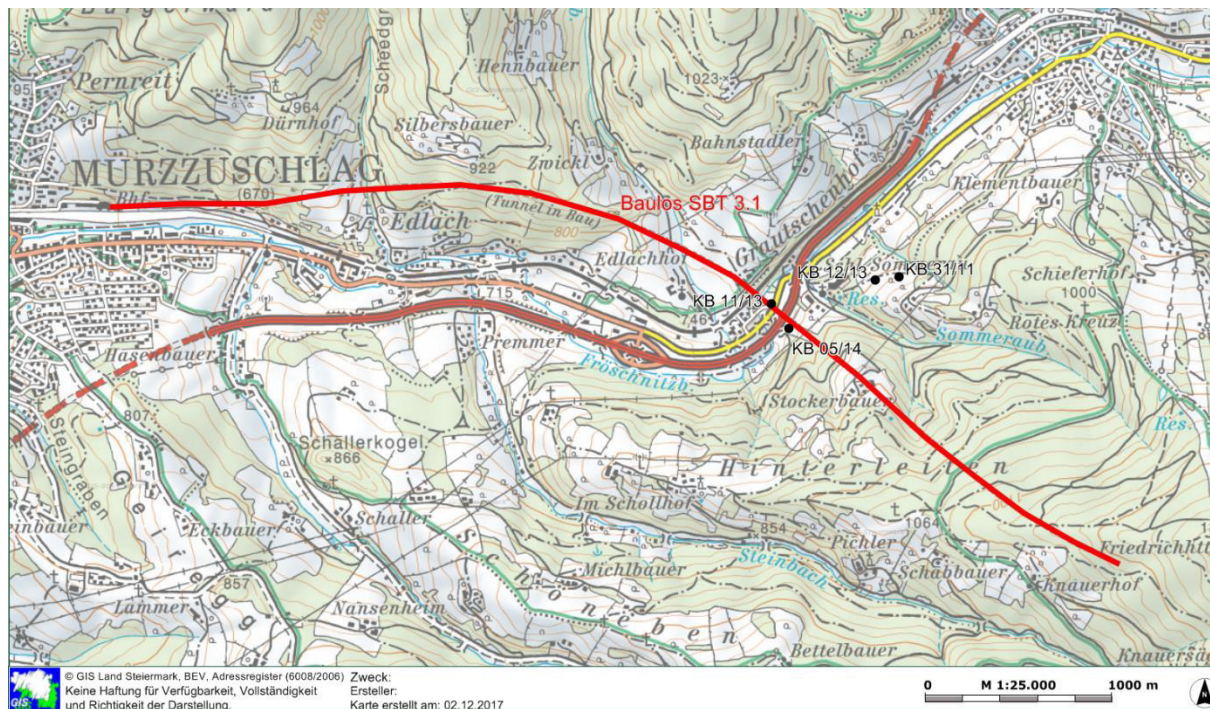


Abbildung 3.1 Geographischer Verlauf des Bauloses SBT 3.1 mit Lage der bearbeiteten Kernbohrungen (abgerufen unter GIS Steiermark, Stand Dezember 2017)

Die Kernbohrungen wurden in den Jahren 2011 bis 2014 abgeteuft. Die Bezeichnung einer Kernbohrung setzt sich aus der Nummer der Bohrung und dem Jahr der Abteufung zusammen (z.B. KB 31/11=Bohrung Nummer „31“ aus dem Jahr 2011).

Eine Übersicht über die genaue Lage der Bohrungen, deren erreichte Endteufe und Bohrrichtung bzw. -neigung gibt Tabelle 3.1.

Bohrung	Rechtswert (X)	Hochwert (Y)	GOK (m ü. A.)	Endteufe	Richtung/Neigung
KB 31/11	705410,05 m	274169,97 m	816,90	151,00 m	0/90
KB 11/13	704731,31 m	274027,05 m	740,08	101,00 m	0/90
KB 12/13	705289,56 m	274147,42 m	797,33	180,00 m	150/56
KB 05/14	704824,13 m	273893,16 m	744,98	120,00 m	0/90

Tabelle 3.1 Lage und technische Daten der Bohrungen, Koordinaten nach BMN M34

4 Regionalgeologischer Überblick

Der geplante Semmering Basistunnel, Baulos SBT 3.1, verläuft fast ausschließlich in Gesteinen des Ostalpinen Kristallines.

Der tektonische Gebirgsbau setzt sich hier aus der Stuhleck-Kirchberg-Decke (Oberostalpin) und der Semmering-Decke (Unterostalpin) zusammen. Die Stuhleck-Kirchberg-Decke gehört dem Koralm-Wölz-Deckensystem an, die Semmering-Decke dem Semmering-Wechsel-Deckensystem (Schuster 2010 & 2013).

Die Stuhleck-Kirchberg-Decke besteht dabei ausschließlich aus Kristallingesteinen, welche durch Grobgnese, Glimmerschiefer-Folgen und Grüngesteine (Amphibolite) repräsentiert werden (Mandl et al., 2001; 3G, 2015a). Die Semmering-Decke hingegen setzt sich aus Karbonatgesteinen, Quarziten, Glimmerschiefern und Quarzphylliten zusammen (siehe Abbildung 4.1), wobei im Bereich von Spital am Semmering auch Serizitschiefer zutage treten (3G, 2015a).

In Anlehnung an die ältere Literatur (Tollmann, 1977) werden die Kristallinanteile der Stuhleck-Kirchberg-Decke und der Semmering-Decke weiterhin als „Semmering-Kristallin“ bezeichnet (Abbildung 4.1).

Die kristallinen Einheiten werden im Bereich des Mürztales und dessen Seitentälern von quartären Sedimenten überlagert, welche von glazigenen Hoch- und Niederterrassenschottern bis zu rezenten Schwemmfächern und Flussablagerungen reichen (3G, 2015b).

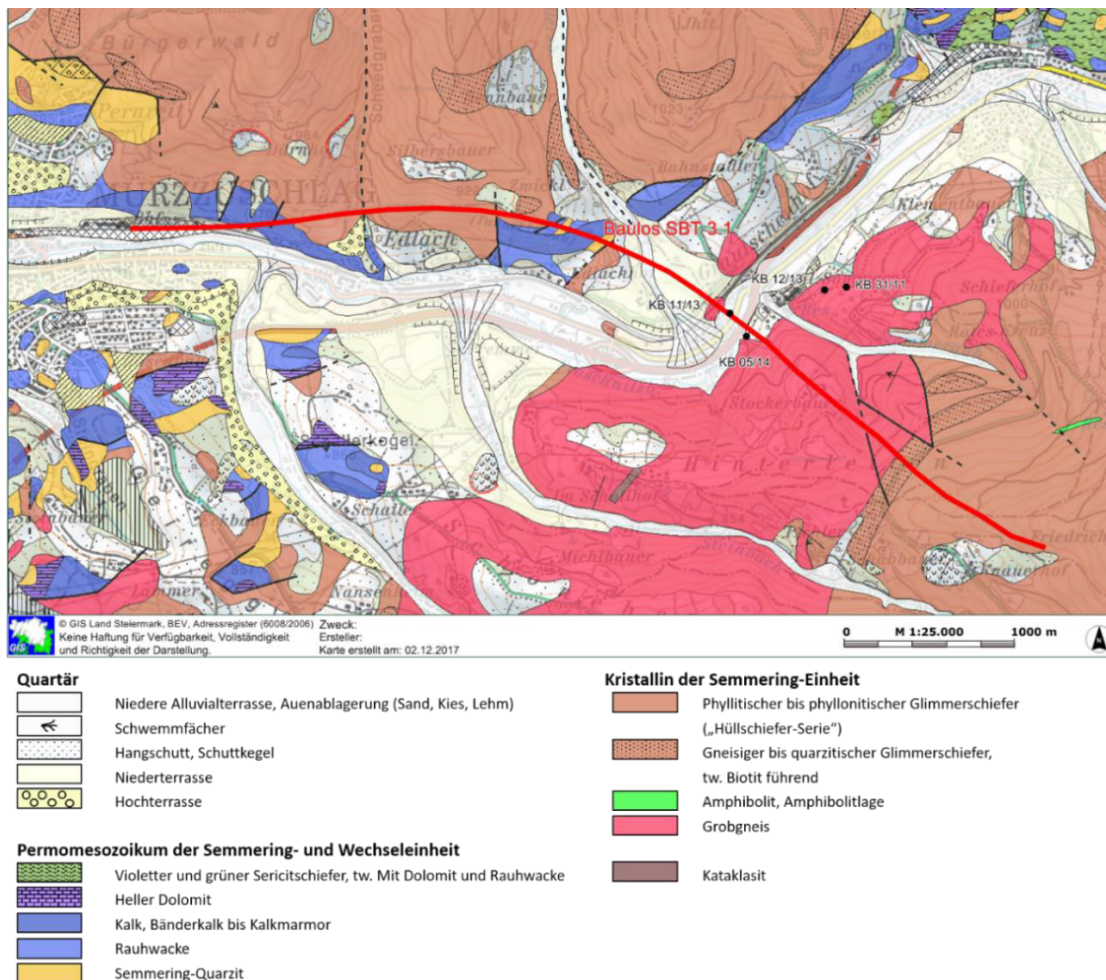


Abbildung 4.1 Geologische Übersichtskarte um das Gebiet von Baulos SBT 3.1 (Grundlage: Mandl et al., 2001; abgerufen unter GIS Steiermark, Stand Dezember 2017)

Die quartären Sedimente werden im Baulos SBT 3.1 nur auf kurzer Strecke im Bereich Mürzzuschlag in etwa zwischen Bahn-km 115,5 und 115,75 durchfahren. Zuvor werden bis km 103,0 die Karbonatgesteine und Quarzite des Permomesozoikums und bis km 102,3 Kristallingesteine der Semmering-Decke angetroffen, bevor zwischen km 101,7 und km 102,3 wieder das Permomesozoikum durchfahren wird, welches in diesem Bereich als Synklinalstruktur vorliegt (Abbildung 4.2) (3G, 2015b).

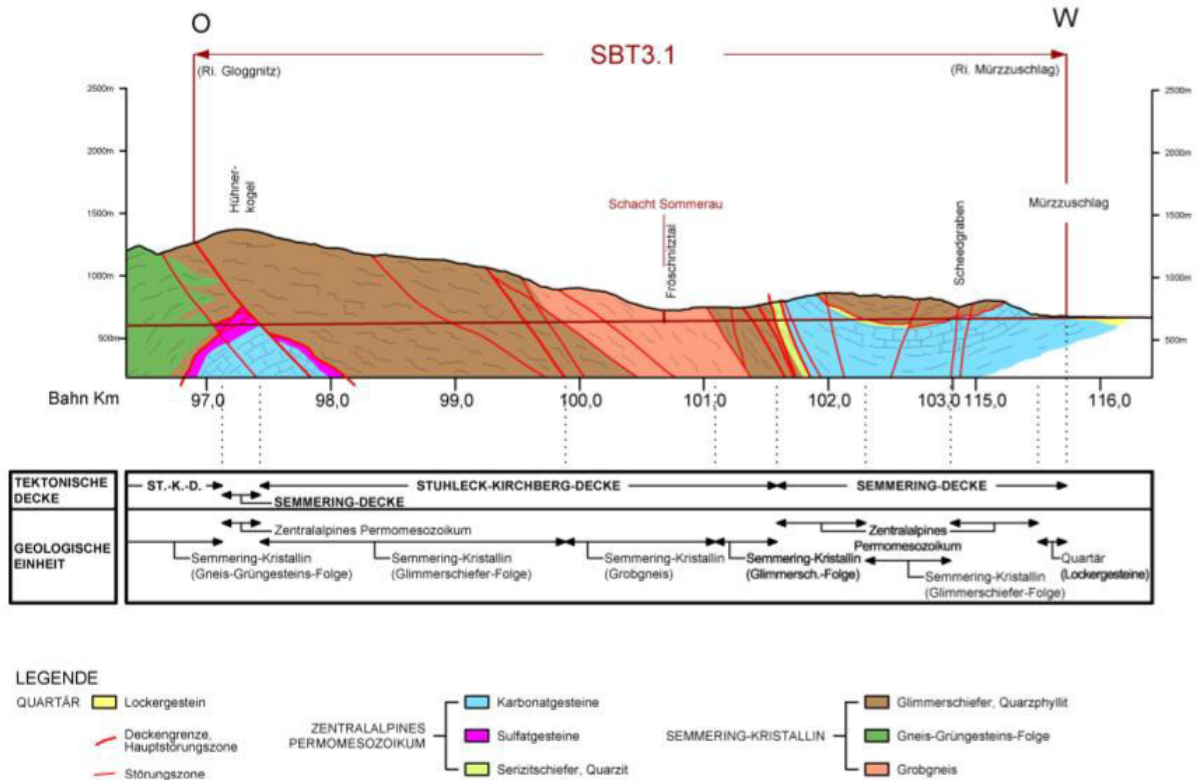


Abbildung 4.2 Vereinfachter geologischer Längenschnitt durch Baulos SBT 3.1 (3G, 2015a)

Im zentralen Teil des Bauloses wird zunächst wieder die Glimmerschiefer-Folge der Stuhleck-Kirchberg-Decke durchörtert. Danach, zwischen Bahn-km 99,875 und 101,175, wird der Grobgneis-Komplex, der ebenfalls der Stuhleck-Kirchberg-Decke angehört, durchfahren. Aus diesem stammen die Bohrungen bzw. Proben dieser Masterarbeit (3G, 2015a).

Die Grobgneise sind als granitische Schmelzen im Perm in die kristallinen Einheiten intrudiert (Koller et. al., 2002; Schuster 2010 & 2013). Der Grobgneis ist ein, im Bezug auf die Textur, meist massig bis schwach geschieferter, grobkörniger Orthogneis. Durch die tektonische Beanspruchung findet eine Zerlegung des Gesteins statt, es können dadurch feinkörnige bis grobkörnige Kataklastite entstehen (3G, 2015a).

In den Grobgneisen sind Einschaltungen aus stark geschiefertem und geschertem, phyllonitischem Grobgneis aufzufinden. Dieser sogenannte Grobgneisphyllonit wurde durch duktile tektonische Scherung mitsamt retrograder metamorpher Überprägung aus dem Grobgneis gebildet. Er zeichnet sich durch einen hohen Gehalt an Schichtsilikaten und elongierten Quarzkörnern aus. Aufgrund seiner Internstruktur besitzt der Grobgneisphyllonit, im Gegensatz zum Grobgneis, eine hohe Anisotropie (3G, 2015a).

Im Anschluss an diese Strecke wird erneut die Glimmerschiefer-Folge bis etwa km 97,5 durchfahren, gefolgt von einem 375 m langen Abschnitt durch Anhydrite und Karbonatgesteine des

Permomesozoikums. Den Abschluss des Bauloses bis Bahn-km 96,9 bildet die Gneis-Grüngesteins-Folge des Semmering-Kristallins, siehe Abbildung 4.2 (3G, 2015b).

4.1 Strukturgeologischer Überblick und Tektonik

Tektonisch wird das Semmering-Gebiet von der überregionalen SW-NO verlaufenden sinistralen Blattverschiebung des „Mur-Mürz-Semmering-Wiener-Becken-Störungssystems“ geprägt. Dieses System bildete sich in der Endphase der alpidischen Orogenese (Ebner & Sachsenhofer, 1995; 3G, 2015a). Dabei wurden die Alpen in Form von Keilen aufgrund der Kollision mit der eurasischen Platte im Norden entlang von großen Ost-West gerichteten Seitenverschiebungszonen nach Osten gepresst (Genser & Neubauer, 1989; Neubauer & Genser, 1990; Ratschbacher et al., 1991; Ebner & Sachsenhofer, 1991).

Im Bereich des Bauloses SBT3.1 verläuft das Störungssystem im Bereich des Fröschnitztales und weist eine Mächtigkeit von etwa 600 Metern auf (3G, 2015a). Mit ihm sind zahlreiche Störungen assoziiert, die entlang der gesamten Tunnelachse auftreten (Abbildung 4.2). Für die gegenständliche Arbeit treten im relevanten Bereich um den Grobgneiskomplex die Störungen dabei vielfach schieferungsparallel mit mittelsteilem bis steilem Einfallen nach NW bis W auf (3G, 2015b).

5 Methodik

5.1 Durchgeführte Analysen

Die Analysen wurden einerseits am Institut für Bodenmechanik und Grundbau und andererseits am Institut für Angewandte Geowissenschaften der TU Graz durchgeführt, und sie sind der folgenden Tabelle (Tabelle 5.1) zu entnehmen:

	Methodik	ermittelte Parameter
Bohrkernaufnahme	makroskopische Bohrkernbeschreibung	Lithologie, Gebirgszustand
Mineralogische Untersuchungen	Anschliff/Dünnschliffherstellung	Petrographie, Verzahnung, Kornverband
	Digitale Bildanalyse	Gefügedaten
	Röntgendiffraktometrie	Mineralogische Zusammensetzung
Bodenmechanische Versuche	Siebanalyse, Sedigraph	Korngrößenverteilung, k_f -Wert (mittels Berechnung)
	Tauchwägung	Porenanteil / Porenzahl
	Kapillarpyknometer	Korndichte
Bohrlochgeophysik	Natural Gamma Ray	Porosität
	Gamma Gamma Dichte	

Tabelle 5.1 Durchgeführte Analysen und daraus abgeleitete Parameter

5.2 Bohrkernaufnahme

Die geeigneten Bohrkernstrecken wurden vorab anhand der Informationen, welche von der Firma 3G zur Verfügung gestellt wurden, ausgewählt. Auswahlkriterien stellten sowohl die bereits determinierte Gebirgsart der Bohrungen als auch untergeordnet die Erreichbarkeit der Bohrkernkisten im Bohrkernlager selbst dar.

Eine Gebirgsart beschreibt einen Gebirgskörper, der gleichartige Eigenschaften aufweist. Unter anderem sind Gesteinseigenschaften, Trennflächeneigenschaften, Eigenschaften des Korngemisches, der Grad der Verdichtung des Materials sowie hydrologische Einflüsse und hydraulische Parameter ausschlaggebend (ÖGG, 2008).

Für die nachfolgenden Analysen wurden nur Bohrkernstrecken berücksichtigt, die zum einen Gesteine aus Störungszonen oder zum anderen sehr stark zerlegten Fels des Semmering-Kristallines repräsentieren.

Als geeignet erwiesen sich die Kernstrecken aus folgenden Bohrungen der angegebenen Teufen:

<i>KB-31/11</i>	<i>KB-11/13</i>	<i>KB-12/13</i>	<i>KB-05/14</i>
<i>40-56m</i>	<i>66-100m</i>	<i>70-76m</i>	<i>16-41m</i>
			<i>90-92m</i>

5.2.1 Makroskopische Bohrkernbeschreibung

Im Zuge der makroskopischen Beschreibung der Bohrkern im Bohrkernlager in Aue, Niederösterreich, wurde eine erste detailreiche Klassifizierung (Tabelle 6.2 im Ergebnisteil) der Störungsgesteine entwickelt.

Anhand dieser Klassifizierung der Kataklasite erfolgte im Anschluss die gezielte Probennahme. Die Probenstücke wurden mithilfe einer elektrischen Handkreissäge mitsamt dem Kernhüllrohr an den ausgewählten Teufen abgesägt, danach luftdicht verpackt und darauffolgend in das Labor zur weiteren Bearbeitung überstellt.

Anschließend erfolgte im Labor ergänzend eine vertiefte makroskopische Probenbeschreibung. Basierend auf dieser Beschreibung wurden für die Probenstücke erste Abschätzungen bezüglich des Potenzials für „fließendes Gebirgsverhalten“ getroffen.

Letztendlich wurden die Ergebnisse der makroskopischen Bohrkernaufnahmen mithilfe der Software „gINT“ in Form von Bohrprofilen visualisiert, siehe Abbildung 6.2 bis Abbildung 6.7 in Kapitel 6, „Beschreibung der Bohrkernstrecken“.

5.3 Mineralogische Versuche

5.3.1 Dünnschliffherstellung

Für die Herstellung der Gesteinsdünnschliffe wurden die adäquaten Probenstücke in Epoxidharz eingebettet, wonach sie mithilfe eines Nassschneiders mit Diamanttrennscheibe in eine Klötzchenform gebracht wurden. Nach weiterem Einharzen wurden sie mit der Säge „Discoplan-TS“ der Firma Struers an die Größe der Quarzglas-Plättchen angepasst und auf einer elektrischen Schleifscheibe grob vorgeschliffen. Nach oftmaligem Schleifen und Einharzen konnte eine planparallele Oberfläche erzeugt werden und das Klötzchen mit Siliciumcarbid für eine feine Oberflächenstruktur weiterbehandelt werden. Im Anschluss darauf wurde die Probe auf einen Glasobjektträger aufgeklebt und mit der Säge „PetroThin“ der Firma Buehler von diesem soweit heruntergesägt, dass nur mehr eine etwa 40 µm dicke Gesteinsschicht das Glas bedeckte. Mit dem Siliciumcarbid-Pulver wurde der Dünnschliff dann manuell auf eine Dicke von etwa 30 µm poliert (Abbildung 5.1).



Abbildung 5.1 Vom Probenstück bis zum Dünnschliff

5.3.2 Digitale Bildanalyse

Um die Dünnschliffe auszuwerten, wurden sie unter dem Polarisationsmikroskop von Leica anhand der Bildanalyse-Software „Stream“ von Olympus petrographisch beschrieben. Ebenso mit dieser Software wurde die Bildbearbeitung der Anschliffe vorgenommen. Eine Evaluierung der Korngrößen, der Kornformen als auch des Verhältnisses des Korngehalts zum Matrixanteil, sowie des Anteils an intaktem Material war somit möglich. Im Zuge der Bildbearbeitung wurden die Flächen der intakten Bereiche im Anschliff erfasst und summiert. In Bezug auf die erfasste Gesamtfläche des Probestückchens ergab die Summe den Prozentanteil der intakten Bereiche in der Probe. Rot schraffierte Flächen markieren intakte Teilbereiche, gelb markierte Bahnen sollen besonders feinkörnige Lagen verdeutlichen (siehe Abbildung 6.8 bis Abbildung 6.15 im Ergebnisteil).

Während durch die Anschliffe ein größerer Maßstab abgebildet wird, erlauben die Dünnschliffe eine genaue Mineraldetermination und Gefügedaten können kleinräumiger erfasst und beschrieben werden.

Die Gesamtheit der ermittelten Parameter ließ eine detaillierte Beschreibung des Gefüges, der Struktur und der Textur zu, um somit eine differenzierte Ansprache des Probenmaterials der einzelnen Klassen zu ermöglichen und Unterschiede zu verdeutlichen.

5.3.3 Röntgendiffraktometrie

Für die Durchführung der Röntgendiffraktometrie wurde das getrocknete Probenmaterial zu einem feinen Pulver in einer Achatmühle vermahlen. Im Anschluss wurde dieses in einem Mörser händisch weiter zerkleinert und in einen Objektträger präpariert. Die Messung erfolgte im „PANalytical X'Pert“-Diffraktometer, in welchem die Röntgenstrahlung durch eine Kobaltquelle erzeugt wird.

Die Phasenidentifikation wurde mit der dazugehörigen Software „HighScore Plus“ vorgenommen.

Anhand der ermittelten Daten konnten die Gehalte der im Probenmaterial enthaltenen Mineralphasen bestimmt werden.

5.4 Bodenmechanische Versuche

5.4.1 Siebanalyse

Die Siebanalyse wurde der EN ISO 17892-4 gerecht durchgeführt. Dazu wurde im ersten Schritt 300 g des getrockneten Probenmaterials abgewogen und auf dem Schüttler in Suspension gebracht. Dem Größtkorn gemäß wurden darauf die Siebe mit den folgenden normgerechten Maschenweiten ausgewählt:

$>8\text{ mm} - >6,3\text{ mm} - >4\text{ mm} - >2\text{ mm} - >1\text{ mm} - >500\text{ }\mu\text{m} - >250\text{ }\mu\text{m} - >125\text{ }\mu\text{m} - >63\text{ }\mu\text{m}$



Abbildung 5.2 Getrocknete Fraktionen $>4\text{ mm} - >63\text{ }\mu\text{m}$

Nach dem Siebvorgang wurden die jeweiligen Fraktionen getrocknet (siehe Abbildung 5.2) und rückgewogen.

Die Fraktion <63 µm wurde mit Natriumpyrophosphat versetzt und nach der Behandlung am Rührer und im Ultraschallbad im „SediGraph III Plus“ der Firma „Micromeritics“ gemessen. Dadurch konnten die Korngrößen <63 µm genauer differenziert werden, ohne dass eine Schlämmanalyse durchgeführt werden musste.

Aus den Resultaten wurden in „MS Excel“ Körnungslinien erstellt, anhand welcher die Klassifizierung der feinkörnigen Kataklastite vorangetrieben wurde. Dies ermöglichte zusätzlich eine präzise Ansprache im feinkörnigen Bereich und ergänzte die zuvor beobachteten makroskopischen Parameter.

5.4.2 Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwertes (k_f -Wert)

Mithilfe des Excel Programms „HydrogeoSieveXL v 2.2“ (Devlin, 2015) konnte der Durchlässigkeitsbeiwert (k_f -Wert) aus der labortechnisch ermittelten Kornverteilung errechnet werden. Die Resultate sind von der Formel nach Vukovic & Soro (1992) abgeleitet:

$$k = 0,0084 \times \frac{g}{v} \times d_{20}^{0,3} \times d_{10}^2 \quad \left[\frac{m}{s}\right]$$

k Durchlässigkeit
 g Erdbeschleunigung
 v Viskosität des Fluids
 d_{10} & d_{20} wirksame Korndurchmesser

5.4.3 Bestimmung des Porenanteils/der Porenzahl durch Tauchwägung

Im Zuge der Tauchwägung wurde das getrocknete Probenstück in einer Größe von etwa 10 bis 15 cm mit mehreren Wachsschichten umschlossen, sodass eine wasserundurchlässige Schicht entstand. Des Weiteren wurde der Prüfkörper zuerst im offenen Raum, anschließend unter Wasser abgewogen. Aufgrund enthaltener Poren im Probenmaterial entstand ein signifikanter Auftrieb, durch den in Kombination mit der Korndichte und der Differenz der eingewogenen Werte das Feststoffvolumen sowie das Hohlraumvolumen errechnet wurden. Aus jenen Parametern ergab sich die Porenzahl. Um den Porenanteil (n) zu determinieren, wurden das Hohlraumvolumen sowie das Gesamtvolumen des Prüfkörpers benötigt.

$$n = \frac{V_p}{V_g} \quad [\%]$$

V_p Hohlraumvolumen
 V_g Gesamtvolumen

Der Porenanteil stellt einen wichtigen Faktor für das fließende Gebirgsverhalten dar, da dieses unerwünschte Verhalten, unter anderem durch nutzbaren Porenraum, begünstigt werden kann. Insofern ist auch der Kompaktion des Probenmaterials große Bedeutung zuzuschreiben.

5.4.4 Bestimmung der Korndichte nach ÖNORM EN ISO 17892-3

Um die Volumbestimmung durchzuführen, wurde primär die Korndichte der jeweiligen Probenstücke ermittelt.

Die Korndichte ist die Masse der Körner, die sich aus deren Volumen sowie eingeschlossener Hohlräume zusammensetzt. Durch sie können sowohl bestehende Minerale als auch Volumenanteile der Bodenphasen determiniert werden (Witt, 2008).



Abbildung 5.3 Pyknometer Versuchsabfolge

Für die normgerechte Durchführung des Versuchs war vorab die jeweilige Masse als auch das Volumen des Pyknometers bestimmt worden. Die Probe wurde behutsam zerkleinert, sodass das Einzelkorn nicht zerstört wurde und bei 105° C getrocknet. Im Anschluss wurden 20 g der Trockenmasse in das Kapillarpyknometer eingewogen, mit destilliertem Wasser aufgefüllt und unter Vakuum entlüftet (siehe Abbildung 5.3). Nach der präzisen Einwaage konnte die Korndichte (ρ_s) aus den verschiedenen Parametern, unter Berücksichtigung der Raumtemperatur, aus folgender Formel berechnet werden:

$$\rho_s = \frac{m_d}{V_k} \quad \left[\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right]$$

m_d Trockenmasse der Probe
 V_k Volumen der Probe

5.5 Bohrlochgeophysik

In sämtlichen Bohrungen wurden geophysikalische Messungen durchgeführt, deren Daten ergänzend ausgewertet wurden. Die Daten wurden von der Firma 3G GRUPPE GEOTECHNIK GRAZ ZT GMBH zur Verfügung gestellt.

Gemessen wurden Natural Gamma Ray (NGR), Gamma Dichte (GGD) sowie Sonic Log. Daraus wurden Porosität, Tonmineralgehalt und Gesamtgesteinsdichte abgeschätzt, wobei die Porosität aus dem Gamma-Gamma-Dichte-Log errechnet wurde.

Großräumig ließen sich somit die Unterschiede der genannten Parameter in den verschiedenen Teufen der Bohrlöcher abschätzen.

Die Auswertung und Visualisierung erfolgte mit der Software „Interactive Petrophysics“.

6 Ergebnisse

Im folgenden Teil werden die Ergebnisse der Laboruntersuchungen präsentiert. Es werden Parameter, die ein „fließendes Gebirgsverhalten“ beeinflussen, wie etwa die Korngrößenverteilung, Gefügedaten, Durchlässigkeit, Porenanteil und die Mineralogie dargelegt. Tabelle 6.1 stellt die durchgeführten Methoden am jeweiligen Probenmaterial dar. Die Probenbezeichnung setzt sich aus den Anfangsbuchstaben „TS“, darauffolgend der Bezeichnung der Kernbohrung und schließlich einer fortlaufenden Nummer zusammen.

Probenbezeichnung	Teufe [m]	Makroskopische Bohrkern- Beschreibung	Dünnschliff- Herstellung	Digitale Bildanalyse	Röntgen- Diffraktometrie	Siebanalyse	Kf-Wert Berechnung	Tauchwägung (Porenanteil, Dichte)
TS05_14-01	26,00-26,28	X	-	X	X	X	X	X
TS05_14-02	31,42-31,52	X	-	X	-	-	-	-
TS31_11-03	49,20-49,35	X	X	X	X	X	X	X
TS31_11-04	48,30-48,53	X	X	X	X	X	X	X
TS31_11-05	48,90-49,00	X	-	X	-	X	X	X
TS31_11-06	51,45-51,65	X	-	-	-	-	-	-
TS31_11-07	51,80-52,00	X	-	X	-	X	X	-
TS31_11-08	54,70-55,00	X	-	X	-	X	X	X
TS05_14-09	31,76-32,00	X	-	X	-	X	X	X
TS05_14-10	35,80-36,00	X	-	-	-	X	X	X
TS31_11-11	47,00-47,15	X	-	X	-	X	X	X
TS31_11-12	47,15-47,30	X	-	X	-	X	X	X
TS11_13-13	66,85-67,00	X	-	X	-	X	X	X
TS11_13-14	67,25-67,50	X	-	X	-	X	X	X
TS05_14-15	35,20-35,40	X	X	X	-	X	X	X
TS05_14-16	36,05-36,30	X	-	X	-	X	X	X
TS12_13-17	72,15-72,45	X	-	-	-	-	-	-
TS31_11-18	55,60-55,80	X	X	X	-	X	X	-
TS11_13-19	75,60-75,80	X	-	X	-	X	X	X
TS12_13-20	73,40-73,70	X	-	-	-	-	-	-
TS05_14-21	37,20-37,65	X	-	-	-	-	-	X
TS05_14-22	29,65-29,70	X	-	-	-	X	X	X
TS11_13-24	80,50-80,55	X	-	-	-	-	-	X
TS11_13-25	98,00-98,25	X	-	-	-	-	-	-
TS11_13-26	98,05-98,20	X	-	X	-	-	-	X
TS05_14-27	40,75-41,00	X	-	X	-	-	-	-
TS05_14-28	23,00-23,20	X	-	X	-	X	X	X
TS11_13-29	79,60-79,80	X	-	X	-	-	-	-
TS11_13-30	73,70-74,00	X	X	X	X	X	X	X
TS31_11-31	55,00-55,30	X	-	X	X	X	X	X
TS05_14-32	36,30-36,60	X	X	X	X	X	X	-
TS05_14-33	27,80-28,00	X	-	-	-	X	X	X
TS11_13-34	76,45-76,60	X	X	X	X	-	-	X
TS11_13-35	87,20-87,85	X	X	X	X	-	-	-

Tabelle 6.1 Angewandte Methoden am Probenmaterial

6.1 Klassifizierung nach makroskopischer Ansprache

Die Störungsgesteine wurden anhand der makroskopischen Ansprache in Klassen untergliedert. Die Basis für diese bildete die ingenieurgeologische Klassifizierung der kataklastischen Gesteine nach Riedmüller et al. (2001). Aufgrund einer detailreichen Bohrkernaufnahme war eine differenziertere Ansprache des Materials möglich. Somit ergaben sich die Klassen 1 bis 5 C, siehe Tabelle 6.2.

Den bestimmenden Parameter für die Klassifizierung stellte die Korngrößenverteilung dar, wobei durch einen hohen Feinkornanteil in den Proben im Besonderen auf diesen eingegangen wurde.

Bezeichnung	Klasse	Beschreibung	Probenbezeichnung
C-Kataklasit	1	hoher Ton-Anteil, hoher Schluff-Anteil, teilweise kleine Quarzkörner in tonig-schluffiger Matrix eingebettet	TS31_11-11
M-Kataklasit	2 A	schluffig, gering tonig, gering sandig, höherer Feinkornanteil	TS05_14-01; TS31_11-03; TS05_14-09
	2 B	stark schluffig, sandig, gering tonig, teils quarzreichere Linsen, höherer Grobkornanteil	TS05_14-02; TS31_11-04; TS31_11-05; TS31_11-07; TS31_11-08; TS31_11-12; TS05_14-16
M-S-Kataklasit		schluffig, viel Schluff sowie Ton, fließende Übergänge	Keine Probennahme
S-Kataklasit	3 A	sandig, schluffig, gering kiesig, höherer Feinkornanteil	TS05_14-10; TS11_13-14; TS05_14-15
	3 B	sandig, kiesig, gering schluffig, teilweise kleine Schüppchen aus Grobgneis sowie Grobgneisphyllonit, höherer Grobkornanteil	TS11_13-13; TS12_13-17; TS31_11-18; TS11_13-19; TS31_11-31
S-G-Kataklasit		sandig kiesig, schluffig, teilweise Quarzlinsen, fließende Übergänge	Keine Probennahme
G-Kataklasit	4 A	kiesig, betont sandig, wenig Schluff sowie Ton	TS12_13-20; TS05_14-21; TS05_14-22; TS11_13-24; TS11_13-25
	4 B	kiesig, gering sandig, Linsen aus Grobgneisphyllonit, teilweise Quarzlinsen	TS05_14-27; TS05_14-28; TS11_13-29; TS11_13-30
	4 C	kiesig, wenig sandig, Übergang zu intakterem Grobgneisphyllonit	TS11_13-35
Grobgneis	5 A	stark kataklastisch überprägt, geschiefert, +/- Krenulation (entspricht teilweise Typ 4 C)	TS05_14-32; TS05_14-33; TS11_13-34
	5 B	leicht kataklastisch überprägt, leicht geschiefert, +/- serizitisiert, +/- phyllonitisch	TS11_13-26
	5 C	massig, intaktes Gestein, teilweise Quarzaugen sowie Feldspat-Augen	TS31_11-06

Tabelle 6.2 Klassifizierung der Kataklasite nach makroskopischer Bohrkernansprache

Die in Tabelle 6.2 beschriebenen Kataklasit-Typen M-S-Kataklasit und S-G-Kataklasit zeichnen sich durch fließende Übergänge zwischen M- und S-Kataklasiten sowie jenen von S- zu G-Kataklasiten aus. In den Schichtprofilen der Bohrkernstrecken wurden diese beim Antreffen aufgenommen, jedoch erfolgte keine Probennahme dieser Kataklasite. Da sie nicht eindeutig zuzuordnen waren, sondern Mischformen von Kataklasit-Typen darstellten, erschien eine Beprobung des Materials nicht empfehlenswert und es wurden keine Klassen-Bezeichnungen vergeben.

6.2 Beschreibung der Bohrkernstrecken

Im folgenden Abschnitt werden die detaillierten Beschreibungen der Bohrkernstrecken in Form eines Schichtprofils präsentiert. Dieses wurde anhand der Software „gINT“ (Geotechnical and Geoenvironmental Software) visualisiert.

Weiters wurden die Aufnahmen der Bohrkernkisten zum Zeitpunkt der makroskopischen Aufnahme in die Grafik eingefügt um einen Eindruck bezüglich des Zustands der Bohrkernkerne zu vermitteln.

Der Fokus der makroskopischen Bohrkernansprache lag unter anderem auf Lithologie, Korngrößenverteilung, Mineralbestand, Zerlegungsgrad sowie dem Gefüge. Die Zuweisung zu den einzelnen Klassen (Tabelle 6.2) erfolgte im Anschluss auf die Bohrkernbeschreibung.

In der Abbildung 6.2 bis zur Abbildung 6.7 wird das Schichtprofil der Kernbohrung KB 11/13 präsentiert. Die Schichtprofile der restlichen Kernbohrungen (KB 31/11, KB 12/13 & KB 05/14) sind dem „Anhang I“ zu entnehmen.

Die Legende des Schichtprofils wird in Abbildung 6.1 gezeigt:

LEGENDE SCHICHTPROFIL

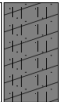

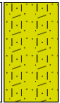

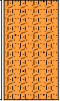









C - Kataklasit (1)		G - Kataklasit (4A)	
M - Kataklasit (2A)		G - Kataklasit (4B)	
M - Kataklasit (2B)		G - Kataklasit (4C)	
M-S - Kataklasit		Grobgneis (5A)	
S - Kataklasit (3A)		Grobgneis (5B)	
S - Kataklasit (3B)		Grobgneis (5C)	
S-G - Kataklasit		Derbquarz	

Abbildung 6.1 Legende der Lithologien zu den aufgenommenen Bohrkernstrecken

6.2.1 Bohrkernstrecke KB 11_13

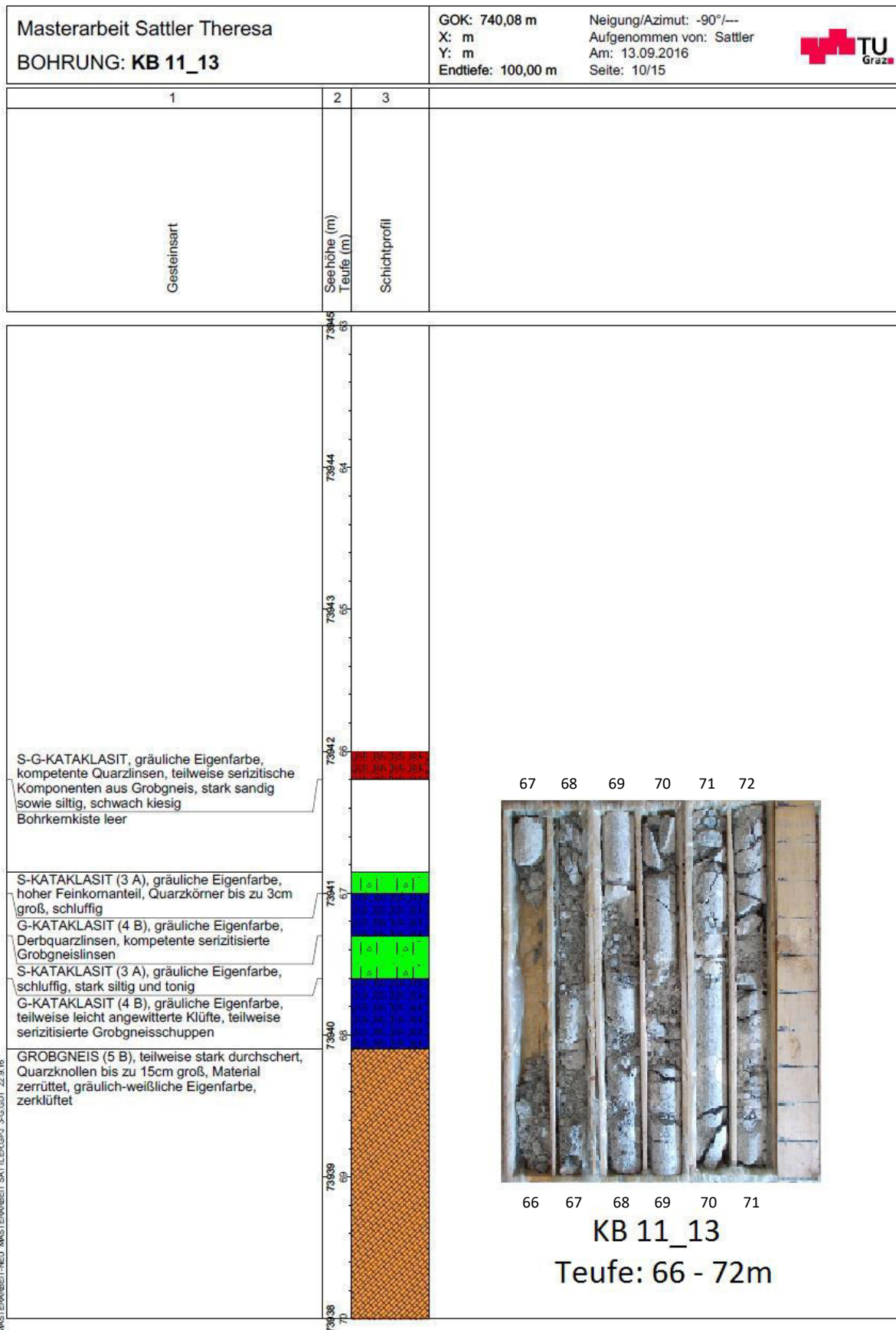


Abbildung 6.2 Schichtprofil der Kernbohrung KB 11/13

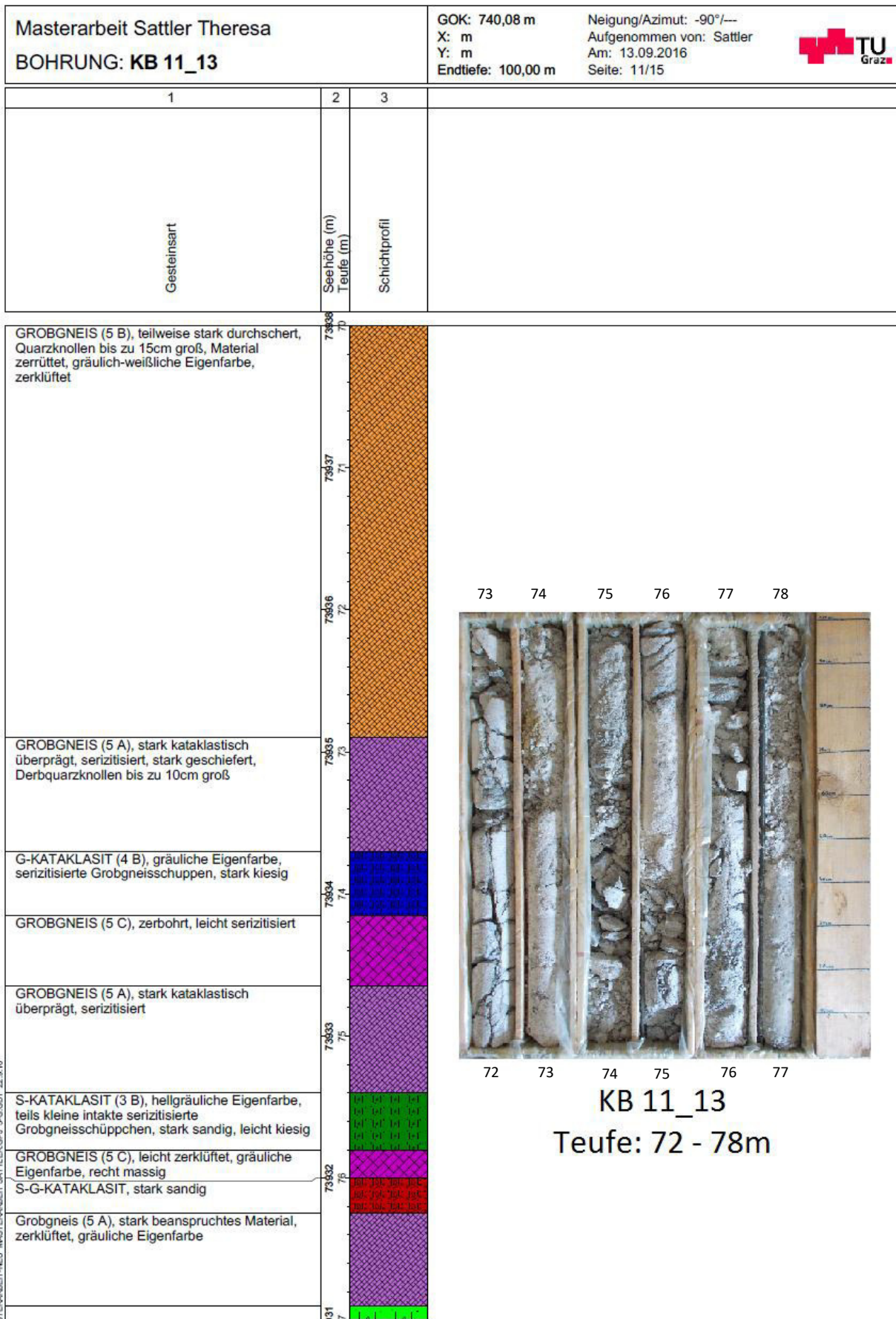


Abbildung 6.3 Schichtprofil der Kernbohrung KB 11/13

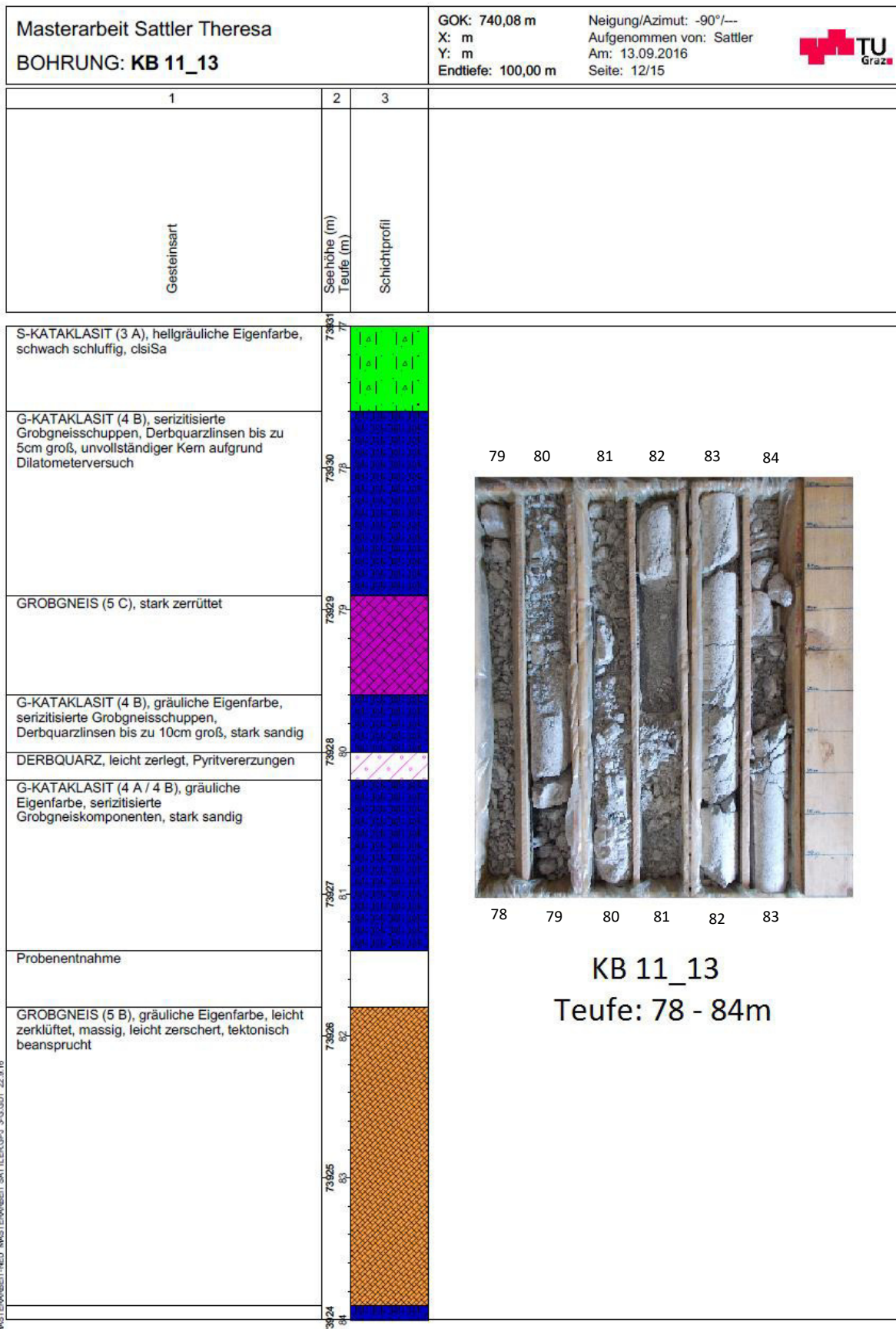


Abbildung 6.4 Schichtprofil der Kernbohrung KB 11/13

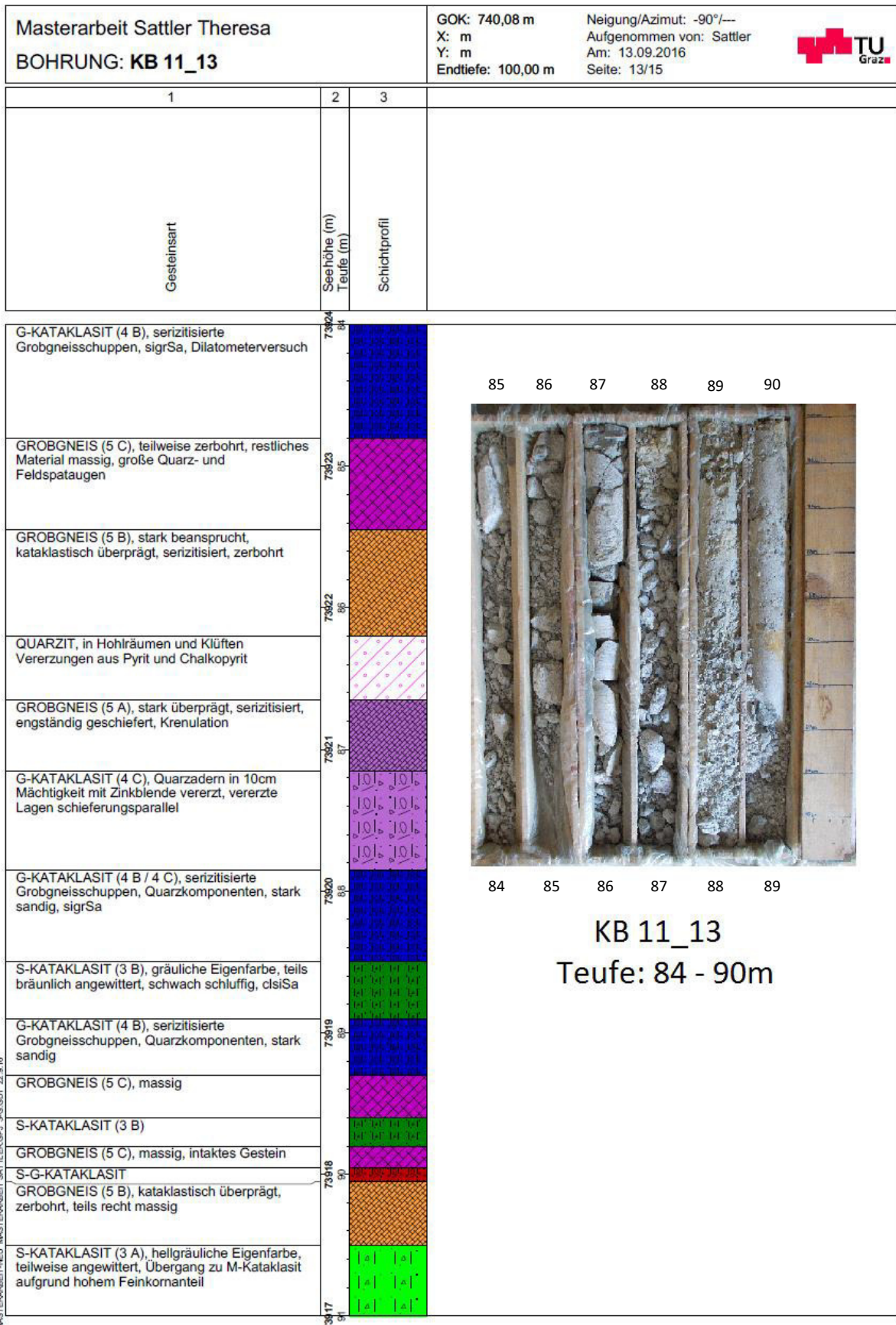


Abbildung 6.5 Schichtprofil der Kernbohrung KB 11/13

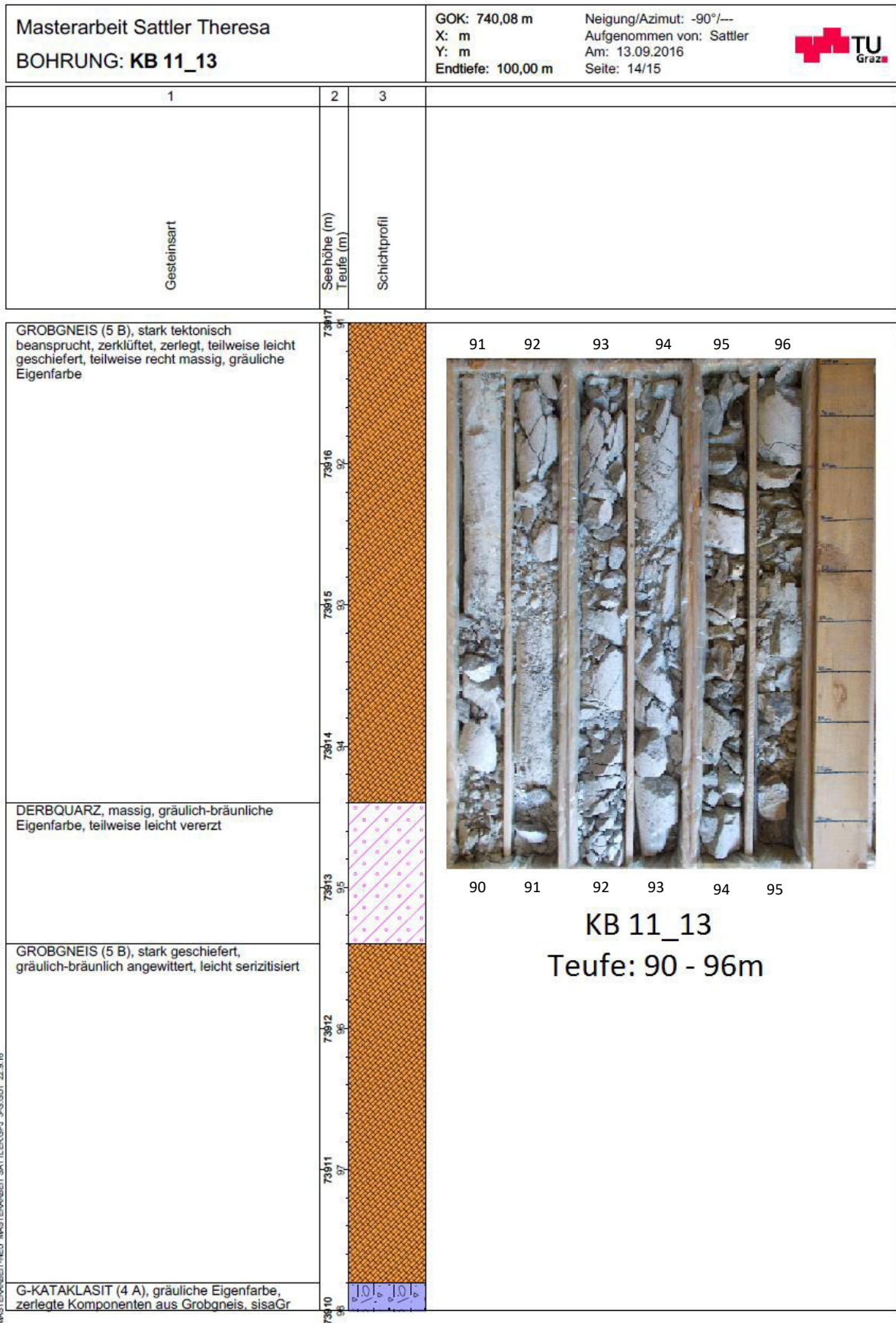
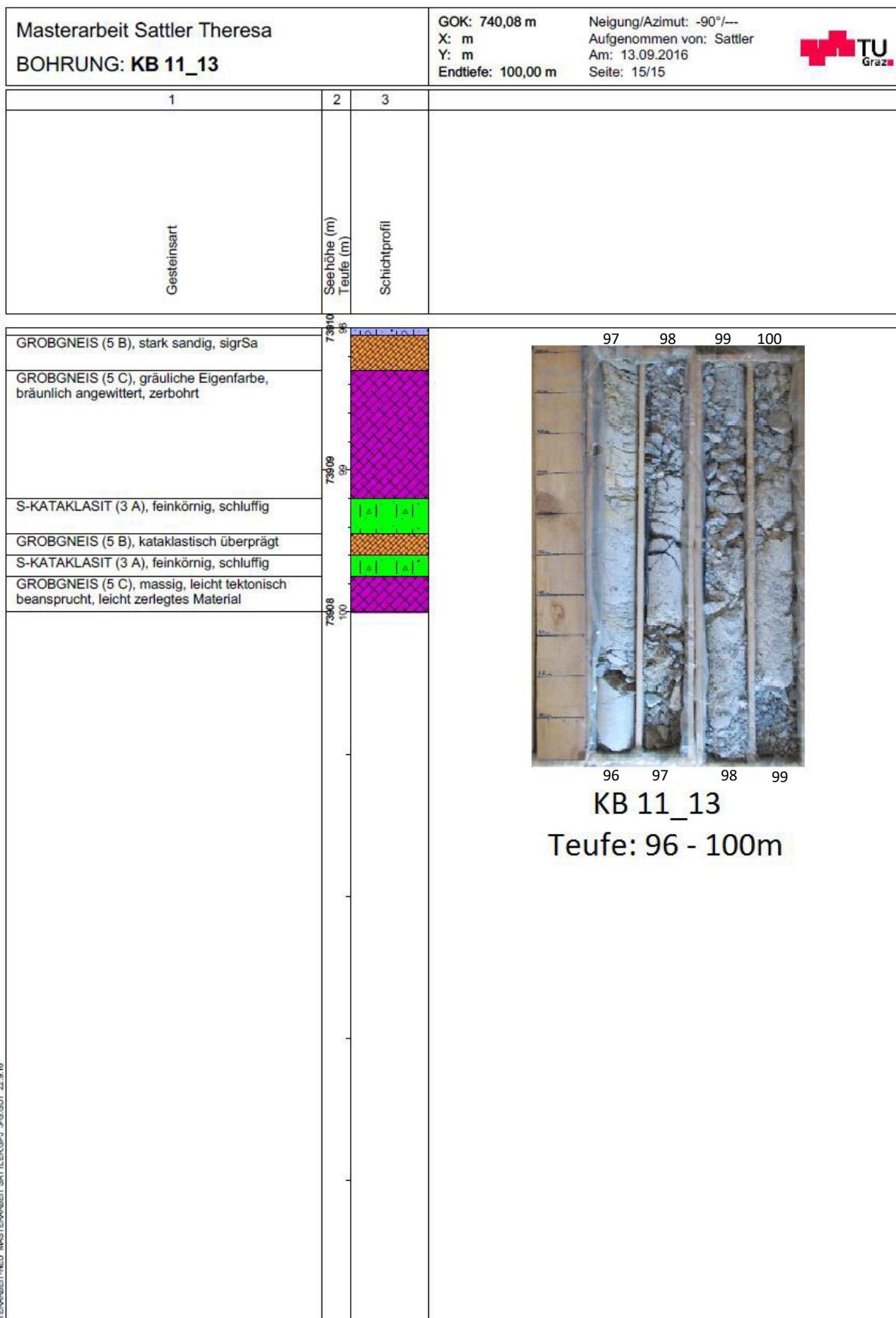


Abbildung 6.6 Schichtprofil der Kernbohrung KB 11/13



MASTERARBEIT-NEU MASTERARBEIT SÄTTLER,GRUJ 3-G.GDT 22.9.16

Abbildung 6.7 Schichtprofil der Kernbohrung KB 11/13

6.3 Makroskopische Probenbeschreibung

Die makroskopische Probenbeschreibung wurde anschließend an die Probennahme, ergänzend zu den Bohrkernaufnahmen, durchgeführt. Eine differenzierte Ansprache sämtlicher Proben wurde somit ermöglicht (Tabelle 6.3 bis Tabelle 6.13). Die Klassifizierung in den folgenden Tabellen erfolgte nach jener der makroskopischen Ansprache basierend auf den Bohrkernaufnahmen.




Probenbezeichnung	Klasse	Bohrung & Teufe [m]	Probenfoto	Beschreibung
TS05_14-01	2 A	KB 05/14 26,00-26,28	 TS 05_14-01	M-KATAKLASIT gräuliche Eigenfarbe, teilweise bräunlich angewittert, zerlegt Grobgneisschüppchen bilden das „Gerüst“, schlecht sortiert, sandig, schluffig, gering kiesig
TS05_14-02	2 B	KB 05/14 31,42-31,52	 TS 05_14-02	M-KATAKLASIT gräuliche Eigenfarbe, bräunlich angewittert, sandig, schluffig
TS31_11-03	2 A	KB 31/11 49,20-49,35	 TS 31_11-03	M-KATAKLASIT weißlich-gräuliche Eigenfarbe, Material stark kompaktiert, stark schluffig, gering kiesig, besonders hoher Feinkornanteil, vereinzelte Quarzkörner bis zu 5 mm groß

Tabelle 6.3 Makroskopische Ansprache des Probenmaterials TS05_14-01; TS05_14-02; TS31_11-03



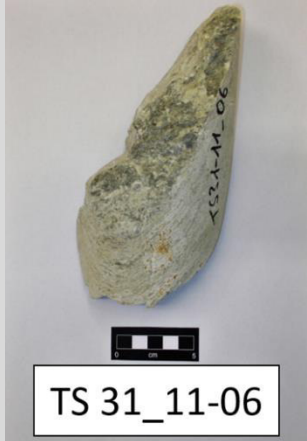
Probenbezeichnung	Klasse	Bohrung & Teufe [m]	Probenfoto	Beschreibung
TS31_11-04	2 B	KB 31/11 48,30-48,53		M-KATAKLASIT gräulich-bräunliche Eigenfarbe, Struktur von Grobgneis noch erhalten, teilweise stark zerlegte Quarzlinsen, sandig-schluffig mit hohem Feinkornanteil, gering kiesig
TS31_11-05	2 B	KB 31/11 48,90-49,00		M-KATAKLASIT gräulich-bräunliche Eigenfarbe, stark schluffig, betont hoher Feinkornanteil, in feiner Matrix sind größere Quarzlinsen
TS31_11-06	5 C	KB 31/11 51,45-51,65		GROBGNEIS gräuliche Eigenfarbe, Material leicht beansprucht, leichte Schieferung erkennbar, serizitisch, stark kataklastisch überprägt, zerlegt

Tabelle 6.4 Makroskopische Ansprache des Probenmaterials TS31_11-04; TS31_11-05; TS31_11-06



Probenbezeichnung	Klasse	Bohrung & Teufe [m]	Probenfoto	Beschreibung
TS31_11-07	2 B	KB 31/11 51,80-52,00		<p>M-KATAKLASIT</p> <p>gelblich-bräunlich angewittert, teilweise Grobgneisschüppchen vorhanden, gering kiesig, stark sandig, schluffig</p>
TS31_11-08	2 B	KB 31/11 54,70-55,00		<p>M-KATAKLASIT</p> <p>gelblich-bräunlich verwittert, Quarzkörner von 1 bis 3mm Größe in feinkörniger Matrix eingebettet, stellenweise komplett zerlegt Quarzzerreibsel, gering sandig, stark schluffig-tonig</p>

Tabelle 6.5 Makroskopische Ansprache des Probenmaterials TS31_11-07; TS31_11-08

Probenbezeichnung	Klasse	Bohrung & Teufe [m]	Probenfoto	Beschreibung
TS05_14-09	2 A	KB 05/14 31,76-32,00		M-KATAKLASIT sandig-gering kiesig, stark schluffig, hoher Feinkornanteil
TS05_14-10	3 A	KB 05/14 35,80-36,00		S-KATAKLASIT bräunlich angewittert, teilweise kleine Grobgneisschüppchen vorhanden, sandig, stark schluffig, hoher Feinkornanteil, Quarzerreißel
TS31_11-11	C- Kataklasit	KB 31/11 47,00-47,15		C-KATAKLASIT Material stark kompaktiert, gräulich- hellbräunliche Eigenfarbe, sehr hoher Feinkornanteil, Quarzkörner in tonig schluffiger Matrix

Tabelle 6.6 Makroskopische Ansprache des Probenmaterials TS05_14-09; TS05_14-10; TS31_11-11

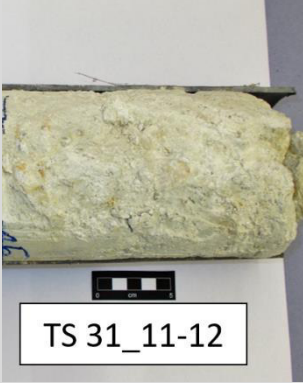



Probenbezeichnung	Klasse	Bohrung & Teufe [m]	Probenfoto	Beschreibung
TS31_11-12	2 B	KB 31/11 47,15-47,30		M-KATAKLASIT Probe stark kompaktiert, hellgrau-bräunliche Eigenfarbe, kleine Grobgneisschüppchen vorhanden, chloritisch, serizitisch, sandig, stark schluffig
TS11_13-13	3 B	KB 11/13 66,85-67,00		S-KATAKLASIT gräuliche Eigenfarbe, größere Grobgneisschüppchen erhalten, Quarzkörner bis zu 3 cm groß, sandig-kiesig, gering schluffig
TS11_13-14	3 A	KB 11/13 67,25-67,50		S-KATAKLASIT gräuliche Eigenfarbe, abwechselnd Horizonte aus beanspruchtem Grobgneis und Bahnen aus komplett zerriebenem Material, kiesig-sandig, stark schluffig, gering tonig
TS05_14-15	3 A	KB 05/14 35,20-35,40		S-KATAKLASIT leicht bräunlich angewittert, kiesig-sandig, geringer Feinkornanteil, schlecht sortiert

Tabelle 6.7 Makroskopische Ansprache des Probenmaterials TS31_11-12; TS11_13-13; TS11_13-14; TS05_14-15




Probenbezeichnung	Klasse	Bohrung & Teufe [m]	Probenfoto	Beschreibung
TS05_14-16	2 B	KB 05/14 36,05-36,30		M-KATAKLASIT Material zerlegt, Probe kompaktiert, schlecht sortiert, gräuliche Eigenfarbe, stark sandig, schluffig
TS12_13-17	3 B	KB 12/13 72,15-72,45		S-KATAKLASIT Material entfestigt, gräuliche Eigenfarbe, sandig, kiesig
TS31_11-18	3 B	KB 31/11 55,60-55,80		S-KATAKLASIT gräuliche Eigenfarbe, sandig, gering kiesig, geringer Feinkornanteil, teilweise fließende Übergänge zu M-Kataklasit

Tabelle 6.8 Makroskopische Ansprache des Probenmaterials TS05_14-16; TS12_13-17; TS31_11-18




Probenbezeichnung	Klasse	Bohrung & Teufe [m]	Probenfoto	Beschreibung
TS11_13-19	3 B	KB 11/13 75,60-75,80		<p>S-KATAKLASIT</p> <p>hellgräuliche Eigenfarbe, Struktur durch teils kleine intakte serizitisierte Grobgneisschüppchen vorgegeben, kiesig, stark sandig, geringer Feinkornanteil</p>
TS12_13-20	4 A	KB 12/13 73,40-73,70		<p>G-KATAKLASIT</p> <p>Material vollkommen entfestigt, gräuliche Eigenfarbe, stark kiesig, sandig, gering schluffig</p>
TS05_14-21	4 A	KB 05/14 37,20-37,65		<p>G-KATAKLASIT</p> <p>gräuliche Eigenfarbe, Material beansprucht, Übergang zu intaktem Grobgneis, kiesig-sandig</p>

Tabelle 6.9 Makroskopische Ansprache des Probenmaterials TS11_13-19; TS12_13-20; TS05_14-21


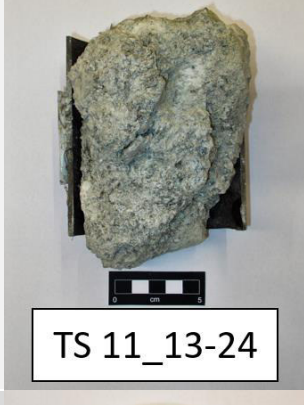


Probenbezeichnung	Klasse	Bohrung & Tiefe [m]	Probenfoto	Beschreibung
TS05_14-22	4 A	KB 05/14 29,65-29,70		G-KATAKLASIT Grülich-bräunliche Eigenfarbe, Struktur von Grobgnéis erhalten, kiesig, sandig, gering schluffig
TS11_13-24	4 A	KB 11/13 80,50-80,55		G-KATAKLASIT Probenstück inhomogen, gräuliche Eigenfarbe, serizitisierte Grobgnéis-komponenten, stark sandig
TS11_13-25	4 A	KB 11/13 98,00-98,25		G-KATAKLASIT Material entfestigt, gräuliche Eigenfarbe, zerlegte Komponenten aus Grobgnéis, kiesig-sandig
TS11_13-26	5 B	KB 11/13 98,05-98,20		GROBGNÉIS gräuliche Eigenfarbe, Material leicht beansprucht

Tabelle 6.10 Makroskopische Ansprache des Probenmaterials TS05_14-22; TS11_13-24; TS11_13-25; TS11_13-26





Probenbezeichnung	Klasse	Bohrung & Tiefe [m]	Probenfoto	Beschreibung
TS05_14-27	4 B	KB 05/14 40,75-41,00		G-KATAKLASIT Material stark beansprucht, gräuliche Eigenfarbe, Grobgneisschuppen, kiesig-sandig
TS05_14-28	4 B	KB 05/14 23-00-23,20		M-S-KATAKLASIT Material stark beansprucht, gräulich-weißliche Eigenfarbe, sandig-schluffig, hoher Feinkornanteil
TS11_13-29	4 B	KB 11/13 79,60-79,80		G-KATAKLASIT gräuliche Eigenfarbe, serizitierte Grobgneisschuppen, Derbyquarzlinen bis zu 10 cm groß, stark sandig
TS11_13-30	4 B	KB 11/13 73,70-74,00		G-KATAKLASIT gräuliche Eigenfarbe, serizitierte Grobgneisschuppen, bis zu 2 cm mächtige Derbyquarzadern, stark kiesig, sandig, geringer Feinkornanteil

Tabelle 6.11 Makroskopische Ansprache des Probenmaterials TS05_14-27; TS05_14-28; TS11_13-29; TS11_13-30




Probenbezeichnung	Klasse	Bohrung & Teufe [m]	Probenfoto	Beschreibung
TS31_11-31	3 B	KB 31/11 55,00-55,30		<p>S-KATAKLASIT</p> <p>stark kataklastisch überprägt, bräunlich-gräuliche Eigenfarbe, vereinzelt Grobgneisschüppchen vorhanden, serizitisiert, stark kiesig, sandig, geringer Feinkornanteil, stark kompaktiert</p>
TS05_14-32	5 A	KB 05/14 36,30-36,60		<p>GROBGNEIS</p> <p>phyllonitisch, stark kataklastisch überprägt, stark kiesig, stark sandig, sehr geringer Feinkornanteil, schlecht sortiert</p>
TS05_14-33	5 A	KB 05/14 27,80-28,00		<p>GROBGNEIS</p> <p>Übergang zu G-Kataklasit, Material stark beansprucht, Struktur des Grobgneises aber noch primär vorhanden, stark kiesig, sandig</p>

Tabelle 6.12 Makroskopische Ansprache des Probenmaterials TS31_11-31; TS05_14-32; TS05_14-33


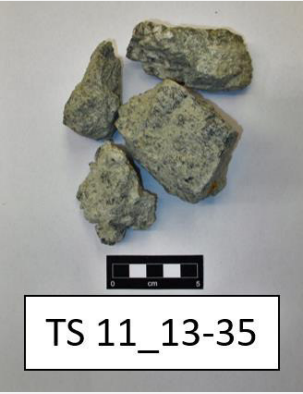
Probenbezeichnung	Klasse	Bohrung & Teufe [m]	Probenfoto	Beschreibung
TS11_13-34	5 A	KB 11/13 76,45-76,60		<p>GROBGNEIS</p> <p>gräuliche Eigenfarbe, beanspruchtes Material („angeknackst“) geht über zu kompetenten Material, zerklüftet</p>
TS11_13-35	4 C	KB 11/13 87,20-87,85		<p>G-KATAKLASIT</p> <p>gräuliche Eigenfarbe, Material beansprucht, Quarzadern in 10 cm Mächtigkeit mit Zinkblende vererzt, vererzte Lagen sind schieferungsparallel</p>

Tabelle 6.13 Makroskopische Ansprache des Probenmaterials TS11_13-34; TS11_13-35

6.4 Makroskopische und mikroskopische Gefügedaten

In den Anschliffen wurden die als intakt betrachteten Bereiche sowie besonders feinkörnige Horizonte gekennzeichnet.

Als intakt sind Bestandteile zu betrachten, wo zum einen der ursprüngliche Kornverband des Ausgangsgesteins noch grob vorhanden ist und zum anderen, wo Quarzklasten größere Bahnen an kompetentem Material bilden. Intakte Bereiche sind meist durch eine hohe Widerstandsfähigkeit sowie geringe Durchlässigkeit ausgezeichnet und dienen somit der Stabilität und Festigkeit des Materials. Sie wurden durch rot schraffierte Flächen gekennzeichnet (siehe Abbildung 6.8 bis Abbildung 6.15).

Weiters wurden besonders feinkörnige Horizonte in einer gelben Schraffur kenntlich gemacht. Diese Bahnen aus Tonmineralen könnten im gegebenen Fall als stauend, respektive wasserundurchlässig fungieren.

Die blaue Linie stellt den Umfang des Probenklötzchens dar. Dieser wurde in die Berechnung des Verhältnisses der intakten Bereiche zum Matrixanteil einbezogen.

Die mikroskopischen Aufnahmen zeigen repräsentative Teilbereiche der Dünnschliffe. Neben der Ermittlung der Gefügedaten wurden die Mineralphasen bestimmt und es wurde auf die Einregelung sowie die Beanspruchung der einzelnen Körner eingegangen.

In besonders stark kataklastisch überprägtem Probenmaterial sind die Feldspatkörner gänzlich in Tonminerale, wie Muskovit und Kaolinit, umgewandelt. Das Gefüge zeigt sich hier meist sehr engständig und in Rissen sind Alterationserscheinungen feststellbar.

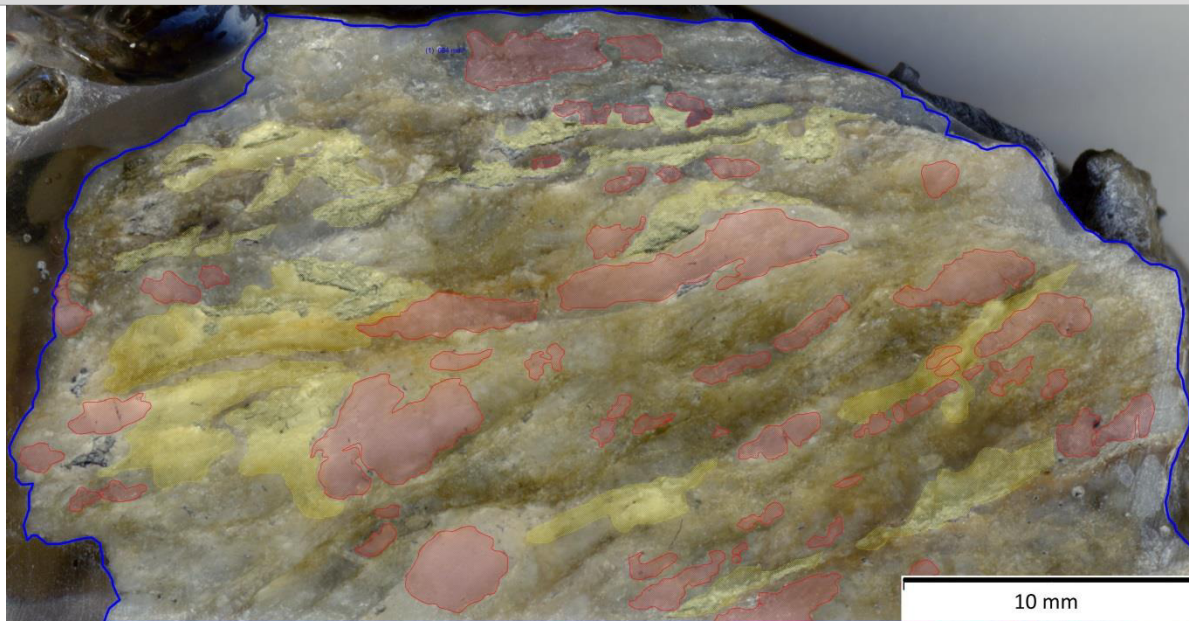
Die feinkörnigen Proben besitzen eine sehr feinkornreiche/serizitische Glimmermatrix, während die grobkörnigeren Proben größere Glimmerfische beinhalten. Ein lagiges Gefüge, welches auf tektonische Scherung zurückzuführen ist, ist beobachtbar.

Weiters ist bei den Dünnschliffen des grobkörnigen Materials häufig eine Umwandlung von Feldspäten zu Tonmineralen erkennbar. Das Probenmaterial, das nur leicht beansprucht bis intakt ist, weist das für Gneise typische Parallelgefüge auf.

In Abbildung 6.8 bis Abbildung 6.15 werden die Gefügedaten der Anschliffe denen der Dünnschliffe, beginnend mit den feinkornreichen bis hin zu den grobkörnigen/intakten Proben, gegenübergestellt. Dafür wurden exemplarisch acht Proben aus unterschiedlichen Klassen ausgewählt. Weitere digital bearbeitete Bilder der Anschliffe sind im „Anhang II“ dokumentiert.

TS31_11-03 (C-Kataklasit)

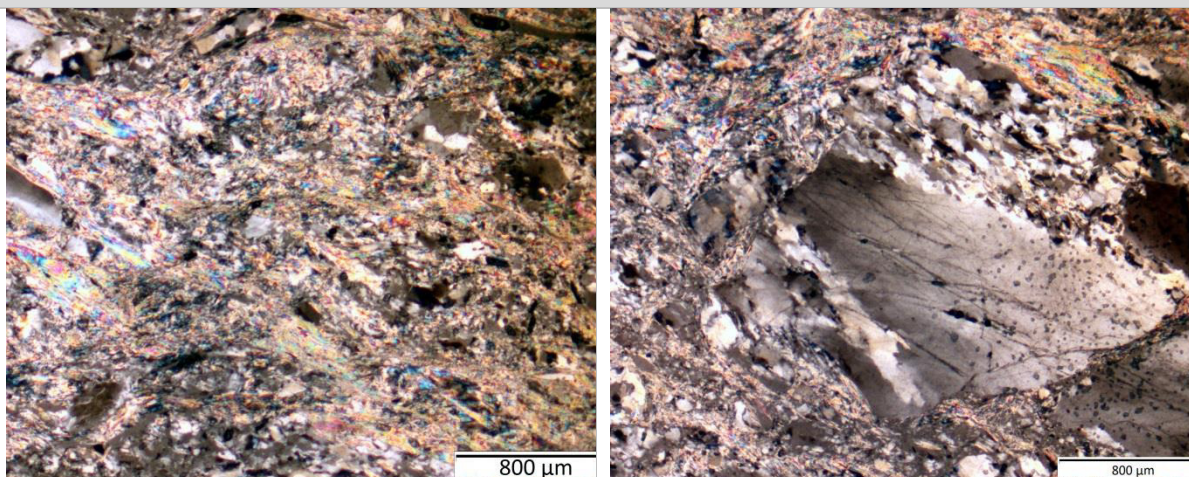
Gefüge makroskopisch



Anschliff (digitale Bildanalyse)

Das Gefüge ist ungleichkörnig, der Anschliff matrixgestützt. Die Quarzklasten sind oftmals in kleinere Aggregate zerbrochen sowie teils elongiert. Gerundete Quarzkörner befinden sich unregelmäßig in einer feinen Glimmermatrix. Die feinkörnigen Aggregate bilden Bahnen um die Quarzkörner, sie weisen teilweise Alterationen auf. Die intakten Bereiche unterliegen denen der Matrix und des feinkörnigen Materials.

Gefüge mikroskopisch



Dünnschliffphoto TS31_11-03 (gekreuzte Nicols)

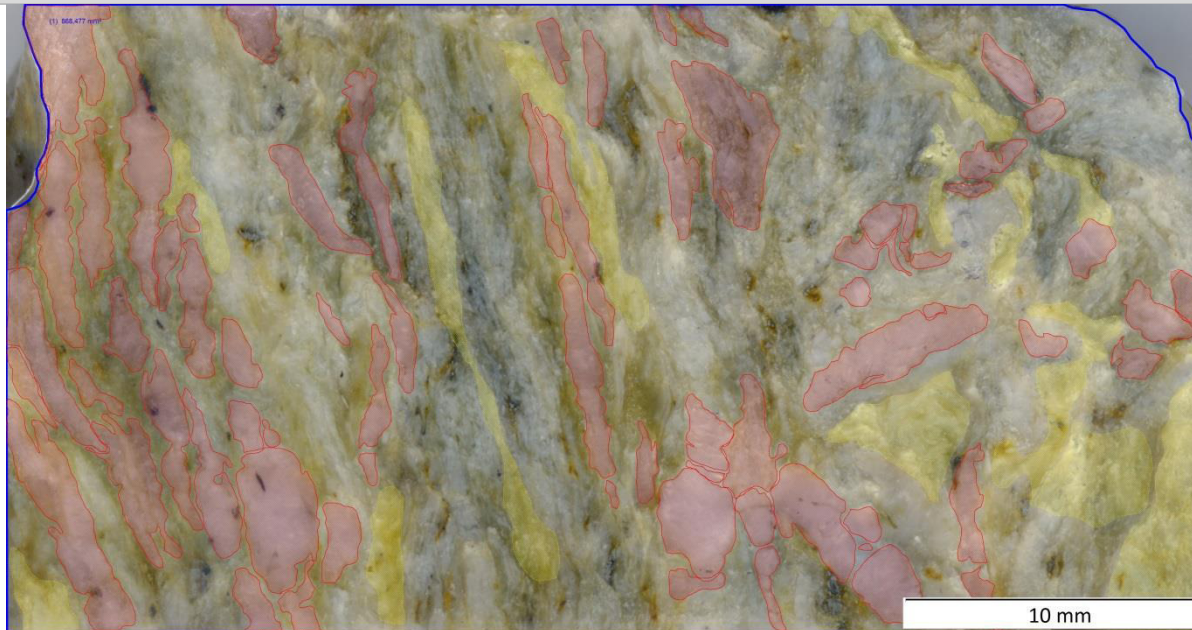
Dünnschliffphoto TS31_11-03 (gekreuzte Nicols)

Ein sehr engständiges, feinkörniges Gefüge liegt vor. Einzelne Quarzklasten sind in der Matrix eingebettet. Diese besteht aus fein verteilten Glimmerschüppchen sowie untergeordnet aus kleinen Quarzkörnchen. Viele der Quarzkomponenten zeichnen sich durch eine Subkornbildung aus, vereinzelt sind zerbrochene Quarzkörner zu beobachten. Die Quarzklasten werden durch eine, manchmal vorzugsorientierte, Rissbildung gekennzeichnet. Die Kornform der Klasten ist generell gerundet bis kantengerundet. Chlorit ist bevorzugt in den Rissbildungen vorzufinden.

Abbildung 6.8 Makroskopische und mikroskopische Gefügedaten der Probe TS31_11-03

TS31_11-04 (M-Kataklasit)

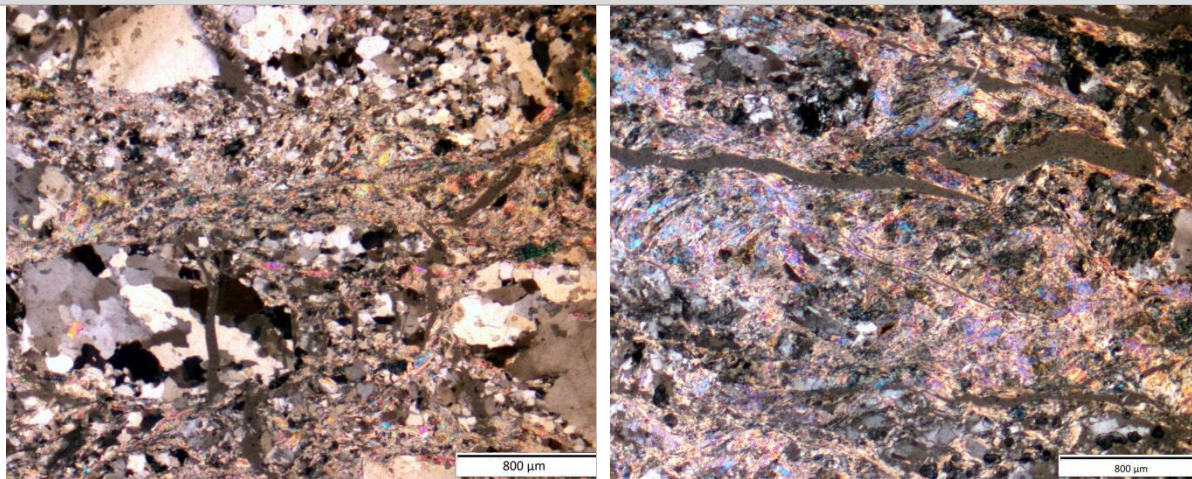
Gefüge makroskopisch



Anschliff (digitale Bildanalyse)

Der Anschliff ist durch eine Paralleltexur gekennzeichnet. Die elongierten Quarzkörner bilden Bahnen, die sich mit Lagen der feinkornreichen Matrix abwechseln. Die Risse sind teilweise durch Alterationsprozesse charakterisiert. Der Anschliff ist sehr inhomogen. Es liegt eine Einregelung der Phasen vor. Intakte Bereiche unterliegen denen der Matrix und des feinkörnigen Materials.

Gefüge mikroskopisch



Dünnschliffphoto TS31_11-04 (gekreuzte Nicols)

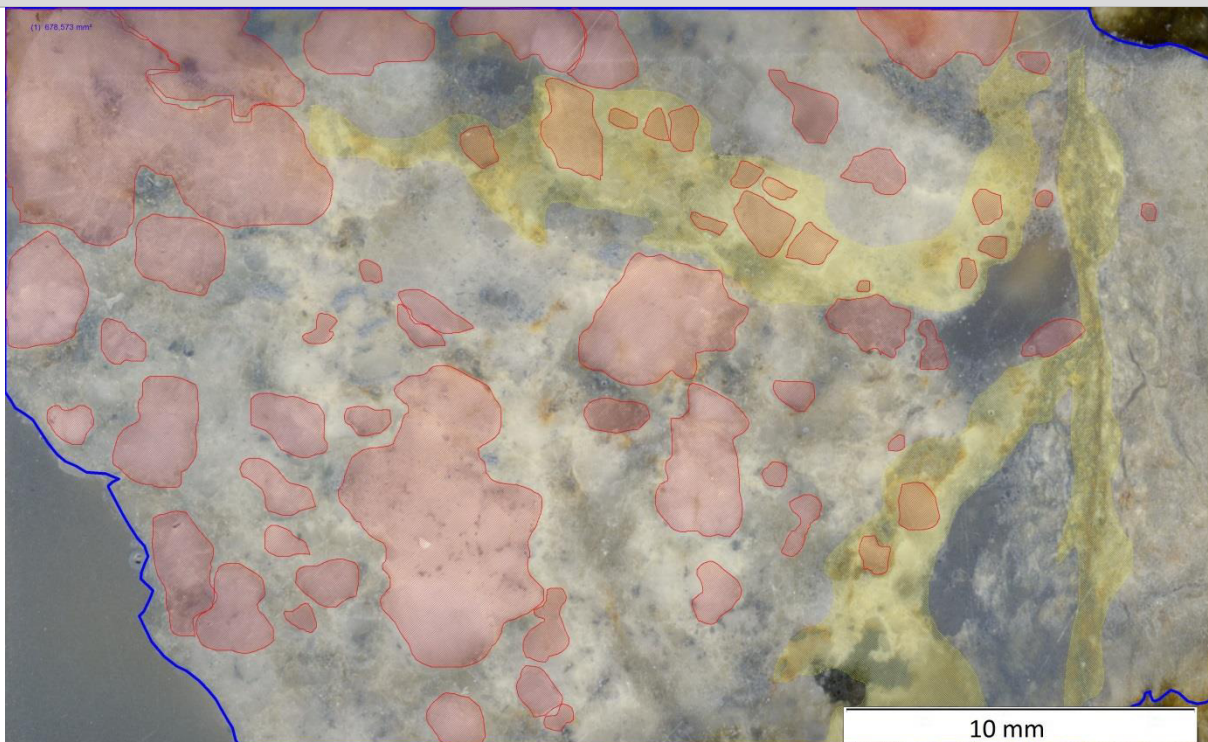
Dünnschliffphoto TS31_11-04 (gekreuzte Nicols)

Angedeutet liegt hier ein Parallelgefüge vor. Der gesamte Dünnschliff ist von durchgehender Rissbildung geprägt. Entlang der Risse sind zum Teil Alterationserscheinungen vorzufinden. Hellglimmer und Serizit sind teils eng verwachsen und umfließen größere Quarzklasten. Minerale der Hellglimmergruppe sind hauptsächlich durch feinkörnige Muskovite vertreten. Diese weisen eine Einregelung in Glimmerbahnen, die sich mit quarzreicheren Lagen abwechseln, auf. Die Quarze weisen meist eine Subkornbildung auf. Hauptsächlich sind die Quarzklasten gerundet, teilweise sind auch subanguläre Körner vorzufinden.

Abbildung 6.9 Makroskopische und mikroskopische Gefügedaten der Probe TS31_11-04

TS05_14-15 (M-S-Kataklasit)

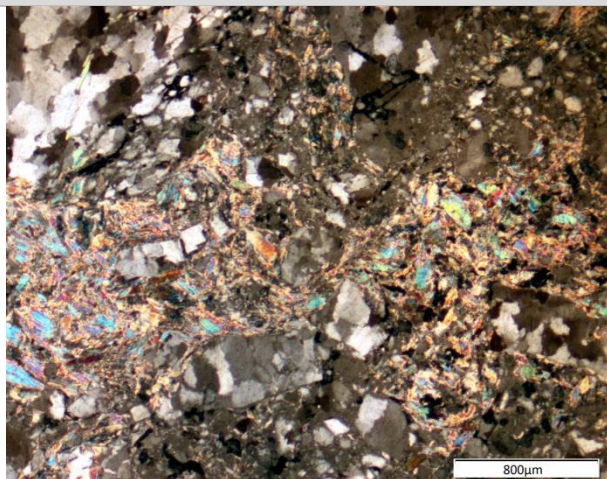
Gefüge makroskopisch



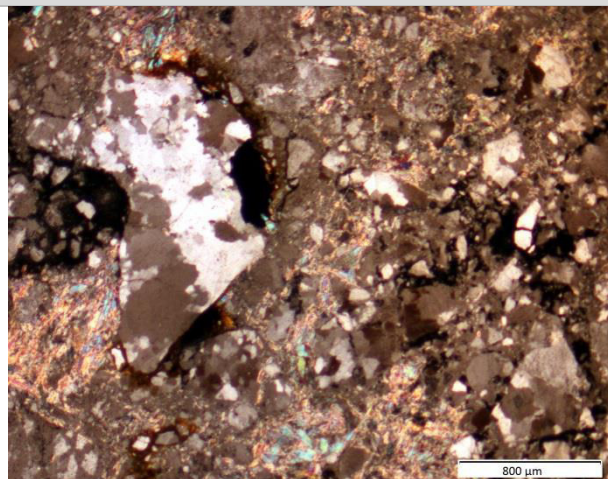
Anschliff (digitale Bildanalyse)

Im Anschliff ist ein ungleichkörniges sowie matrixgestütztes Gefüge erkennbar. Die feinkörnigen Bereiche bilden vereinzelte Bahnen, während die intakten Klaster unregelmäßig auftreten. Die feinkörnigen und matrixbetonten Bereiche repräsentieren einen größeren Teil des Anschliffs.

Gefüge mikroskopisch



Dünnschliffphoto TS05_14-15 (gekreuzte Nicols)



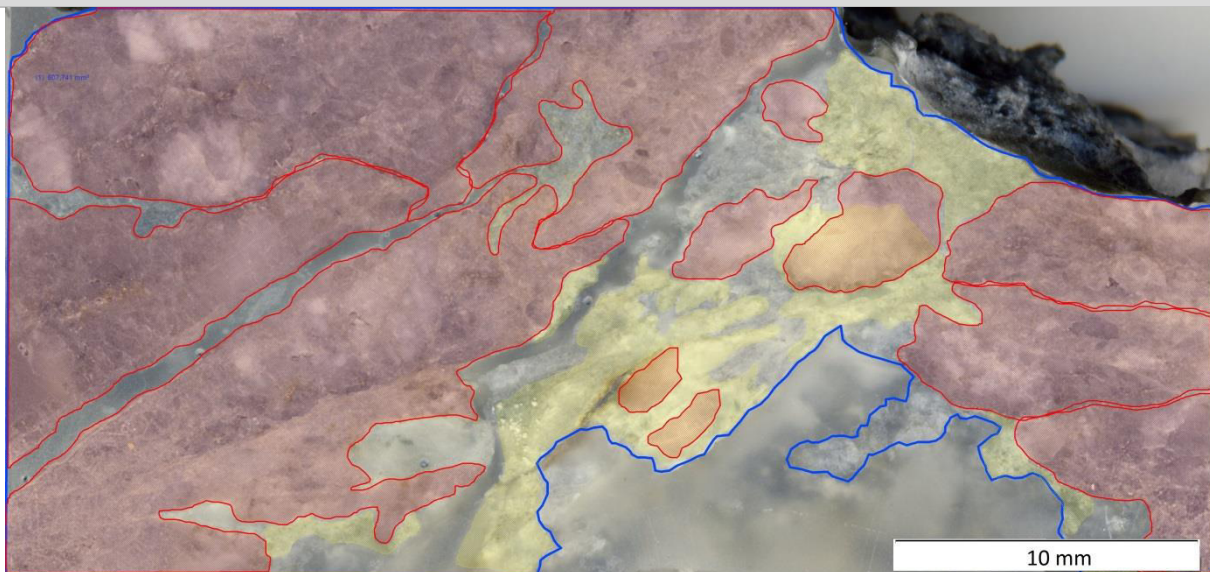
Dünnschliffphoto TS05_14-15 (gekreuzte Nicols)

Das Gefüge wirkt in seiner Gesamtheit stark unregelmäßig, wie „zertrümmert“. Die Matrix wird hauptsächlich aus Quarzkörnern, untergeordnet auch Glimmerkörnchen, gebildet. Die Glimmerminerale treten in Form von extrem feinkörnigen Schüppchen auf. Entlang der vorhandenen Risse sind Alterationen zu beobachten, besonders starke Rissbildung besteht in Angrenzung an größeren Klaster. Oftmals sind Risse durch feine Glimmerplättchen verheilt. Vereinzelt sind Feldspäte vorhanden. Die Quarzklaster sind oft zerbrochen und besitzen hauptsächlich eine angulare-subangulare Form. Kleine Klaster neigen dazu, eher gerundet aufzutreten.

Abbildung 6.10 Makroskopische und mikroskopische Gefügedaten der Probe TS05_14-15

TS31_11-18 (S-Kataklasit)

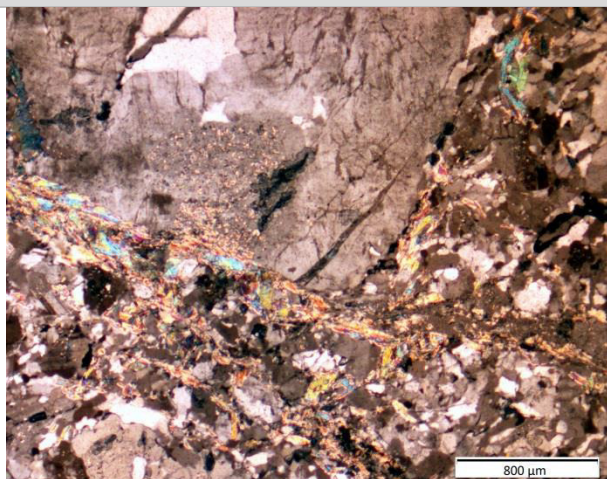
Gefüge makroskopisch



Anschliff (digitale Bildanalyse)

Abgesehen von einem erhöhtem Anteil an intaktem Material im Anschliff, ist auch ein sehr inhomogenes Gefüge ersichtlich. Das feinkörnige Material bildet einen größeren Bereich, in dem nur wenige intakte Klaster unregelmäßig verteilt sind. Eine besonders ausgeprägte Rissbildung ist über den gesamten Anschliff verteilt zu beobachten. In den intakten Bereichen wirken die Körner einigermaßen gut verzahnt, durch die zahlreichen Risse wird jedoch zusätzlich die starke Beanspruchung des Materials deutlich.

Gefüge mikroskopisch



Dünnschliffphoto TS31_11-18 (gekreuzte Nicols)



Dünnschliffphoto TS31_11-18 (gekreuzte Nicols)

Das Gefüge wird aus kantengerundeten Feldspatklästen, die in einer Quarz-/Glimmermatrix schwimmen, aufgebaut. Während die Glimmerminerale hauptsächlich in Rissen und in betont feinkörniger Form vorkommen, ist bei den Quarzklästen teilweise eine Subkornbildung ausgeprägt. Die feinkörnigen Quarze mit gerundeten Korngrenzen sind nur in der Matrix aufzufinden und bilden ihre Hauptmasse. In Feldspäten ist teilweise eine Umwandlung zu Tonmineralen ersichtlich. Die zahlreichen Risse sind durch Alterationen geprägt. Ebenso sind die Klästen meist von vielen Rissen durchzogen. Häufig umschließen die extrem feinkörnigen Glimmerplättchen beanspruchte Klästen.

Abbildung 6.11 Makroskopische und mikroskopische Gefügedaten der Probe TS31_11-18

TS11_13-30 (S-G-Kataklasit)

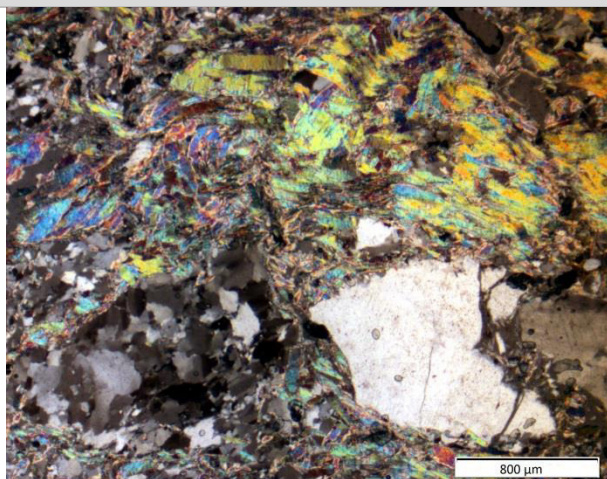
Gefüge makroskopisch



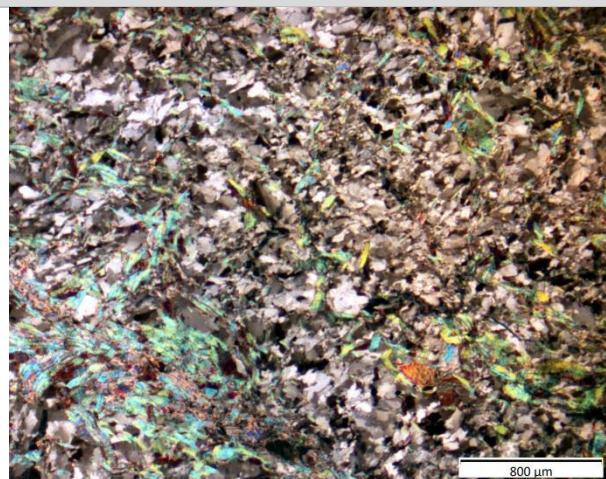
Anschliff (digitale Bildanalyse)

Im Anschliff sind größere intakt wirkende Bereiche festzustellen, die jedoch von unzähligen Rissen durchzogen sind. Die extrem feinkörnigen Bereiche sind meist in die Risse eingeschaltet und eher als kleinräumig zu betrachten. Die starke Beanspruchung macht sich durch die erhöhte Anzahl an Rissen im Material bemerkbar, der Stabilität des Kornverbands wird durch diese besonders negativ beeinflusst.

Gefüge mikroskopisch



Dünnschliffphoto TS11_13-30 (gekreuzte Nicols)



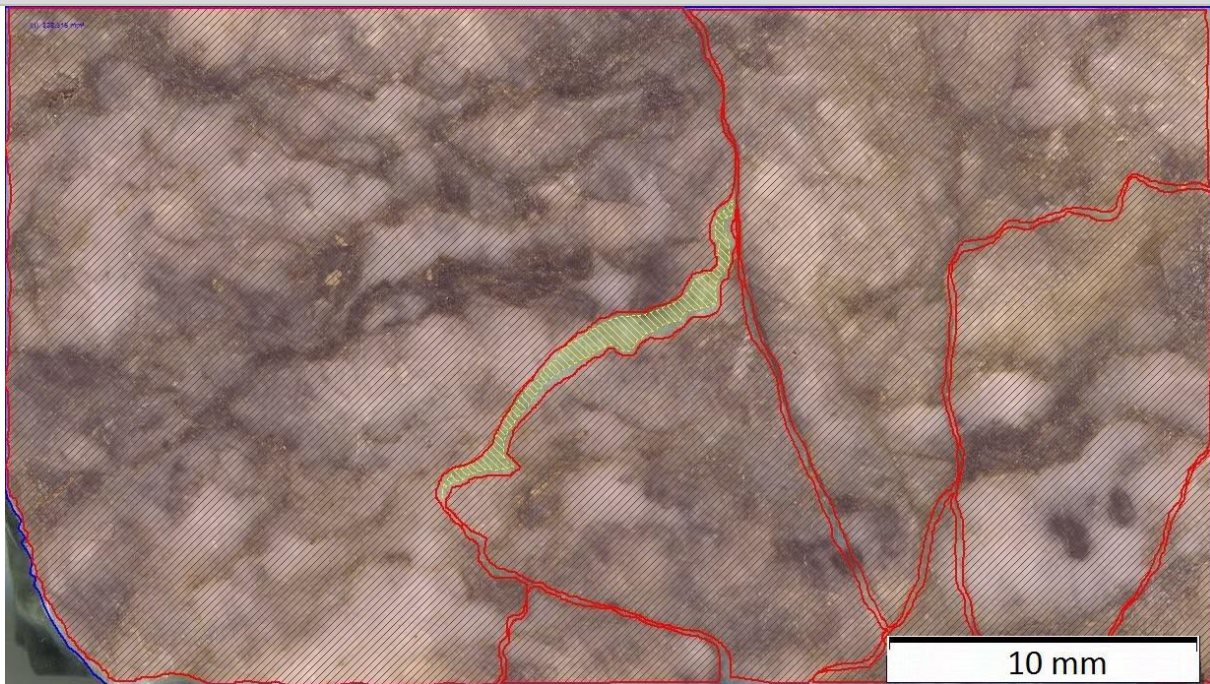
Dünnschliffphoto TS11_13-30 (gekreuzte Nicols)

In einer feinkörnigen Quarz-/Glimmermatrix sind kantengerundete Feldspatklüster sowie Quarzklüster mit Subkornbildung vorzufinden. Die Matrix wird hauptsächlich aus Quarzkörnchen aufgebaut, welche gerundete Korngrenzen aufweisen. Die Glimmerminerale sind hauptsächlich in Rissen vorzufinden, oft weisen die Risse auch Alterationserscheinungen auf. Vereinzelt treten auch größere Glimmerfische auf. Die Feldspäte werden durch Plagioklas und Mikroklin vertreten, wobei manchmal eine Umwandlung zu Tonmineralen erkennbar ist.

Abbildung 6.12 Makroskopische und mikroskopische Gefügedaten der Probe TS11_13-30

TS05_14-32 (G-Kataklasit)

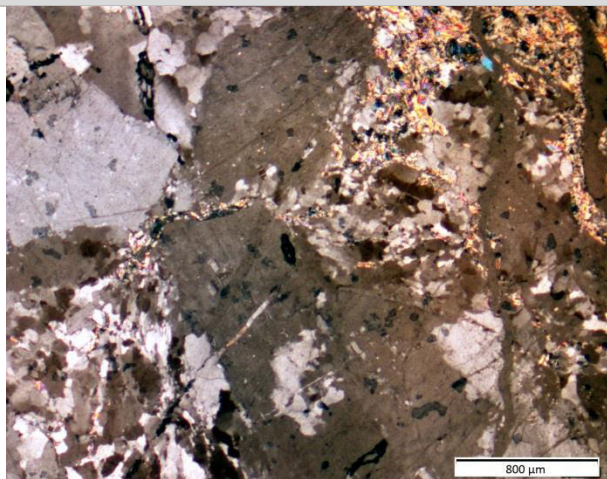
Gefüge makroskopisch



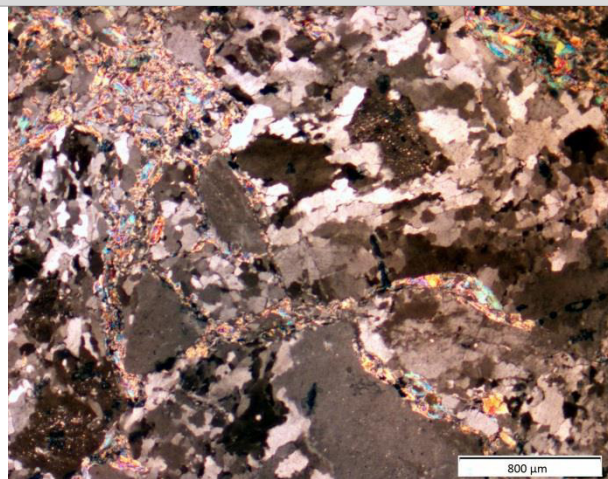
Anschliff (digitale Bildanalyse)

Von Rissbildung dominiert, weist der Anschliff wenig feinkörnige Bereiche auf. Die Bahnen aus Quarzklasten werden von Rissen durchzogen und trennen somit ein mögliches einheitliches Gefüge. Teilweise sind sandig wirkende Bereiche ersichtlic. Entlang der Risse sind Alterationserscheinungen zu erkennen.

Gefüge mikroskopisch



Dünnschliffphoto TS05_14-32 (gekreuzte Nicols)



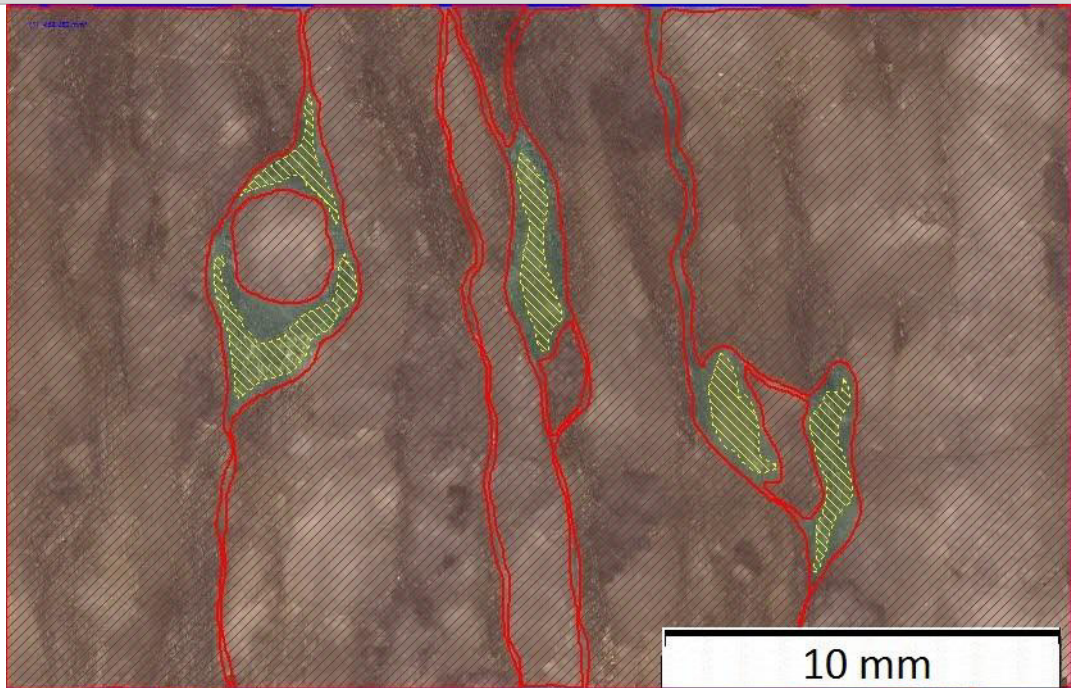
Dünnschliffphoto TS05_14-32 (gekreuzte Nicols)

Das Gefüge wird hauptsächlich aus großen, kantengerundeten Feldspäten sowie Quarzklasten mit Subkornausbildung aufgebaut. Die Feldspäte und Quarze bilden ein komponentengestütztes Gefüge. Die Hohlräume sind mit Hellglimmermineralen verfüllt, selten sind auch wenige Chlorite in den Rissen aufzufinden. Die erhöhte Anzahl an Rissen ist im gesamten Dünnschliff zu beobachten, die Klasten weisen ebenfalls eine starke interne Rissbildung auf. Selten befinden sich auch kleine Quarzkörnchen in der feinkörnigen, glimmerdominierten Matrix.

Abbildung 6.13 Makroskopische und mikroskopische Gefügedaten der Probe TS05_14-32

TS11_13-34 (G-Kataklasit-intakt)

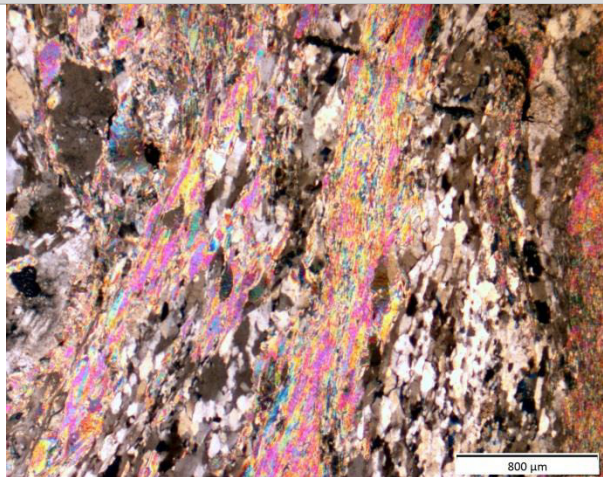
Gefüge makroskopisch



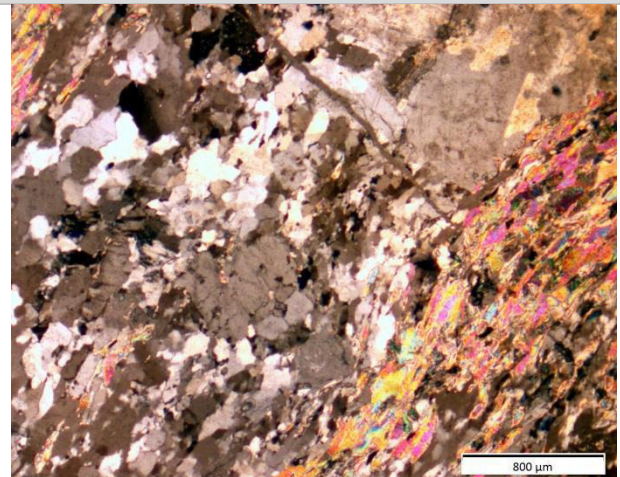
Anschliff (digitale Bildanalyse)

Das Parallelgefüge des Protolithen ist noch weitestgehend intakt. Die feinkornreichen Bereiche beschränken sich auf wenige und sind eher in leicht beanspruchten Zonen vorzufinden. Diese sind durch eine erhöhte Rissbildung gekennzeichnet.

Gefüge mikroskopisch



Dünnschliffphoto TS11_13-34 (gekreuzte Nicols)



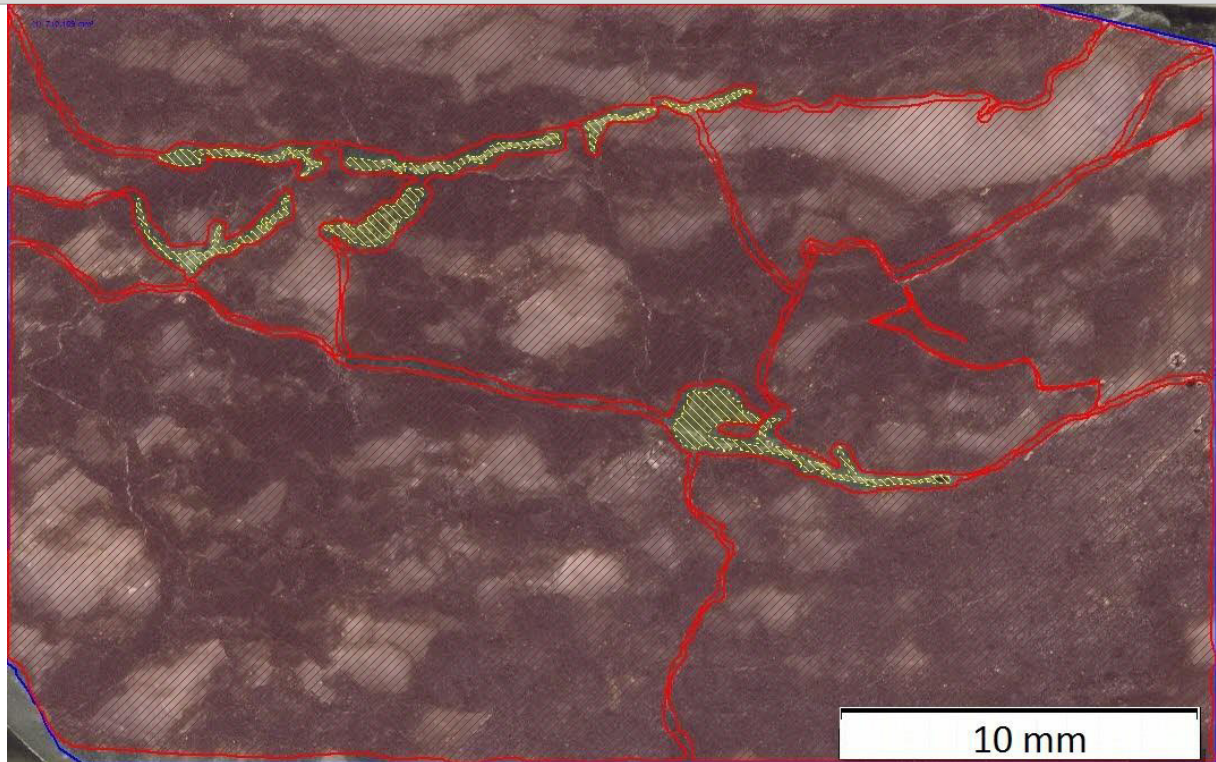
Dünnschliffphoto TS11_13-34 (gekreuzte Nicols)

Die kantengerundeten Feldspäte und Quarze bilden ein komponentengestütztes Gefüge. Eine Paralleltexur aus abwechselnd glimmerreichen Bahnen und quarzreicheren Lagen ist zu beobachten. In den Zwischenräumen der größeren Klasten sind sehr feinkörnige Glimmerplättchen feststellbar, die durch wenige feine Quarzkörnchen ergänzt werden. Teilweise ist kleinräumig eine Umwandlung von Feldspäten zu Tonmineralen zu erkennen. Die Quarzklasten weisen häufig eine Subkornbildung auf.

Abbildung 6.14 Makroskopische und mikroskopische Gefügedaten der Probe TS11_13-34

TS11_13-35 (intakt)

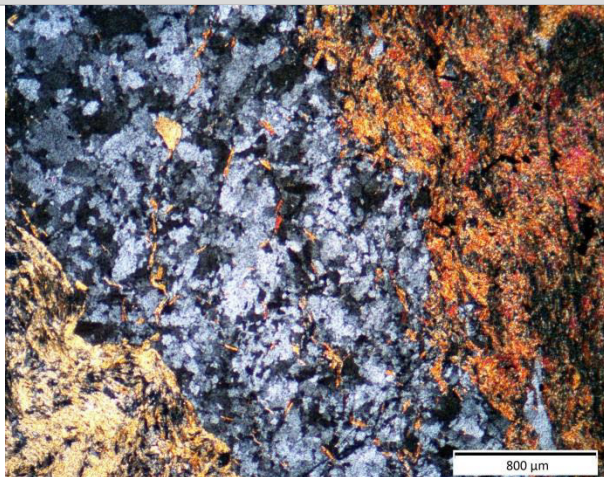
Gefüge makroskopisch



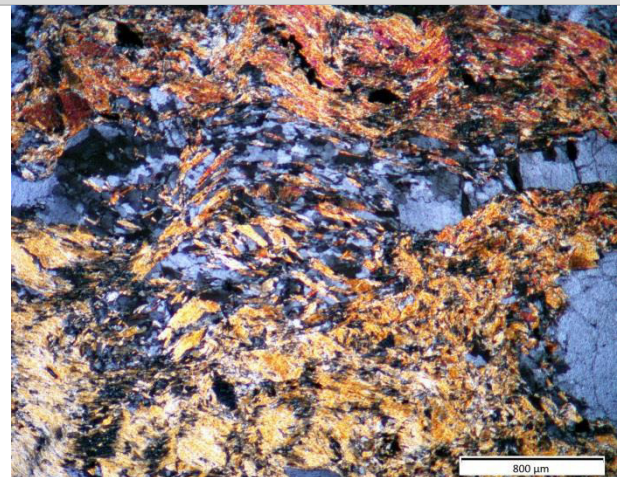
Anschliff (digitale Bildanalyse)

Ein intaktes Gefüge mit Quarzadern in mehreren mm-Mächtigkeit ist zu erkennen. Das Material weist eine gute Verzahnung mit geringer Rissbildung auf. Der Anschliff ist homogen.

Gefüge mikroskopisch



Dünnschlifffoto TS11_13-35 (gekreuzte Nicols)



Dünnschlifffoto TS11_13-35 (gekreuzte Nicols)

Ein Parallelgefüge aus quarzreichen Bahnen und glimmerreichen Lagen ist im Dünnschliff zu erkennen. Die Quarzklasten sind meist angular, in den lagigen Bereichen weisen sie Subkornbildung auf. Die Risse in den Quarzen werden durch die Hellglimmerminerale verheilt. Die Glimmer sind meist eher grobkörnig und die glimmerreichen Lagen leicht verfältelt.

Abbildung 6.15 Makroskopische und mikroskopische Gefügedaten der Probe TS11_13-35

6.5 Digitale Bildanalyse der Anschliffe

Im Zuge der digitalen Bildanalyse wurden besondere Charakteristika im Anschliff hervorgehoben. Augenmerk wurde dabei auf die Struktur und Textur gelegt. Somit konnte ein Verhältnis ermittelt werden, das den Anteil an intaktem Material gegenüber dem der kataklastisch beanspruchten Bahnen abschätzt (siehe Tabelle 6.14).

Die grobkörnigeren Proben weisen einen höheren Anteil an intaktem Material als das feinkörnige Probenmaterial auf.

Probenbezeichnung	Anteil intakt [%]	Probenbezeichnung	Anteil intakt [%]
TS05_14-01	34,04	TS05_14-16	14,48
TS05_14-02	15,44	TS12_13-17	22,52
TS31_11-03	15,39	TS31_11-18	66,68
TS31_11-04	23,81	TS11_13-19	35,60
TS31_11-05	7,85	TS11_13-26	58,20
TS31_11-07	15,86	TS05_14-27	85,32
TS31_11-08	13,27	TS05_14-28	38,61
TS05_14-09	13,39	TS11_13-29	93,23
TS31_11-11	11,41	TS11_13-30	89,96
TS31_11-12	11,14	TS31_11-31	66,24
TS11_13-13	42,89	TS05_14-32	98,10
TS11_13-14	39,40	TS11_13-34	98,21
TS05_14-15	32,71	TS11_13-35	98,14

Tabelle 6.14 Prozentangabe zu intaktem Anteil

6.6 Digitale Bildanalyse der Dünnschliffe

Hierbei wurde neben dem Mineralvorkommen auch auf die Kornformen und Gefügedaten eingegangen. Während die Klaster des feinkörnigeren Probenmaterials meist eher gerundete Kornformen aufweisen, sind die Klaster der Proben, die den Übergang zum intakten Gestein bilden, meist in subangulärer bis angularer Form vertreten. In Tabelle 6.15 sind die Proben aufsteigend anhand ihrer Korngrößen, von feinkornreich bis zu grobkornreich/intakt angeordnet.

Probenbezeichnung	Kornform der Klaster	Korngröße
TS31_11-03	gerundet – kantengerundet	feinkörnig
TS31_11-04	gerundet, wenige Körner subangular	↓
TS05_14-15	angular – subangular	
TS31_11-18	gerundet	
TS11_13-30	gerundet	
TS05_14-32	kantengerundet	
TS11_13-34	kantengerundet	
TS11_13-35	angular	

Tabelle 6.15 Kornformen der Klaster im Probenmaterial

6.7 Röntgendiffraktometrie

Die Analysen am Röntgendiffraktometer wurden durchgeführt, um die mineralogische Zusammensetzung zu erfassen sowie die korrekte Mineralansprache zu bekräftigen.

Das Probenmaterial, welches für die feinkörnigen Kataklasite repräsentativ ist, zeigt einerseits hohe Muskovit-Gehalte, andererseits unterscheidet es sich durch das Vorhandensein von Chlorit. Die grobkörnigen Kataklasite und der intakte Grobgnais zeichnen sich durch ein Auftreten von Plagioklas und Kalifeldspat sowie geringere Gehalte an Muskovit aus.

Die ermittelten Mineralbestände der Proben sind Tabelle 6.16 zu entnehmen.

Mineral-Gehalt [%]	TS31_11-03 C-Kataklasit	TS31_11-04 M-Kataklasit	TS05_14-01 M-S-Kataklasit	TS31_11-31 S-Kataklasit
Quarz	45	53	45	38
Muskovit	47	44	54	60
Kaolinit	-	-	1	-
Chlorit	7	3	-	2
Plagioklas	-	-	-	-
Kalifeldspat	-	-	-	-

Mineral-Gehalt [%]	TS11_13-30 S-G-Kataklasit	TS05_14-32 G-Kataklasit	TS11_13-34 G-Kat.-intakt	TS11_13-35 intakt
Quarz	21	21	50	27
Muskovit	76	63	28	20
Kaolinit	3	3	-	1
Chlorit	-	-	-	-
Plagioklas	-	13	12	3
Kalifeldspat	-	-	10	49

Tabelle 6.16 Angabe der im Probenmaterial enthaltenen Minerale

6.8 Korngrößenanalyse

Aus den Ergebnissen der Siebanalyse und den Resultaten des „Sedigraph III Plus“ wurden die, für die Eigenschaften des Materials wichtigen, Kornfraktionen in Tabelle 6.18 dargestellt. Der Anteil der Körner der Sandfraktion sowie jene, die der Tonfraktion angehören, sind besonders bedeutsam. Während ein erhöhter Tonanteil das Fließpotenzial senken kann, ist es möglich, dass hohe Sandgehalte das Potenzial auf „fließendes Gebirgsverhalten“ steigern.

In Tabelle 6.17 werden die Abkürzungen der Probenbezeichnungen dargestellt.

Probenbezeichnung	Abkürzung	Probenbezeichnung	Abkürzung
TS05_14-01	TS01	TS11_13-14	TS14
TS31_11-03	TS03	TS05_14-15	TS15
TS31_11-04	TS04	TS05_14-16	TS16
TS31_11-05	TS05	TS31_11-18	TS18
TS31_11-07	TS07	TS11_13-19	TS19
TS31_11-08	TS08	TS05_14-22	TS22
TS05_14-09	TS09	TS05_14-28	TS28
TS05_14-10	TS10	TS11_13-30	TS30
TS31_11-11	TS11	TS31_11-31	TS31
TS31_11-12	TS12	TS05_14-32	TS32
TS11_13-13	TS13	TS05_14-33	TS33

Tabelle 6.17 Abkürzungen der Probenbezeichnungen in der Korngrößenanalyse

Tabelle 6.18 ist zu entnehmen, dass die Kiesfraktion zwischen 0,4 % und 40,4 % variiert. Die Anteile des Sandes liegen in den Bereichen von minimal 30,7 % und maximal 63,8 %. Der Schluffanteil des Probenmaterials liegt bei 8,2 % bis 45,2 %. Die kleinste Kornfraktion, der Tonanteil, liegt bei Werten von minimal 3,1 % bis zu maximal 30,1 %.

[%]	TS01	TS03	TS04	TS05	TS07	TS08	TS09	TS10	TS11	TS12	TS13
Kiesanteil	4,2	1,0	2,1	0,4	10,3	2,2	3,9	4,6	1,4	1,6	16,9
Sandanteil	57,3	35,8	50,5	36,9	52,8	32,8	44,1	42,4	30,7	34,7	61,5
Schluffanteil	31,7	40,0	35,7	38,7	27,0	45,2	39,3	38,0	37,8	40,3	15,4
Tonanteil	6,7	23,2	11,8	24,1	9,8	19,7	12,7	15,0	30,1	23,4	6,2

[%]	TS14	TS15	TS16	TS18	TS19	TS22	TS28	TS30	TS31	TS32	TS33
Kiesanteil	7,3	8,3	3,7	7,7	11,8	20,8	7,7	22,6	17,5	40,4	28,4
Sandanteil	46,0	59,9	40,2	63,8	51,7	33,3	46,3	55,6	54,5	48,4	47,6
Schluffanteil	34,1	24,3	34,2	22,7	27,1	31,6	34,8	15,5	22,8	8,2	18,7
Tonanteil	12,6	7,5	21,9	5,8	9,5	14,2	11,2	6,4	5,2	3,1	5,4

Tabelle 6.18 Bestimmende Korngrößen für die Eigenschaften des Korngemisches

6.8.1 Darstellung der Korngrößenverteilung

Die Resultate der Korngrößenbestimmung in Form von Siebkurven sind Abbildung 6.16 zu entnehmen. Dies ermöglichte einerseits eine Nomenklatur des feinkörnigen Probenmaterials, andererseits wurden die Unterschiede der einzelnen Proben hiermit graphisch verdeutlicht. Die Korngröße wird im Diagramm logarithmisch dargestellt, der Gehalt der Fraktionen in Prozentanteilen. Sieblinien des Ausgangsgesteins Grobgneis sind in oranger Farbe dargestellt, die Siebkurven der Proben aus Grobgneisphyllonit in Grün.

In der Abbildung zeigt sich die große Bandbreite der Körnungen der gesamten Proben. Feinkornreiches Probenmaterial kann deutlich von grobkörnigem unterschieden werden.

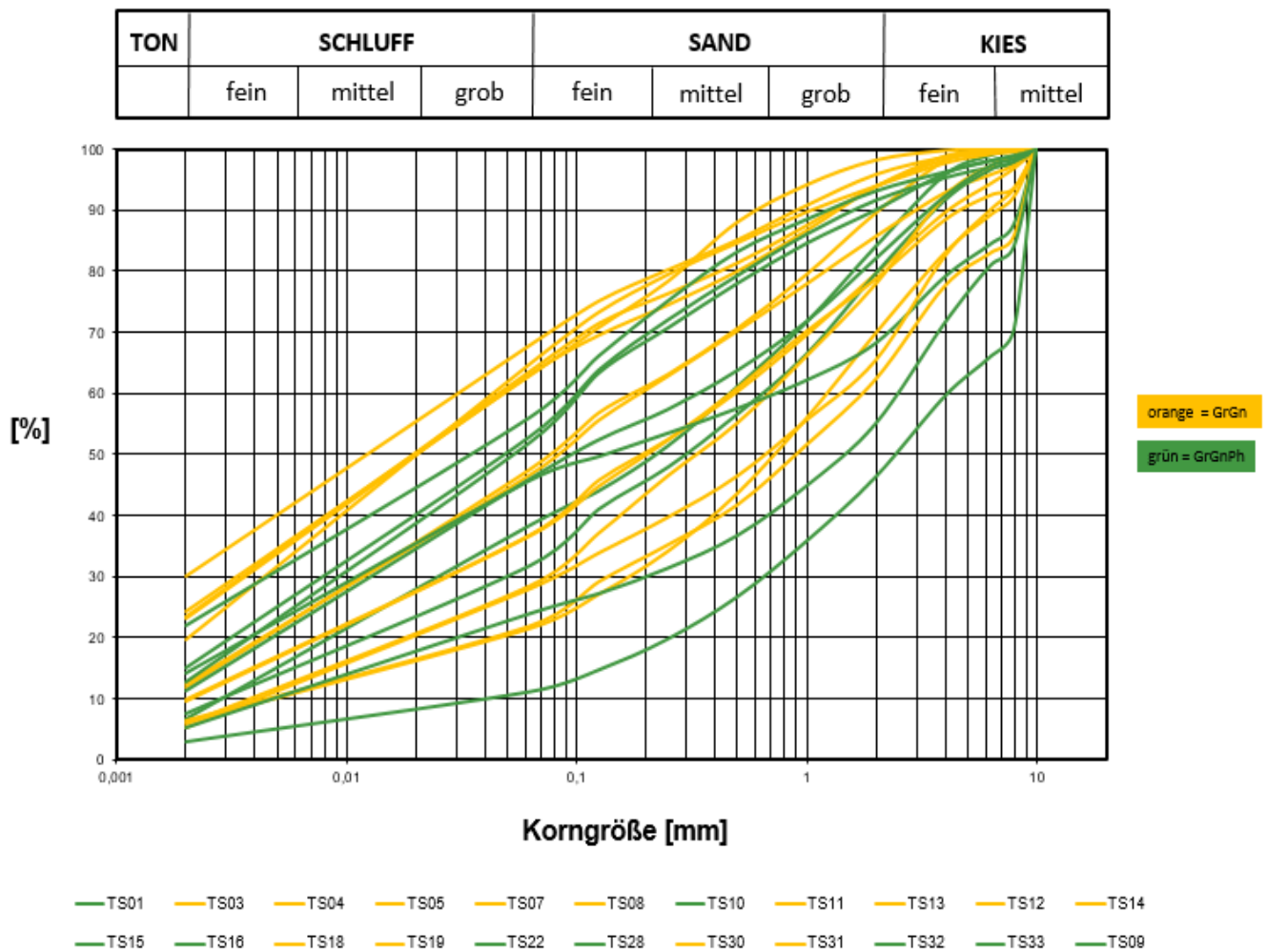


Abbildung 6.16 Logarithmische Darstellung der Siebkurven

6.8.2 Feinkornanteil

Der Feinkornanteil des Probenmaterials wurde durch die Siebanalyse determiniert. Ihm gehören Partikel, die kleiner als 63 µm sind, respektive die Schluff- und die Tonfraktion, an. In Abbildung 6.17 wurden die Feinkorngehalte den Kataklasit-Klassen gegenübergestellt.

Eine Abnahme des Feinkorngehalts ist von den Klassen 1 bis 5 A (C-Kataklasit bis Grobgneis) feststellbar.

Die Legenden der Abbildung 6.17, Abbildung 6.18, Abbildung 6.19, Abbildung 7.1, Abbildung 7.2, Abbildung 7.3 und Abbildung 7.4 weisen die Abkürzungen „GrGn“ und „GrGnPh“ auf. „GrGn“ (orange Färbung) bedeutet, dass das Ausgangsgestein ein Grobgneis ist, „GrGnPh“ (grüne Färbung) bedeutet, dass ein Grobgneisphyllonit das Ausgangsmaterial darstellt.

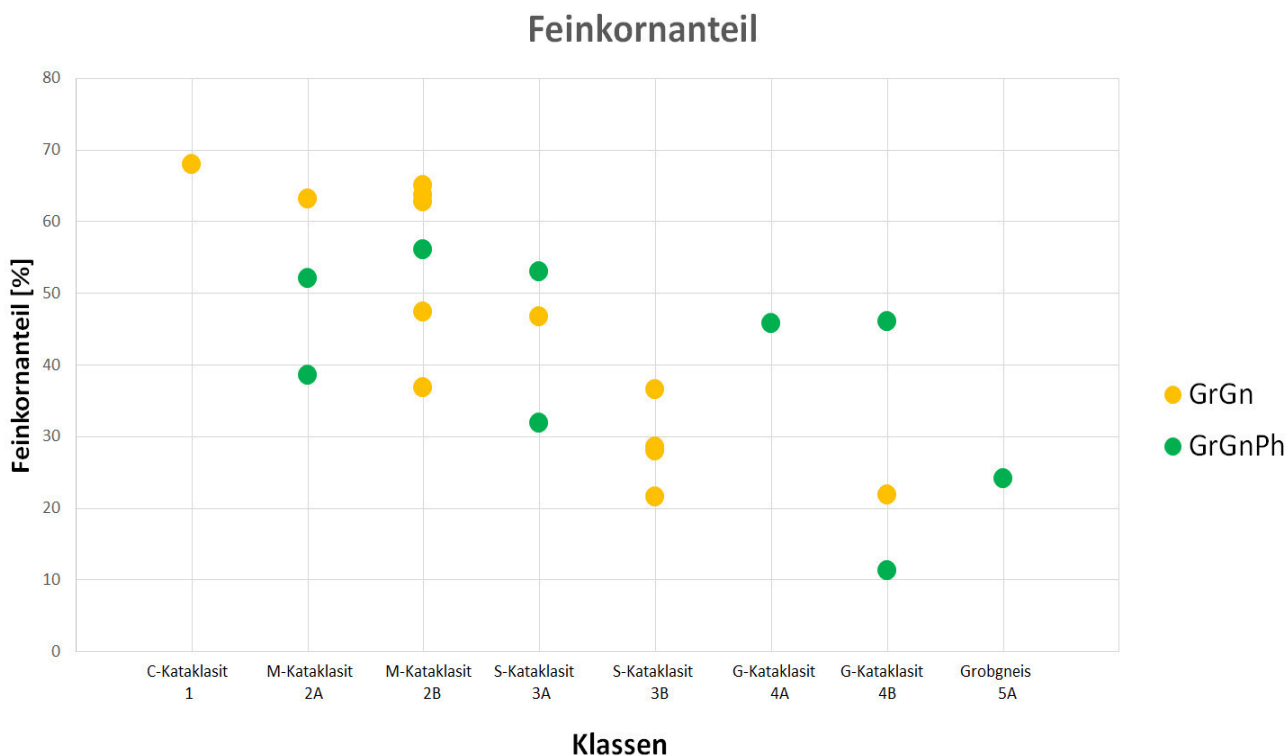


Abbildung 6.17 Feinkornanteil der unterschiedlichen Kataklasit-Typen

6.8.3 Ermittlung des k_f -Wertes

Anhand der Daten der Siebanalysen war es möglich, die jeweiligen Durchlässigkeitsbeiwerte (k_f -Werte) zu berechnen. Die ermittelten Werte dienen ausschließlich zur Abschätzung der tatsächlichen Werte, da weitere Analysen, wie etwa die Messung der hydraulischen Durchlässigkeit, erforderlich wären, um präzisere Werte zu generieren.

Abbildung 6.18 sind die berechneten k_f -Werte, auf einer logarithmischen Skala dargestellt, zu entnehmen.

Der k_f -Wert steigt mit zunehmender Korngröße, was heißt, dass die sehr feinkörnigen Proben eine geringere Durchlässigkeit aufweisen als die grobkörnigen Proben. Vollkommen intaktes Material wurde hier nicht beprobt. Die k_f -Werte weisen eine hohe Variabilität auf.

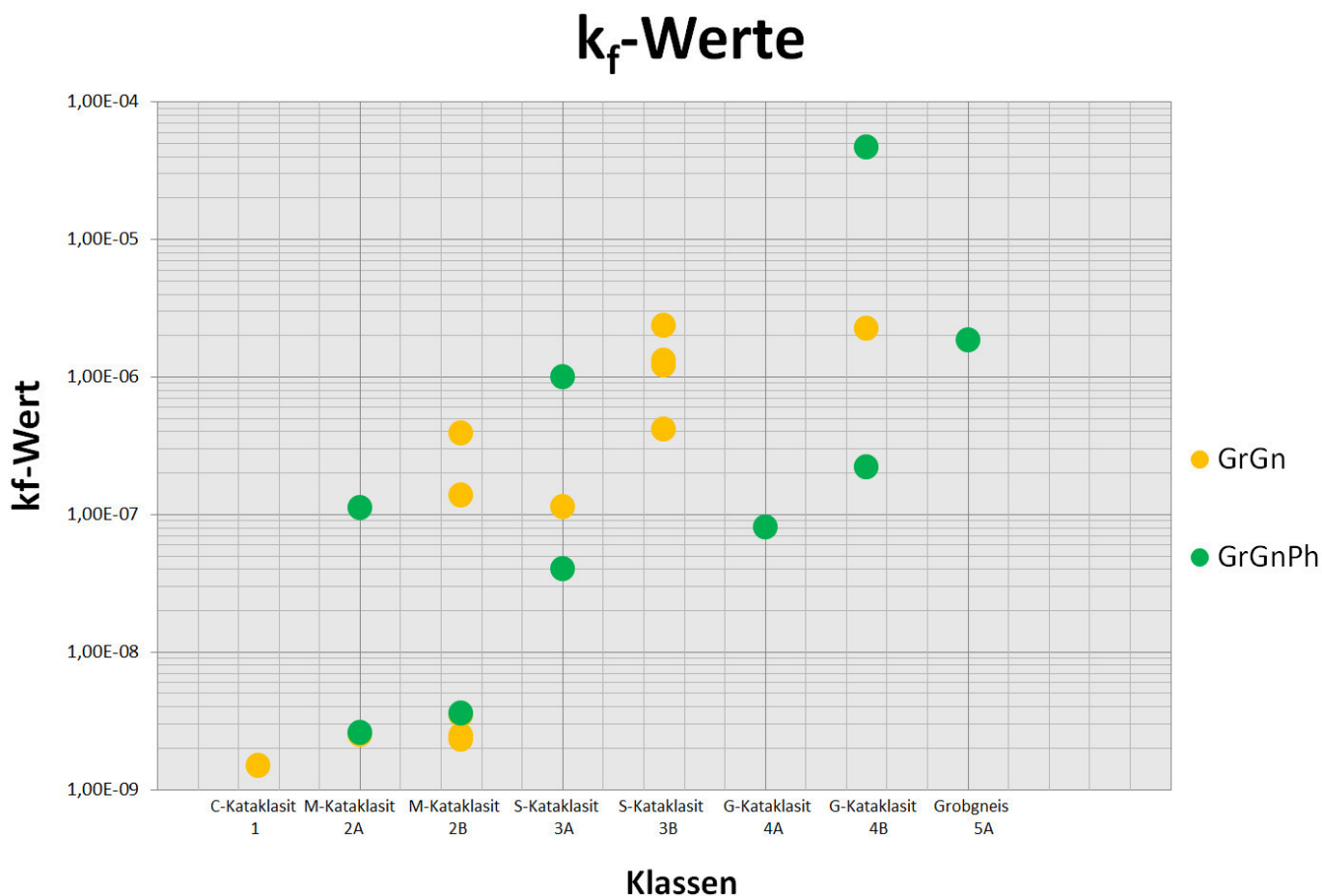


Abbildung 6.18 k_f -Werte aus der Korngrößenverteilung berechnet

6.9 Porenanteile des Probenmaterials

Der Porenanteil des Probenmaterials wurde mithilfe der Tauchwägung ermittelt. In Abbildung 6.19 werden die Porenanteile in Prozent angegeben und den Kataklasit-Klassen gegenübergestellt. Der Porenanteil ist bei dem feinkörnigsten Material am höchsten, darauffolgend sind die Unterschiede eher als gering zu betrachten. Die Porenanteile variieren vom M-Kataklasit bis zum G-Kataklasit recht stark. Jedoch ist der Trend zu beobachten, dass, je größer das Probenmaterial wird, wiederum der Gehalt an Poren leicht steigt. Im Bereich der fast intakten Proben (5 A sowie 5 B) sind die Porenanteile stark vermindert im Vergleich zu denen des feinkörnigen Materials (Klasse 1 bis 4 B).

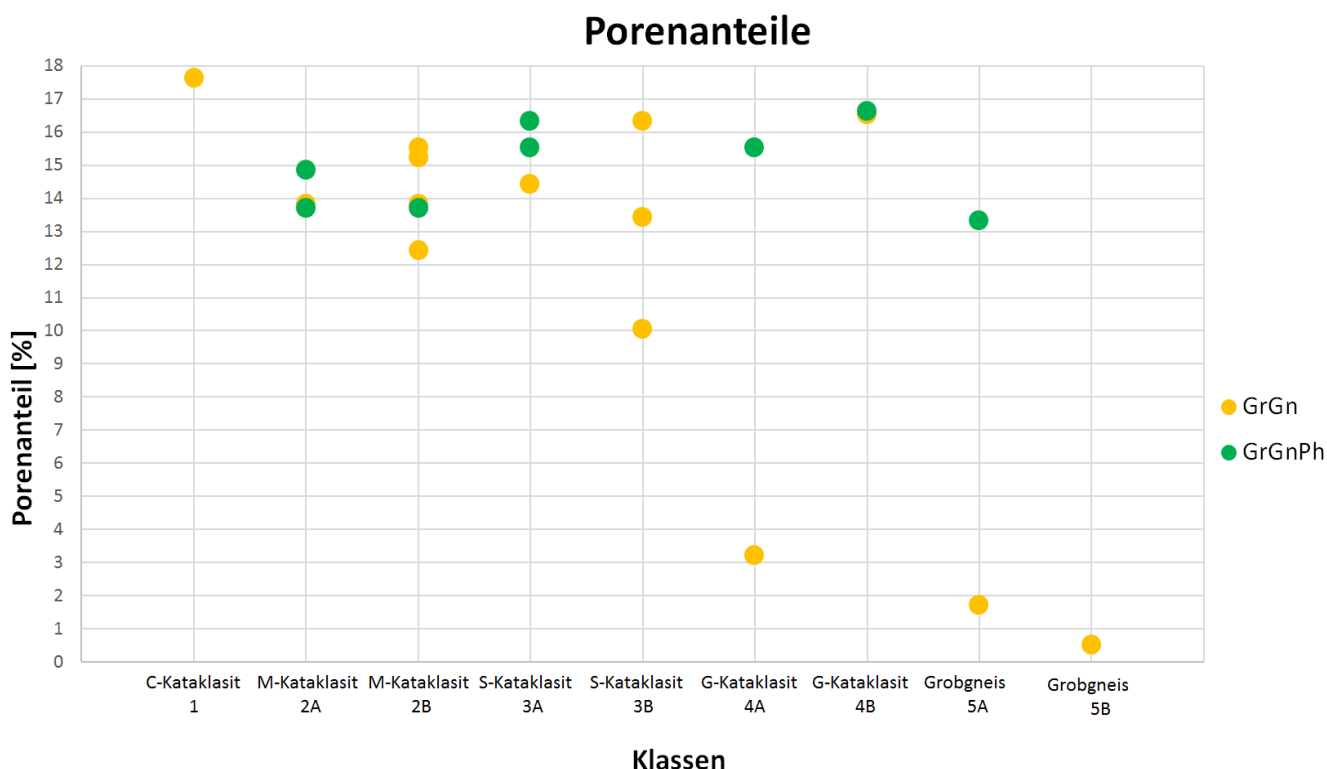


Abbildung 6.19 Porenanteile der unterschiedlichen Kataklasit-Klassen

6.10 Geophysikalische Bohrlochmessungen

Die Daten aus den Bohrloch Logs wurden herangezogen, um gewisse Trends im Bohrkernprofil aufzuzeigen. Es wurden Abschnitte, die reich an Tonmineralen sind, die Porosität sowie die Gesamtdichte aus den Natural Gamma Ray Logs (NGR), Gamma Gamma Density Logs (GGD), sowie phiGGD Logs, verdeutlicht.

Um ein Beispiel anzuführen, werden in Abbildung 6.20 die ausgewerteten Bohrloch-Logs, der relevanten Abschnitte der Bohrung KB 05/14 in einer Teufe von 15 m bis 41 m, präsentiert. Die Logs der Kernbohrungen KB 12/13 sowie KB 31/11 sind dem „Anhang III“ zu entnehmen.

Im Kaliber-Log (CAL) wird der Bohrlochdurchmesser angegeben, somit können Ausbruchstellen identifiziert werden. In der Teufe von etwa 25 m bis 27 m ist das Material im Bohrloch stark ausgebrochen, ebenso abgeschwächt von 31 m bis 32 m Teufe. Die Ausbrüche deuten auf weniger kompaktes Material und somit auf stärker gestörte Bereiche hin.

Die Werte des Natural Gamma Ray Logs variieren durch kalium-/uran-/thoriumreiche Abschnitte, sie weisen in einer Teufe von 15 m bis 27 m variable Strahlungswerte auf, im weiteren Verlauf ist eine einheitliche Strahlung beobachtbar.

Das GGD-Log verdeutlicht, dass in einer Teufe von 15 m bis 23 m eine höhere Dichte gemessen wurde als in der Teufe von 36 m bis 41 m. Während der starke Abfall der Dichte bei 32 m Teufe mit dem Bohrlochausbruch korreliert, sind die wechselnden Dichtewerte zwischen 23 m und 35 m wahrscheinlich störungsbedingt.

Die Porosität aus dem GGD-Log (PhiGGD) wurde anhand folgender Formel berechnet:

$$\Phi = \frac{\rho_K - \rho_{log}}{\rho_K - \rho_{Fluid}}$$

Φ Porosität
 ρ_K Korndichte
 ρ_{Fluid} Dichte des Fluids=1,0 g/cm³
 ρ_{log} gemessene Dichte

Sie ist zwischen 15 m und 23 m Teufe etwas geringer als zwischen 36 m und 41 m. Die Porosität differiert jedoch generell aufgrund der Störungszonen und der Bohrlochausbrüche.

Im Zuge der geophysikalischen Erkundung wurden in den jeweiligen Teufen, die für diese Arbeit von Relevanz sind, folgende Bohrlochmessungen durchgeführt:

KB 05/14	KB 11/13	KB 12/13	KB 31/11
CAL	-	CAL	CAL
NGR	-	NGR	NGR
GGD	-	GGD	GGD

Tabelle 6.19 Geophysikalische Bohrlochmessungen der Kernbohrungen

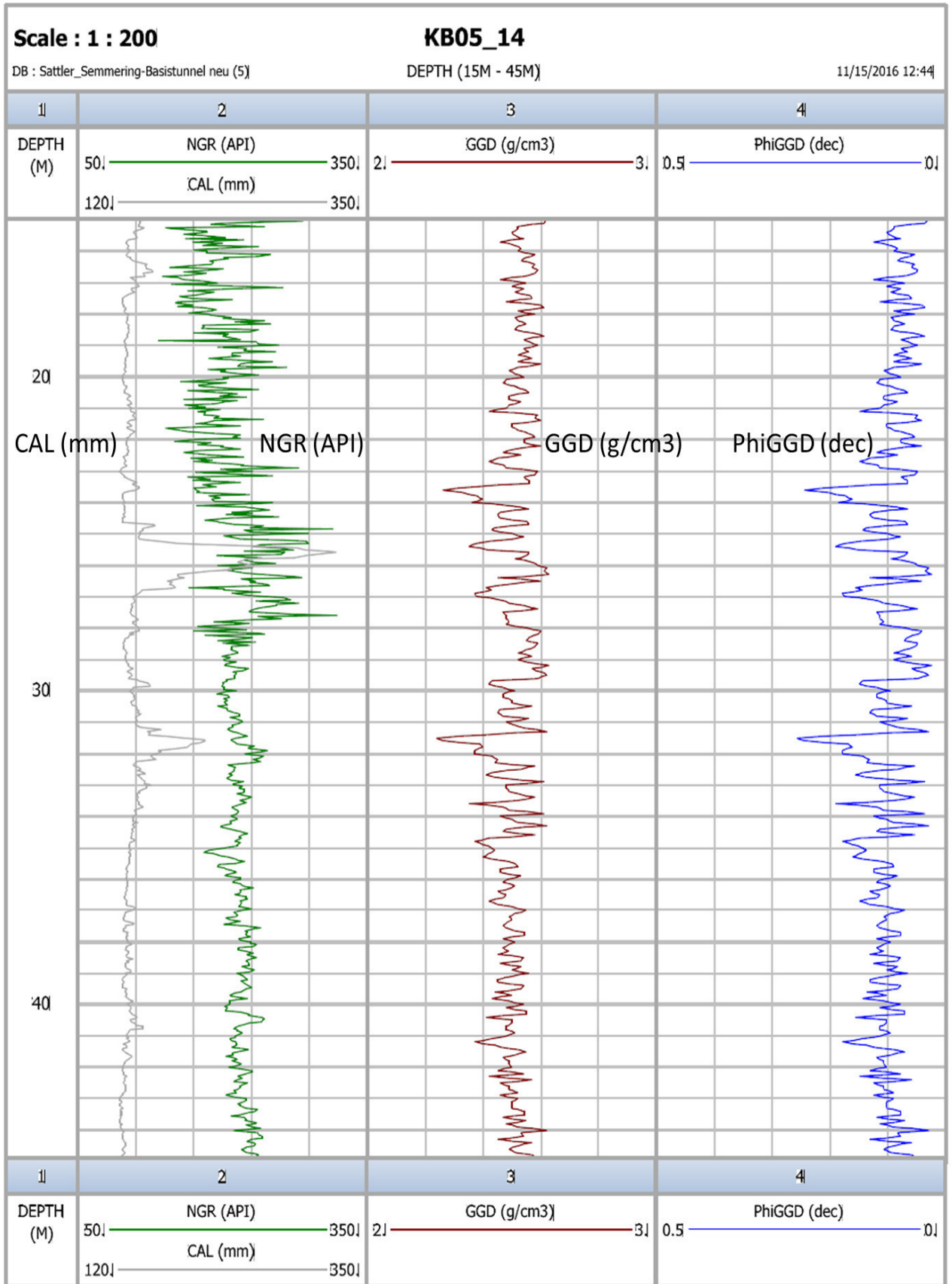


Abbildung 6.20 Bohrlochlog der Bohrung KB 05_14, Teufe von 15 bis 45m

7 Interpretation

Im folgenden Teil werden die Ergebnisse der Laboranalysen miteinander in Verbindung gebracht und interpretiert. Die gewonnenen Erkenntnisse ermöglichen eine Unterscheidung in mehrere Kataklasit-Klassen. Diesen wird, im Anschluss an die Laboranalysen, anhand ihrer labortechnisch ermittelten Eigenschaften ein abgeschätztes Potenzial für „fließendes Gebirgsverhalten“ zugeordnet.

7.1 Klassifizierung alt/neu

Die erste makroskopische Klassifizierung der Kataklasite wurde im Zuge der fortschreitenden Erkenntnisse, die während der Analysen dieser Arbeit gewonnen wurden, modifiziert.

Tabelle 7.1 verdeutlicht die Unterschiede der Klassifizierungen. Die Ergebnisse der Laboranalysen ließen eine Vereinfachung der, ursprünglich recht komplexen und detailreichen, Klassifizierung zu.

Klasse alt	Bezeichnung alt	Klasse neu	Bezeichnung neu
1	C-Kataklasit	1	C-Kataklasit
2 A	M-Kataklasit	2	M-Kataklasit
2 B	M-Kataklasit	3	M-S-Kataklasit
3 A	S-Kataklasit	4	S-Kataklasit
3 B	S-Kataklasit	5	S-G-Kataklasit
4 A	G-Kataklasit	6	G-Kataklasit
4 B	G-Kataklasit	7	G-Kataklasit-intakt
5 A	Grobgneis	8	intakt
5 B	Grobgneis		

Tabelle 7.1 Klassifizierung der Kataklasite nach makroskopischer Bohrkernbeschreibung (links) und finale Klassifizierung anhand der Laboranalysen (rechts)

Durch die Resultate der Laboranalysen ergab sich bisweilen eine neue Zuordnung des Probenmaterials. Einige Proben haben sich in ihrem Korngemisch feinkörniger herausgestellt als zuvor erachtet. Dies betrifft vor allem die ursprünglich als M-Kataklasit bezeichneten Probenstücke. Es stellte sich durchwegs heraus, dass sie nach der neuen Klassifizierung in ihrem Korngemisch den C-Kataklasiten zuzuordnen sind. Die Differenzierung von S-Kataklasiten und M-S-Kataklasiten ist im makroskopischen Bereich, durch die Ähnlichkeiten in der Korngrößenverteilung, schwierig. Deshalb ergaben sich ebenso bei den Kataklasiten dieser Klasse zuweilen Änderungen der Zuordnung.

Tabelle 7.2 verdeutlicht diese Änderungen:

Probenbezeichnung	Klasse alt	Bezeichnung alt	Klasse neu	Bezeichnung neu
TS05_14-01	2 A	M-Kataklasit	3	M-S-Kataklasit
TS05_14-02	2 B	M-Kataklasit	2	M-Kataklasit
TS31_11-03	2 A	M-Kataklasit	1	C-Kataklasit
TS31_11-04	2 B	M-Kataklasit	2	M-Kataklasit
TS31_11-05	2 B	M-Kataklasit	1	C-Kataklasit
TS31_11-06	5 C	Grobgneis	8	intakt
TS31_11-07	2 B	M-Kataklasit	3	M-S-Kataklasit
TS31_11-08	2 B	M-Kataklasit	1	C-Kataklasit
TS05_14-09	2 A	M-Kataklasit	2	M-Kataklasit
TS05_14-10	3A	S-Kataklasit	2	M-Kataklasit
TS31_11-11	1	C-Kataklasit	1	C-Kataklasit
TS31_11-12	2 B	M-Kataklasit	1	C-Kataklasit
TS11_13-13	3 B	S-Kataklasit	5	S-G-Kataklasit
TS11_13-14	3 A	S-Kataklasit	2	M-Kataklasit
TS05_14-15	3 A	S-Kataklasit	3	M-S-Kataklasit
TS05_14-16	2 B	M-Kataklasit	2	M-Kataklasit
TS12_13-17	3 B	S-Kataklasit	2	M-Kataklasit
TS31_11-18	3 B	S-Kataklasit	4	S-Kataklasit
TS11_13-19	3 B	S-Kataklasit	3	M-S-Kataklasit
TS12_13-20	4 A	G-Kataklasit	5	S-G-Kataklasit
TS05_14-21	4 A	G-Kataklasit	5	S-G-Kataklasit
TS05_14-22	4 A	G-Kataklasit	5	S-G-Kataklasit
TS11_13-24	4 A	G-Kataklasit	6	G-Kataklasit
TS11_13-25	4 A	G-Kataklasit	5	S-G-Kataklasit
TS11_13-26	5 B	Grobgneis	8	intakt
TS05_14-27	4 B	G-Kataklasit	5	S-G-Kataklasit
TS05_14-28	4 B	G-Kataklasit	2	M-Kataklasit
TS11_13-29	4 B	G-Kataklasit	6	G-Kataklasit
TS11_13-30	4 B	G-Kataklasit	5	S-G-Kataklasit
TS31_11-31	3 B	S-Kataklasit	4	S-Kataklasit
TS05_14-32	4 B	G-Kataklasit	6	G-Kataklasit
TS05_14-33	5 A	Grobgneis	5	S-G-Kataklasit
TS11_13-34	5 A	Grobgneis	7	G-Kataklasit-intakt
TS11_13-35	4 C	G-Kataklasit	8	intakt

Tabelle 7.2 Zuordnung des Probenmaterials nach ursprünglicher und neuer Klassifizierung

7.2 Interpretation der Ergebnisse

Die vorab entwickelte Klassifizierung nach der makroskopischen Ansprache fungierte als Grundstein für die Probenauswahl und die Untersuchungsmethoden. Basis für diese bildete vor allem die Korngrößenverteilung. So wurden etwa Kataklasite, welche besonders reich an der Feinkornfraktion waren, als C-Kataklasite und M-Kataklasite interpretiert. Sandige und kiesige Kataklasite wurden den S- bzw. G-Kataklasiten zugeordnet. Die Grobgnais-Klasse konnte durch die makroskopische Beschreibung ebenso in mehrere Gruppen unterteilt werden, nämlich von stark beanspruchtem Material bis hin zu intaktem Gneis. Ebenfalls ergaben sich Gesteinstypen, die Übergangsformen zwischen den Klassen darstellten, diese wurden als M-S Kataklasit sowie S-G Kataklasit bezeichnet. Als wesentlichste Parameter, um eine Abgrenzung der einzelnen Kataklasit-Klassen zu ermöglichen, stellten sich die Korngröße und die Gefügedaten heraus. Die Korngrößenanalyse lieferte relevante Daten für die Untergliederung der fein- bis mittelkörnigeren Kataklasite, die Ermittlung der Gefügedaten gestaltete sich für die Zuordnung der grobkörnigen Kataklasite von großer Bedeutung.

7.2.1 Korngrößenanalyse

Die Korngrößenanalyse verdeutlicht die große Bandbreite an Kornfraktionen des Probenmaterials, wie der Abbildung 6.16 im Ergebnisteil zu entnehmen ist.

Der Feinkornanteil ist im Besonderen dazu geeignet, die feinkörnigen sowie mittelkörnigen Störungsgesteine voneinander zu differenzieren. Dies betrifft vor allem C-, M- und S-Kataklasite, bei denen der Feinkorngehalt die Eigenschaften und ebenso das Verhalten prägt.

Stark kataklastisch überprägtes Material weist einen höheren Feinkornanteil auf als jenes, das eine geringere Beanspruchung aufweist. Dies ist auf die mechanische Zerkleinerung als auch auf Mineralumwandlungen zurückzuführen.

In Abbildung 7.1 wird der Feinkornanteil den Klassen 1 bis 6, von den C-Kataklasiten bis zu den G-Kataklasiten, gegenübergestellt.

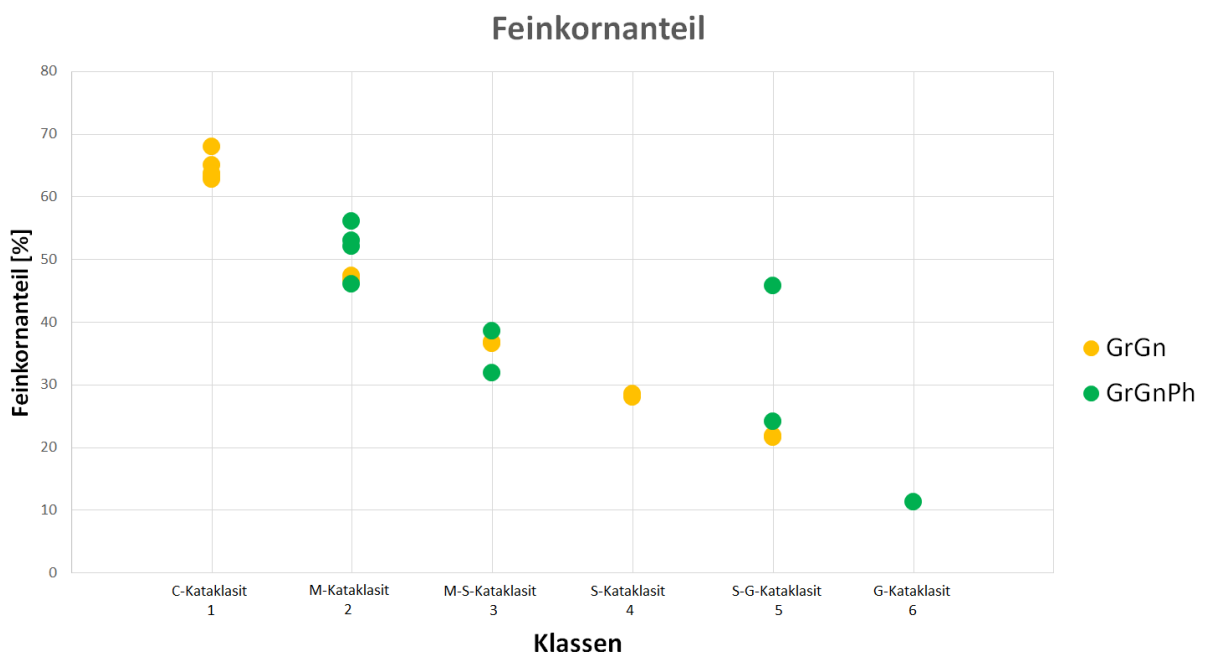


Abbildung 7.1 Feinkornanteil der Kataklasit Klassen 1 bis 6 (C- bis G-Kataklasit)

Da eine Siebanalyse des Probenmaterials der Klassen 7 (G-Kataklasit-intakt) und 8 (intakt) aufgrund des zusammenhängenden Kornverbands nicht möglich war, sind diese auch nicht in der Grafik angeführt. Die Probe TS05_14-22 der Klasse 5 (S-G-Kataklasit) weist mit 45,8 % einen höheren Feinkornanteil als die restlichen Proben dieser Klasse auf. Dies ist darauf zurückzuführen, dass das Probenmaterial in sich inhomogen war. Es bestand aus feinkörnigeren Abschnitten, welche eher denen eines M-Kataklasiten entsprechen, und grobkörnigeren Teilbereichen, die für eine Zuordnung zur Klasse 5 (S-G-Kataklasit) sprachen.

Da die Zuordnung der fein- bis mittelkörnigen Kataklasite hauptsächlich auf dem Feinkorngehalt basiert, ist auch der Abbildung 7.1, die deutliche Zunahme des Feinkorngehalts im Bereich der M- sowie C-Kataklasite zu entnehmen.

7.2.2 k_f -Werte

Die k_f -Werte in Abbildung 7.2 weisen einen ansteigenden Trend bei zunehmender Korngröße auf. Dies bedeutet, dass grobkörnige Kataklasite eine höhere Durchlässigkeit als feinkorndominierte besitzen. Ausschlaggebend dafür ist der höhere effektiv nutzbare Porenraum der S- und G-Kataklasite, der durch ihre Korngröße bedingt ist. Die Probe TS05_14-01 der Klasse 3 (M-S-Kataklasit) ist ebenso wie die Probe TS05_14-22 (Klasse 5, S-G-Kataklasit) in ihrem k_f -Wert nicht für ihre Klasse repräsentativ. Das Probenmaterial wies fließende Übergänge aus verschiedenkörnigem Material auf.

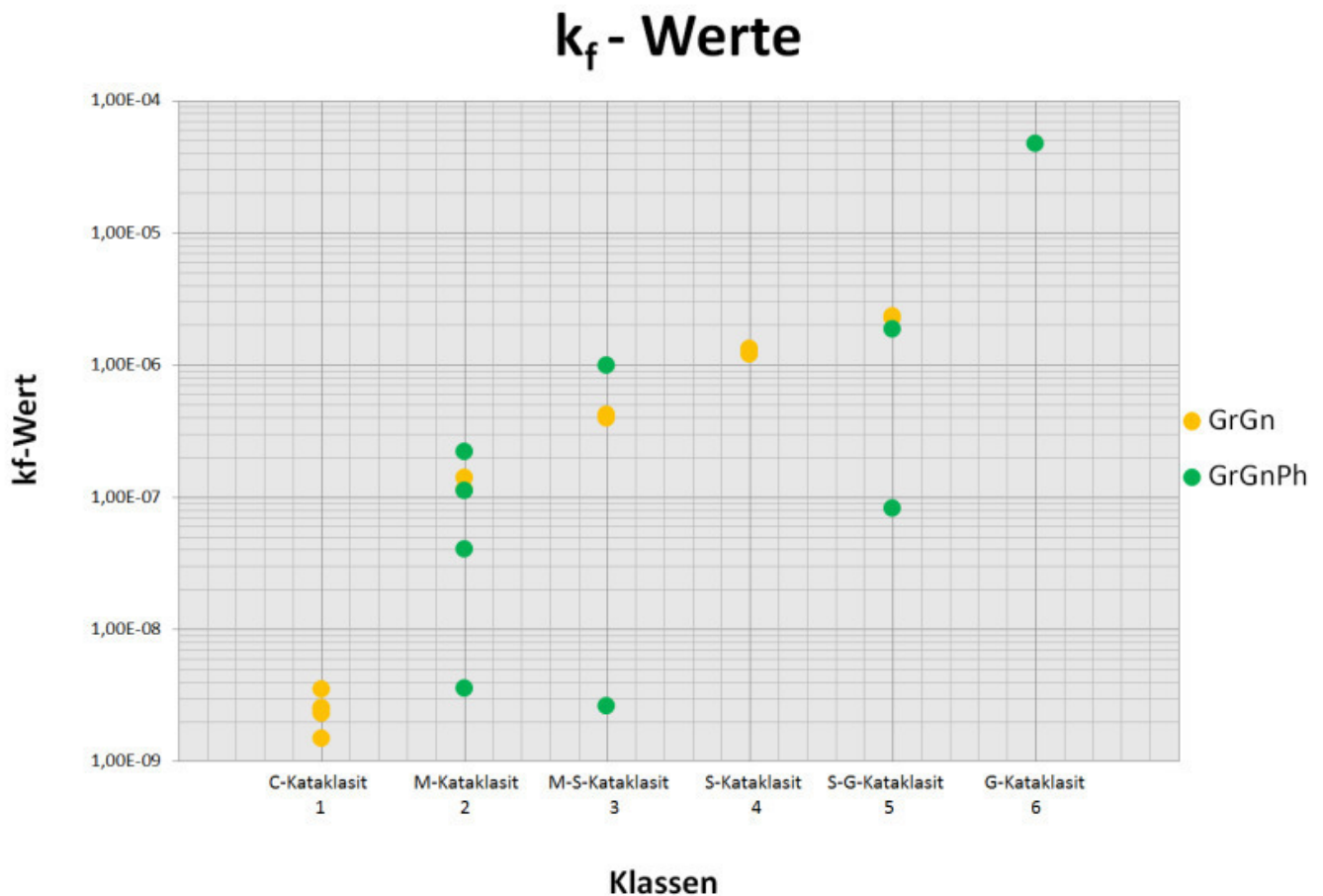


Abbildung 7.2 Durchlässigkeitsbeiwerte aus den Körnungslinien berechnet

Da die k_f -Werte aus den Körnungslinien berechnet wurden und nicht durch Messungen der hydraulischen Durchlässigkeit, können diese nur einer Abschätzung dienen. Inwiefern die berechneten k_f -Werte den tatsächlichen Durchlässigkeiten entsprechen, ist zu hinterfragen. Es ist anzunehmen, dass die tatsächlichen Durchlässigkeiten etwas geringer als die berechneten sind.

Kataklasite sind meist dichter gelagert als Sedimente. Die meisten Formeln zur Durchlässigkeitsberechnung wurden aber für Sedimente entwickelt. Weiters ist innerhalb der Kataklasite oft eine Wechsellagerung an unterschiedlichen Materialien gegeben. Dies bedingt eine Anisotropie, wobei die besonders feinkornreichen Lagen die Durchlässigkeiten ebenso herabsetzen.

7.2.3 Porenanteile

Anhand der ermittelten Porenanteile in Abbildung 7.3 lässt sich feststellen, dass C-Kataklasite in ihren Porenanteilen eine Divergenz aufweisen. Dies lässt sich unter anderem auch von den unterschiedlichen Graden der Kompaktion ableiten. Ebenso ist eine künstliche Auflockerung des Gefüges der Störungsgesteine möglich. Durch den Probengewinn, im Zuge einer Kernbohrung, wird das Gestein den ursprünglich umgebenden Verhältnissen entnommen. Somit kann es in manchen Fällen zu einer Entfestigung des Materials kommen.

Im Allgemeinen ist von den M-Kataklasiten (Klasse 2) bis zu den S-G-Kataklasiten (Klasse 5) ein leichter Anstieg im Porenanteil zu beobachten, der auf die Korngröße zurückzuführen ist.

G-Kataklasite (Klasse 6), die G-Kataklasite die den Übergang zum intakten Gneis (Klasse 7) bilden, und der intakte Gneis (Klasse 8) repräsentieren ein geringer beanspruchtes Material mitsamt Kluftvolumen.

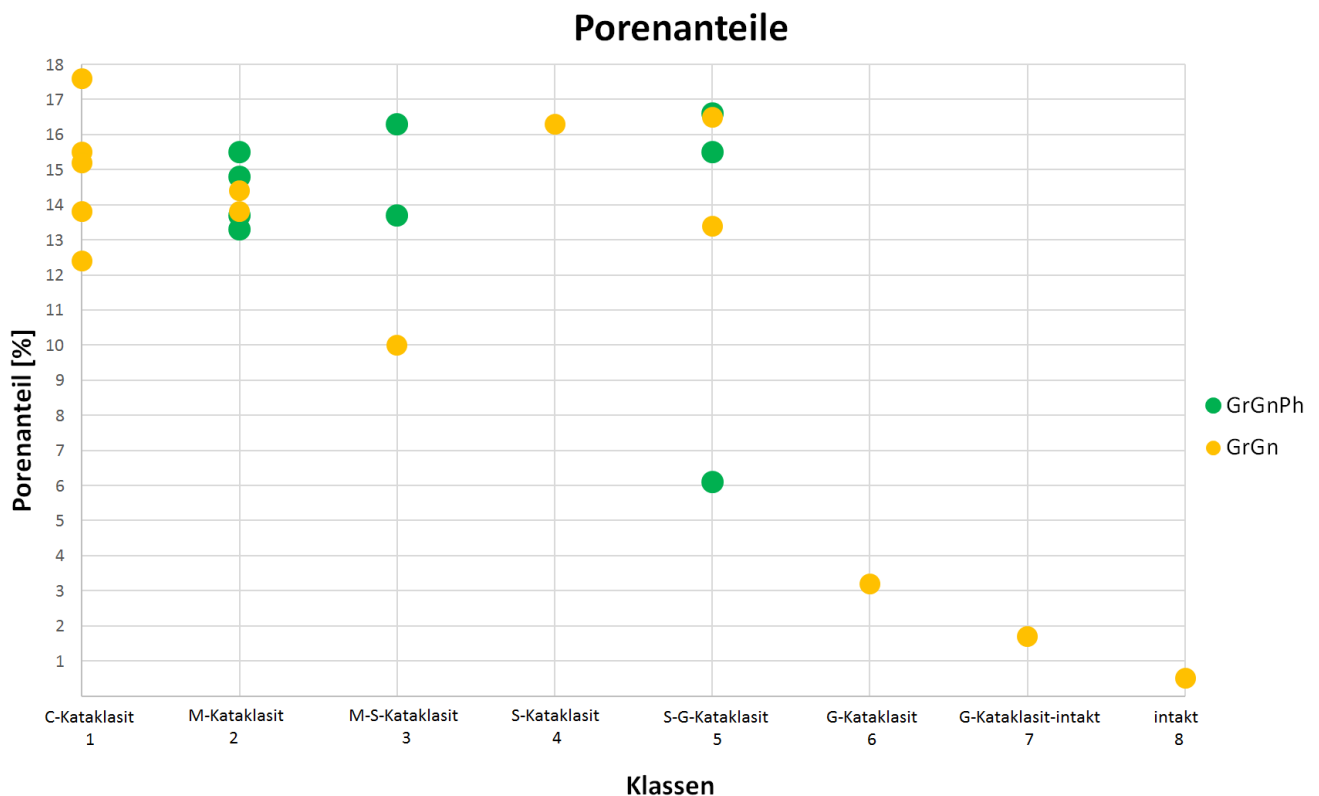


Abbildung 7.3 Porenanteile der Kataklasit-Klassen

7.2.4 Gefügedaten

Anhand der Feststellung des Gehalts an intakten Anteilen des Probenmaterials im Anschliff konnte dargelegt werden, dass die feinkörnigen Proben der C- sowie M-Kataklasite einen weitaus geringeren Anteil an intakten Bereichen aufweisen als die S- und G-Kataklasite, siehe Abbildung 7.4. Dies ist bedingt durch die fortschreitende Kataklyse, welche unter anderem die Deformation und Zerkleinerung vorantreibt.

Im Zuge der digitalen Bildanalyse der Anschliffe wiesen sich C-Kataklasite durch besonders viele feinkornreiche Horizonte und unregelmäßig verteilte, gerundete Quarzkörner aus. Die ausgeprägte Veränderung des ursprünglichen Gefüges lässt auf einen fortgeschrittenen Kataklyse-Prozess schließen. Dies ist auch durch die Mineralumwandlung der Feldspäte in Tonminerale wie den Kaolinit im Dünnschliff bestätigt. Das mikroskopische Gefüge ist dadurch bedingt ebenso engständig als auch besonders feinkörnig. Alterationserscheinungen entlang von Rissen weisen auf Fluidbewegungen hin, sind jedoch kleinräumig und begrenzt.

M- als auch M-S-Kataklasite weisen in etwa einen ähnlichen Gehalt an intaktem Material auf, welcher allerdings durch Klatten mit kantengerundeten Formen geprägt ist. Zum Teil ist das ursprüngliche Parallelgefüge des Gneises noch makroskopisch sowie mikroskopisch angedeutet. Jedoch ist eine vermehrte Rissbildung vorhanden. Es sind somit eine ausgeprägte Deformation und brüchige Zerkleinerung festzustellen. Dadurch wird, im Vergleich zu den C-Kataklasiten, ein gering grobkörnigeres, von Rissen gekennzeichnetes Gefüge bedingt. Die Kataklyse ist bei diesen Kataklasiten etwas weniger stark fortgeschritten als bei den C-Kataklasiten.

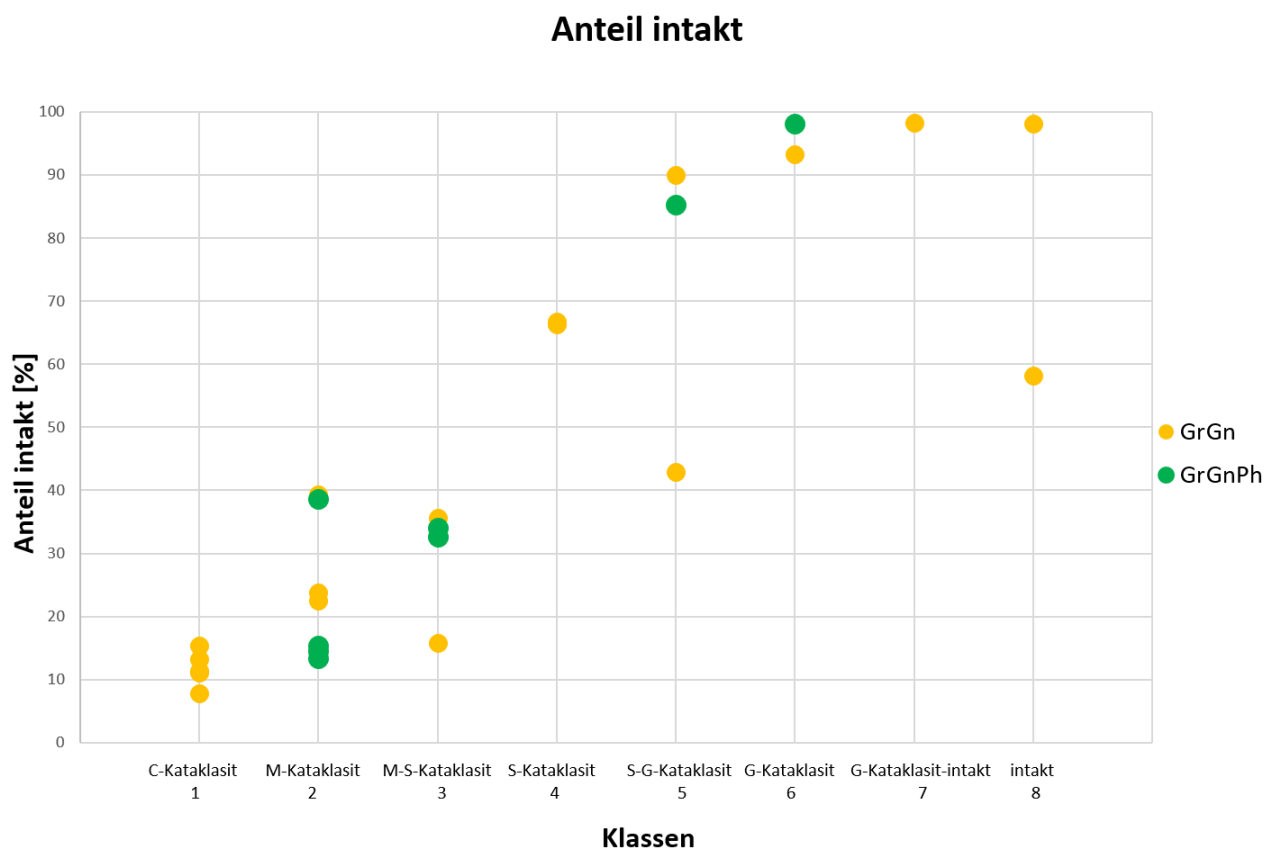


Abbildung 7.4 Intakte Anteile der Kataklasit-Klassen

S-Kataklasite und S-G-Kataklasite werden sowohl makroskopisch als auch im mikroskopischen Maßstab durch ausgeprägte Rissbildungen charakterisiert. Diese entfestigen das Gefüge in einem hohen Ausmaß, der Kornverband ist oftmals unzusammenhängend. Im Dünnschliff ist, im Gegensatz zu den feinkörnigeren Kataklasiten, die Matrix hauptsächlich aus feinen Quarzkörnchen aufgebaut. Die Tonminerale sind hier nur mehr untergeordnet in der Matrix vorzufinden und füllen bevorzugt Risse. Die Alterationen entlang der Risse weisen auf eine erhöhte Fluidbewegung hin und verdeutlichen die Bedeutsamkeit des Wassereinflusses auf diese Kataklasite.

Ebenso von Rissbildungen geprägt sind G-Kataklasite als auch G-Kataklasite, die den Übergang zum intakten Gestein darstellen. Allerdings weisen sie nur mehr stark untergeordnet feinkornreiche Bahnen auf. Das Gefüge weist meist die Paralleltexur des Gneises auf, oft ist es mikroskopisch als komponentengestützt zu betrachten. Fluidbewegungen werden entlang von Rissen durch Alterationserscheinungen verdeutlicht, dies ist jedoch im Vergleich zu den S-Kataklasiten und S-G-Kataklasiten in einem verringerten Ausmaß wahrzunehmen. Auch die Kornformen der Klasten sind hauptsächlich angular und nicht gerundet. Der Prozess der Kataklase ist deutlich erkennbar, allerdings in etwas geringerer Ausprägung als dies bei den zuvor charakterisierten Kataklasiten der Fall ist.

Der weitestgehend intakte Gneis weist nur eine sehr geringe Rissbildung auf, ein typisches Parallelgefüge ist erkennbar. Auch ist die herkömmliche mineralogische Zusammensetzung aus Quarz, Feldspäten und Glimmermineralen gegeben.

7.2.5 Mineralogische Untersuchungen

Die Ergebnisse der Messungen anhand der Röntgendiffraktometrie zeigen, dass die feinkörnigen C- und M-Kataklasite sowie auch die Klasse der S-Kataklasite einen erheblichen Anteil an Muskovit beinhalten. Die Mineralogie gestaltet sich hier generell sehr schlicht. Quarze und Muskovite bilden die Hauptmasse und werden teilweise von einem geringen Gehalt an Chlorit ergänzt. Dies kann anhand der fortgeschrittenen Kataklase interpretiert werden. Weiters wurden die Feldspäte teilweise in Tonminerale umgewandelt.

In den betont grobkörnigen Kataklasiten, wie dem G-Kataklasit und dem beinahe intakten Gneis, ist eine Mineralogie bestehend aus Quarzen, Muskoviten, Plagioklasen und Kalifeldspäten ermittelt worden. Durch eine progressive Kataklase wird offenbar der Kalifeldspat vor dem Plagioklas umgewandelt/konsumiert und scheint weniger resistent gegenüber der Beanspruchung zu sein.

7.3 Abschätzung des Potenzials für „fließendes Gebirgsverhalten“

Auf Basis sämtlicher Ergebnisse konnte die Klassifizierung nach der makroskopischen Ansprache (Tabelle 6.2) modifiziert und präzisiert werden. Dadurch ergaben sich acht Klassen, die sich durch ihre Materialparameter unterscheiden lassen. Diese Materialparameter ermöglichten eine Abschätzung des Fließpotenzials.

In Tabelle 7.3 wird das Ausmaß des Fließpotenzials sowie dazugehörige Charakteristika beschrieben:

Kategorie	Fließpotenzial (FP)	Fließverhalten	Vorkommen	Klasse
0	kein Fließpotenzial	kein Fließverhalten	C-Kataklasit	1
			Grobgneis intakt	8
1	geringes Fließpotenzial	Fließverhalten bei höheren Wasserdrücken bzw. Gradienten eingeschränkt möglich	M-Kataklasit	2
			G-Kataklasit-intakt	7
2	mäßiges Fließpotenzial	Fließverhalten bei höheren Wasserdrücken bzw. Gradienten möglich bzw. zu erwarten	M-S-Kataklasit	3
			G-Kataklasit	6
3	hohes Fließpotenzial	Fließverhalten bei Vorhandensein von Wasser möglich bzw. zu erwarten	S-Kataklasit	4
			S-G-Kataklasit	5

Tabelle 7.3 Beschreibung des Potenzials für „fließendes Gebirgsverhalten“

Der Klasse 1 (entspricht dem C-Kataklasit) kann aufgrund ihrer extrem hohen Feinkorngehalte, einem niedrigen Porenanteil und der meist hochgradigen Kompaktion keine Gefahr für fließendes Gebirgsverhalten zugeordnet werden.

Die 2. Klasse (M-Kataklasit) ist durch einen etwas geringeren, im Gesamten aber immer noch hohen Anteil an feinkörnigem Material gekennzeichnet. Allerdings sind die Kiesfraktion sowie vor allem die Sandfraktion deutlicher vertreten. Hierbei handelt es sich meist um schluffige Gemische. Dadurch ist ein Fließpotenzial bei erhöhtem Wasserdruck eingeschränkt möglich. Es wurde somit das Fließpotenzial „1“ zugeordnet.

Die M-S-Kataklasite (Klasse 3) sind in ihrer Kornverteilung sandig dominiert, ihr Feinkornanteil liegt unter 40 %. Die Gefahr für fließendes Gebirgsverhalten ist in dieser Klasse erhöht, dies entspricht in etwa einem Fließpotenzial von „2“.

S-Kataklasite (Klasse 4) sind betont sandige, gering kiesige Gemische. Sie werden durch einen hohen Porenanteil gekennzeichnet, weiters ist die Durchlässigkeit mit 10^{-6} m/s nach DIN 18130-1 als schwach durchlässig einzustufen. Dies ist ein gesteigerter Wert im Vergleich zu den vorangehenden Gruppen. Die S-Kataklasite weisen ein hohes Fließpotenzial („3“) auf, bei Vorhandensein von Wasser ist ein Fließverhalten möglich.

Die Klasse 5 beschreibt die S-G-Kataklasite. Diese besitzen ein sandig-kiesig dominiertes Korngemisch, wobei der Feinkorngehalt auf etwa 20 bis 40 % verringert ist. Der Porenanteil ist weitestgehend recht hoch mit bis zu knapp 17 %. Sobald das Material mit Wasser in Kontakt kommt, ist ein Fließverhalten zu erwarten, wobei der Wasserdruck eine untergeordnete Rolle spielt. Somit ist ein Fließpotenzial von „3“ gegeben.

Die G-Kataklasite (Klasse 6) weisen ein sandiges, stark kiesiges Korngemisch auf. Ihr Durchlässigkeitsbeiwert liegt bei 10^{-5} m/s. Die Struktur des Ausgangsmaterials ist andeutungsweise noch gegeben, jedoch ist das Gefüge sehr stark beansprucht. Durch die erhöhte Durchlässigkeit und die Korngrößenverteilung wurde den G-Kataklasiten ein mäßiges Fließpotenzial von „2“ zugeordnet. In der Klasse 7 finden sich Gesteine wieder, die den Übergang vom G-Kataklasit zum intakten Gestein repräsentieren. Das Material ist stark beansprucht, zerklüftet und der Kornverband gelockert, aber gut verzahnt. Daher ist in diesem Fall ein Fließpotenzial von „1“ gegeben.

Die intakten Grobgnese (Klasse 8) weisen nur teilweise eine leichte Rissbildung auf, das Gefüge ist jedoch weitestgehend das eines unbeanspruchten Gneises. Auch sind eine Verzahnung sowie ein unversehrter Kornverband gegeben. Somit ist in diesem Fall kein Fließpotenzial gegeben.

7.4 Finale Klassifizierung der Kataklasite

Tabelle 7.4 präsentiert die finale Differenzierung der Störungsgesteine in acht unterschiedlichen Kataklasit-Klassen. Sie enthält die labortechnische Charakterisierung des Störungsgesteinsmaterials mit der Abschätzung des jeweiligen Fließpotenzials.

Proben, die repräsentativ für eine Klasse sind, werden in der Tabelle fett gedruckt dargestellt. Hierfür wurde jeweils eine Probe ausgewählt. Die Ausgangslithologien der Störungsgesteine sind der Tabelle ebenfalls zu entnehmen, sowie eine allgemeine makroskopische Beschreibung der Gesteine der Kataklasit-Klasse. Das Korngemisch wurde der ÖNORM EN ISO 14688-1 gerecht angegeben. Die Bilder der Anschliffe sowie die Kernfotos zeigen die repräsentativen Proben. Neben der Angabe der Klassen und ihrer Bezeichnungen wird schlussendlich das abgeschätzte Potenzial für „fließendes Gebirgsverhalten“ angegeben.

Dem „Anhang IV“ ist eine tabellarische Auflistung sämtlicher ermittelten Kennwerte zu entnehmen.

Charakterisierung von Störungsgesteinen im Hinblick auf ihr Potenzial für „fließendes Gebirgsverhalten“



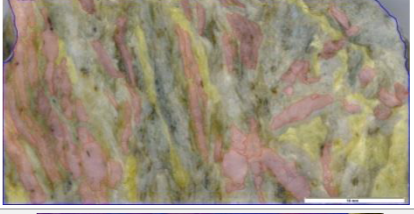

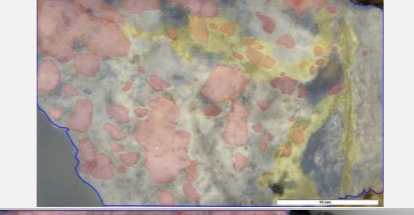

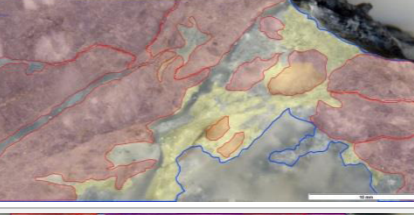



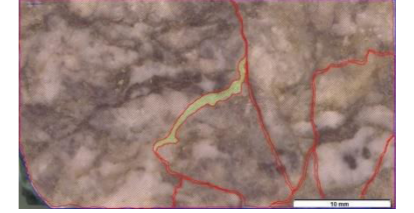

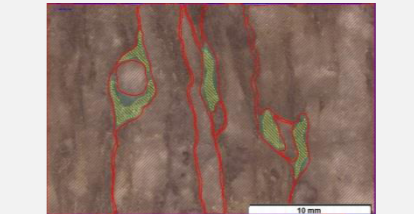

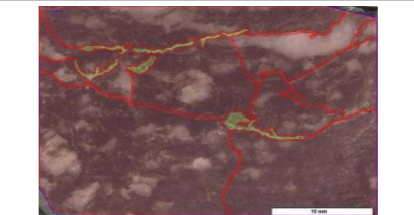

Probennummer	Ausgangsmaterial	Probenbeschreibung	Beschreibung Korngemisch	Kies-Anteil [%]	Sand-Anteil [%]	Schluff-Anteil [%]	Ton-Anteil [%]	Feinkorn-Anteil [%]	Poren-Anteil [%]	Dichte [g/cm³]	Anteil intakt makr. [%]	k _v -Wert	Anschliff	Kernfoto	Klasse	Bezeichnung	Fließ-Potenzial
TS31_11-03 TS31_11-05 TS31_11-08 TS31_11-11 TS31_11-12	Grobgneis	Material meist stark kompaktiert, stark schluffig, gering kiesig, besonders hoher Feinkornanteil, gerundete Quarzkörner in bis zu mehreren mm-Größe in feinkörniger Matrix verteilt	gr' cl sa* Si	0,4 - 2,2	30,7 - 36,9	37,8 - 45,2	19,8 - 30,1	62,8 - 67,9	12,4 - 17,6	2,2 - 2,32	7,9 - 15,4	1,5E-09 - 3,49E-09			1	C - Kataklasit	0
TS31_11-04 TS05_14-09 TS05_14-10 TS11_13-14 TS05_14-02 TS05_14-16 TS12_13-17 TS05_14-28	Grobgneis Grobgneisphyllonit	Struktur des Gneises teils andeutungsweise noch in Form von Grobneisschüppchen erhalten, oft stark zerlegte Quarzlinien / Quarzzerreißel, sandig-schluffig mit hohem Feinkornanteil, gering kiesig	gr' cl' si* Sa	2,1 - 7,7	42,4 - 50,4	34,1 - 39,4	11,2 - 15,0	46,0 - 53,0	13,3 - 15,5	2,2 - 2,3	13,4 - 38,6	4,03E-08 - 2,2E-07			2	M - Kataklasit	1
TS05_14-15 TS05_14-01 TS31_11-07 TS11_13-19	Grobgneisphyllonit Grobgneis	hoher Zerlegungsgrad, zerlegte Grobneisschüppchen bilden das "Gerüst", teilweise angewittert, kiesig-sandig, geringer Feinkornanteil, häufig schlecht sortiert, Grobneisschüppchen im Fall von Grobneisphyllonit serizitisiert, zum Teil stark kompaktiert	cl' gr' si Sa	8,31 - 11,8	51,7 - 59,9	24,3 - 27,1	7,51 - 9,8	31,8 - 36,8	10,0 - 16,3	2,2 - 2,4	15,9 - 35,6	3,91E-07 - 9,92E-07			3	M - S - Kataklasit	2
TS31_11-18 TS31_11-31	Grobgneis	gräulich-bräunliche Eigenfarbe, häufig intakte Grobneisschüppchen, sandig, gering kiesig, geringer Feinkornanteil	cl' gr' si Sa	7,7 - 17,5	54,5 - 63,8	22,7 - 22,8	5,2 - 5,8	28,0 - 28,5	16,3	2,3	66,2 - 66,7	1,21E-06 - 1,32E-06			4	S - Kataklasit	3
TS11_13-30 TS11_13-13 TS12_13-20 TS05_14-21 TS05_14-22 TS11_13-25 TS05_14-27 TS05_14-33	Grobgneis Grobgneisphyllonit	Material stark beansprucht / entfestigt, serizitisierte Grobneisschuppen, teils cm mächtige Derbyquarzadern, Quarzklasten oft bis zu mehreren cm groß, stark kiesig, sandig, geringer Feinkornanteil	cl' gr si Sa	16,9 - 28,4	47,6 - 61,5	15,4 - 18,7	5,40	21,6 - 24,1	6,1 - 16,5	2,2 - 2,5	42,9 - 90,0	1,86E-06 - 2,35E-06			5	S - G - Kataklasit	3
TS05_14-32 TS11_13-24 TS11_13-29	Grobgneisphyllonit Grobgneis	stark kataklastisch überprägt, stark kiesig, stark sandig, sehr geringer Feinkornanteil, Derbyquarzlinien in cm Mächtigkeit, bei Grobneisphyllonit serizitisierte Grobneisschuppen erhalten	si' Sa/Gr	40,4	48,4	8,2	3,1	11,3	3,2	2,6	98,1 - 93,2	4,69E-05			6	G - Kataklasit	2
TS11_13-34	Grobgneis	Material beansprucht („angeknackt“) geht über zu kompetenten / massigen Material, zerklüftet	beinahe intakt						1,7	2,6	98,2				7	G - Kataklasit - intakt	1
TS11_13-35 TS31_11-06 TS11_13-26	Grobgneis	Material wenig-leicht beansprucht, Quarzadern in cm-Mächtigkeit, Gestein meist massig, leichte Rissbildung	intakt						0,5	2,7	98,1				8	intakt	0

Tabelle 7.4 Finale Kataklasit-Klassifizierung

8 Schlussfolgerung und Ausblick

Die Ergebnisse der vorliegenden Masterarbeit ermöglichen, aufgrund der ermittelten Parameter, eine Untergliederung des Probenmaterials in acht Klassen. Ihnen wurde ein Potenzial für „fließendes Gebirgsverhalten“ zugeordnet. Bei intaktem Gestein und bindigem Material ist ein Fließpotenzial generell nicht gegeben. Dagegen ist ein hohes Fließpotenzial bei gestörten Gesteinen mit starkem Grobkornanteil und schlechter Verzahnung existent.

Bei einem Auftreten von Störungsgesteinen in den Erkundungsbohrungen können diese, mithilfe der in dieser Arbeit beschriebenen Methoden, klassifiziert werden. Somit wird ermöglicht, das Potenzial für „fließendes Gebirgsverhalten“ vorab, bevor es zu einem Antreffen im Tunnelvortrieb kommt, abzuschätzen.

In weiterer Folge können darauf basierend Präventivmaßnahmen ergriffen werden. Dies können einerseits vorseilende Drainagen sein, die den Wasserdruck reduzieren sollen, oder andererseits Injektionen sein, welche möglicherweise eine Verbesserung der Materialeigenschaften bewirken. Solche Injektionen im Tunnelbau können das Potenzial für „fließendes Gebirgsverhalten“ stark herabsetzen. Durch das Einpressen von Injektionsmedien in die Störungsgesteine wird eine Abdichtung gewährleistet, sodass Wasser auch bei höherem Druck die Kataklasite nicht mehr durchdringen kann. Je nach Durchlässigkeit und Materialzusammensetzung müssen die geeigneten Injektionsmedien gewählt werden. Häufig werden Zementsuspensionen im Tunnelbau angewandt, es gibt zudem noch eine große Vielfalt an chemischen Injektionsmitteln wie etwa Kunstharzinjektionen. Die Auswahl des passenden Injektionsmediums und dessen Menge ist von der Art des Störungsgesteins abhängig.

Beim Durchführen von Injektionen kann jedoch nicht auf die kleinräumig wechselnden Gesteinseigenschaften eingegangen werden. Sie müssen auf die maßgeblichen Eigenschaften im Maßstab des Gebirges, oder die innerhalb einer Störungszone, abgestimmt werden.

Als weiterführender Schritt könnte eine umfassende Beurteilung der gesamten Störungszonen vorgenommen werden. Die Störungsgesteinscharakterisierung sollte, vom Detailmaßstab ausgehend, in einen großen Maßstab, der für eine Störungszone repräsentativ ist, übertragen werden. Untersuchungen sollten mit einem Augenmerk auf die Verteilung der unterschiedlichen Kataklasit-Klassen innerhalb einer Störungszone durchgeführt werden, sodass in weiterer Folge eine Abschätzung des gesamten Fließpotenzials einer Bohrkernstrecke ermöglicht wird.

9 Literaturverzeichnis

- 3G, (2015a): *Semmering-Basistunnel Neu. Baulos SBT3.1-Tunnel Grautschenhof B13528. Ausschreibungsprojekt. Baugeologisch-geotechnischer Bericht. 3G Gruppe Geotechnik GmbH, unveröffentlichter Bericht, Juli 2015, 283 S.*
- 3G, (2015b): *Semmering-Basistunnel Neu. Baulos SBT3.1-Tunnel Grautschenhof B13528. Ausschreibungsprojekt. Baugeologischer Längenschnitt Streckenröhre Gleis 1 km 96.900 – km 115.727 1:5000. 3G Gruppe Geotechnik GmbH, unveröffentlichter Plan, November 2015.*
- Caine, J.S., Evans, J.P., Forster, C.B. (1996): *Fault zone architecture and permeability structure. Geology 24, 1025–1028.*
- Devlin, J.F. (2015): *HydroGeoSieveXL: an Excel-based tool to estimate hydraulic conductivity from grain-size analysis. Hydrogeology Journal, 23, 4, 837-844*
- DIN 18130-1 (1998): *Baugrund-Untersuchung von Bodenproben; Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwerts-Teil 1: Laborversuche*
- Ebner, F. & Sachsenhofer, R. F. (1991): *Die Entwicklungsgeschichte des Steirischen Tertiärbeckens. Mitteilungen der Abteilung Geologie und Paläontologie am Landesmuseum Joanneum 49, 1 96.*
- Ebner, F. & Sachsenhofer, R. F. (1995): *Palaeogeography, subsidence and thermal history of the Neogene Styrian Basin (Pannonian basin system, Austria). Tectonophysics 242, 133-150.*
- Fasching, F. & Vanek, R. (2011): *Ingenieurgeologische Charakterisierung von Störungsgesteinen und Störungszonen. Geomechanics and Tunneling 4, No. 3, 181-194, Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin*
- Genser, J. & Neubauer, F. (1989): *Low angle normal faults at the eastern margin of the Tauern Window (Eastern Alps). Mitteilungen der Österreichischen Geologischen Gesellschaft 81, 233 243.*
- Gobiet, G. (2013): *Der Semmering-Basistunnel neu-das Projekt im Überblick. Geomechanics and Tunneling 6, No. 6, 680-687. Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH&Co.KG, Berlin*
- Gobiet, G. & Wagner, O. K. (2013): *Das Projekt Semmering-Basistunnel neu. Geomechanics and Tunneling 6, No 5, 551-558. Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH&Co.KG, Berlin*
- Hoffmann-Rothe, A. (2002): *Combined structural and magnetotelluric investigation across the West Fault Zone in northern Chile; -118 S.; Dissertation; Potsdam*
- Koller, F., Pumhösl, H., Thöni, M., Faryad, S. W., Seifert-Falkner, C., Frank, W., Miller, C., Satir, M. (2002): *Permian Gabbroic Intrusions within the Lower Austriapine Grobgness Unit*

(EasternAlps): Origin, Evolution and Tectonic Setting; Proceedings of XVII. Congress of Carpathian-Balkan Geological Association; Bratislava, September 1st - 4th 2002.

Mandl, G. (1988): *Mechanics of tectonic faulting. Developments in structural geology*, H. J. Zwart (Ed.), Elsevier, 407 pp.

Mandl, G. (1999): *Faulting in brittle rocks: an introduction to the mechanics of tectonic faults.* Springer, 434 pp.

Mandl, G. W., Nowotny, A., Rockenschaub, M. (2001): *Geologische Karte von Österreich 1:50 000. Blatt 104 Mürzzuschlag. Geologische Bundesanstalt (Hrsg.), Wien.*

Neubauer, F. & Genser, J. (1990): *Architektur und Kinematik der östlichen Zentralalpen – Eine Übersicht. Mitteilungen des Naturwissenschaftlichen Vereins Steiermark 120, 203-219.*

ÖGG-Österreichische Gesellschaft für Geomechanik (2008): *Richtlinie für die Geotechnische Planung von Untertagebauten mit zyklischem Vortrieb, 2. Überarbeitete Auflage; Salzburg, 2008.*

ÖNORM EN ISO 14688-1 (2016): *Geotechnische Erkundung und Untersuchung-Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden-Teil 1: Benennung und Beschreibung*

ÖNORM EN ISO 17892-3 (2016): *Geotechnische Erkundung und Untersuchung-Laborversuche an Bodenproben-Teil 3: Bestimmung der Korndichte*

ÖNORM EN ISO 17892-4 (2017): *Geotechnische Erkundung und Untersuchung-Laborversuche an Bodenproben-Teil 4: Bestimmung der Korngrößenverteilung*

Ratschbacher, L., Merle, O., Davy, Ph., Cobbold, P. (1991): *Lateral extrusion in the Eastern Alps, 1. Boundary conditions and experiments scaled for gravity. Tectonics 10, 245-256.*

Riedmüller, G., Brosch, F. J., Klima, K., Medley, W. (2001): *Engineering Geological Characterization of Brittle Faults and Classification of Fault Rocks. Felsbau 19, No. 4, 13-19.*

Schubert, W., Fasching, A., Goricki, A. (2006): *Tunneling in Fault Zones-State of the Art. In Lee, In-Mo, Yoo, Chungsik & You, Kwang-Ho (Hrsg.), Safety in Underground Space; Proc. of the ITA-AITES 2006 World Tunnel Congress and 32nd ITA General Assembly, 22-27 April 2006, Seoul, Korea; Tunnelling and Underground Space Technology 21 (2006): abstract 376-377, paper: pita06 0357, CD-ROM. Elsevier*

Schuster, R. (2010): *Die Geologie der Ostalpen: Neue Daten, mögliche Modelle und offene Fragen; Vortragsunterlagen vom 14.01.2010.*

Schuster, R. (2013): *Einführung in die regionale Geologie Europas - Geologie von Österreich; Vorlesungsunterlagen Universität Wien SS 2013.*

Tollmann, A. (1977): *Geologie von Österreich, Band 1. Die Zentralalpen. Franz Deuticke Verlag, Wien, 766 S.*

Vukovic, M. & Soro, A. (1992): Determination of hydraulic conductivity of porous media from grain size composition. Miladinov, D., translator, Water Resources Publications, Littleton, Colorado, USA, 83 pp.

Witt, K. (2008): Grundbau-Taschenbuch, Teil 1: Geotechnische Grundlagen, 7. Auflage, Ernst&Sohn, Berlin 2008, 138 S.

<http://www.gis.steiermark.at/> (abgerufen im Dezember 2017)

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1 Aufbau einer Störungszone nach Hoffmann-Rothe, 2002	8
Abbildung 2.2 Ingenieurgeologische Klassifizierung von kataklastischen Gesteinen/Störungsgesteinen (Riedmüller et al., 2001)	9
Abbildung 3.1 Geographischer Verlauf des Bauloses SBT 3.1 mit Lage der bearbeiteten Kernbohrungen (abgerufen unter GIS Steiermark, Stand Dezember 2017)	11
Abbildung 4.1 Geologische Übersichtskarte um das Gebiet von Baulos SBT 3.1 (Grundlage: Mandl et al., 2001; abgerufen unter GIS Steiermark, Stand Dezember 2017)	12
Abbildung 4.2 Vereinfachter geologischer Längenschnitt durch Baulos SBT 3.1 (3G, 2015a)	13
Abbildung 5.1 Vom Probenstück bis zum Dünnschliff	17
Abbildung 5.2 Getrocknete Fraktionen >4 mm - >63 µm	18
Abbildung 5.3 Pyknometer Versuchsabfolge	20
Abbildung 6.1 Legende der Lithologien zu den aufgenommenen Bohrkernstrecken	23
Abbildung 6.2 Schichtprofil der Kernbohrung KB 11/13	24
Abbildung 6.3 Schichtprofil der Kernbohrung KB 11/13	25
Abbildung 6.4 Schichtprofil der Kernbohrung KB 11/13	26
Abbildung 6.5 Schichtprofil der Kernbohrung KB 11/13	27
Abbildung 6.6 Schichtprofil der Kernbohrung KB 11/13	28
Abbildung 6.7 Schichtprofil der Kernbohrung KB 11/13	29
Abbildung 6.8 Makroskopische und mikroskopische Gefügedaten der Probe TS31_11-03	42
Abbildung 6.9 Makroskopische und mikroskopische Gefügedaten der Probe TS31_11-04	43
Abbildung 6.10 Makroskopische und mikroskopische Gefügedaten der Probe TS05_14-15	44
Abbildung 6.11 Makroskopische und mikroskopische Gefügedaten der Probe TS31_11-18	45
Abbildung 6.12 Makroskopische und mikroskopische Gefügedaten der Probe TS11_13-30	46
Abbildung 6.13 Makroskopische und mikroskopische Gefügedaten der Probe TS05_14-32	47

Abbildung 6.14 Makroskopische und mikroskopische Gefügedaten der Probe TS11_13-34	48
Abbildung 6.15 Makroskopische und mikroskopische Gefügedaten der Probe TS11_13-35	49
Abbildung 6.16 Logarithmische Darstellung der Siebkurven	53
Abbildung 6.17 Feinkornanteil der unterschiedlichen Kataklasit-Typen	54
Abbildung 6.18 k_f -Werte aus der Korngrößenverteilung berechnet.....	55
Abbildung 6.19 Porenanteile der unterschiedlichen Kataklasit-Klassen.....	56
Abbildung 6.20 Bohrlochlog der Bohrung KB 05_14, Teufe von 15 bis 45m	58
Abbildung 7.1 Feinkornanteil der Kataklasit Klassen 1 bis 6 (C- bis G-Kataklasit).....	61
Abbildung 7.2 Durchlässigkeitsbeiwerte aus den Körnungslinien berechnet.....	62
Abbildung 7.3 Porenanteile der Kataklasit-Klassen.....	63
Abbildung 7.4 Intakte Anteile der Kataklasit-Klassen	64

11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1 Lage und technische Daten der Bohrungen, Koordinaten nach BMN M34	11
Tabelle 5.1 Durchgeführte Analysen und daraus abgeleitete Parameter	15
Tabelle 6.1 Angewandte Methoden am Probenmaterial.....	21
Tabelle 6.2 Klassifizierung der Kataklasite nach makroskopischer Bohrkernansprache.....	22
Tabelle 6.3 Makroskopische Ansprache des Probenmaterials TS05_14-01; TS05_14-02; TS31_11-03	30
Tabelle 6.4 Makroskopische Ansprache des Probenmaterials TS31_11-04; TS31_11-05; TS31_11-06	31
Tabelle 6.5 Makroskopische Ansprache des Probenmaterials TS31_11-07; TS31_11-08.....	32
Tabelle 6.6 Makroskopische Ansprache des Probenmaterials TS05_14-09; TS05_14-10; TS31_11-11	33
Tabelle 6.7 Makroskopische Ansprache des Probenmaterials TS31_11-12; TS11_13-13; TS11_13-14; TS05_14-15.....	34
Tabelle 6.8 Makroskopische Ansprache des Probenmaterials TS05_14-16; TS12_13-17; TS31_11-18	35

Tabelle 6.9 Makroskopische Ansprache des Probenmaterials TS11_13-19; TS12_13-20; TS05_14-21	36
Tabelle 6.10 Makroskopische Ansprache des Probenmaterials TS05_14-22; TS11_13-24; TS11_13-25; TS11_13-26	37
Tabelle 6.11 Makroskopische Ansprache des Probenmaterials TS05_14-27; TS05_14-28; TS11_13-29; TS11_13-30	38
Tabelle 6.12 Makroskopische Ansprache des Probenmaterials TS31_11-31; TS05_14-32; TS05_14-33	39
Tabelle 6.13 Makroskopische Ansprache des Probenmaterials TS11_13-34; TS11_13-35	40
Tabelle 6.14 Prozentangabe zu intaktem Anteil	50
Tabelle 6.15 Kornformen der Klasten im Probenmaterial	50
Tabelle 6.16 Angabe der im Probenmaterial enthaltenen Minerale	51
Tabelle 6.17 Abkürzungen der Probenbezeichnungen in der Korngrößenanalyse	52
Tabelle 6.18 Bestimmende Korngrößen für die Eigenschaften des Korngemisches	52
Tabelle 6.19 Geophysikalische Bohrlochmessungen der Kernbohrungen	57
Tabelle 7.1 Klassifizierung der Kataklastite nach makroskopischer Bohrkernbeschreibung (links) und finale Klassifizierung anhand der Laboranalysen (rechts)	59
Tabelle 7.2 Zuordnung des Probenmaterials nach ursprünglicher und neuer Klassifizierung	60
Tabelle 7.3 Beschreibung des Potenzials für „fließendes Gebirgsverhalten“	66
Tabelle 7.4 Finale Kataklastit-Klassifizierung	68

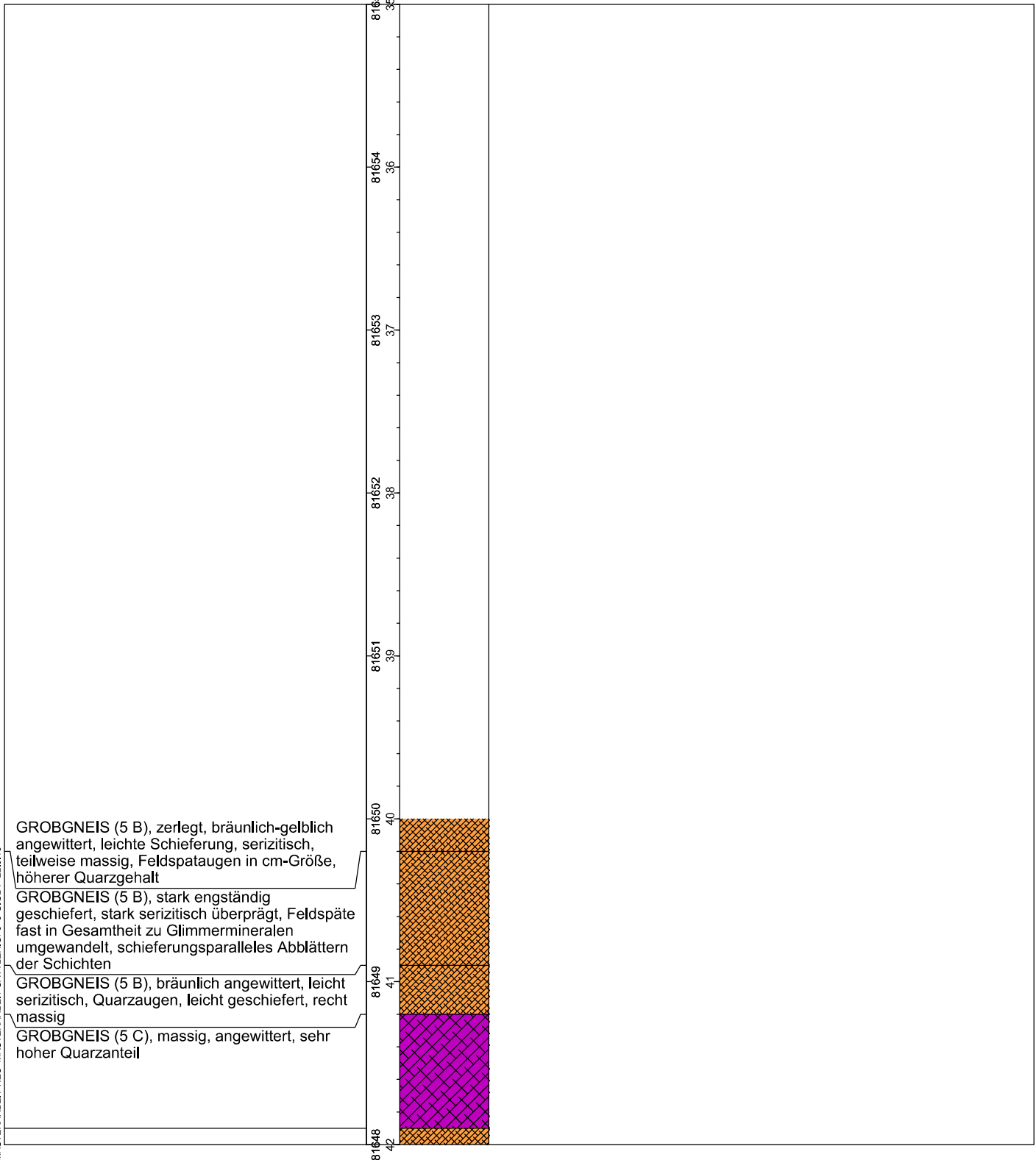
Anhang I

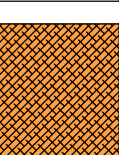
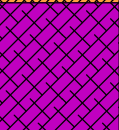

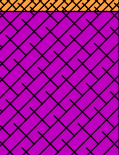
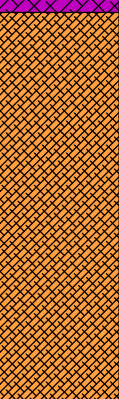
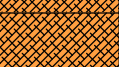
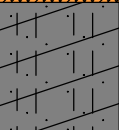
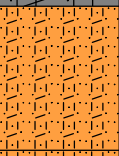

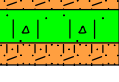
Schichtprofil Bohrkernstrecke KB 31/11

Schichtprofil Bohrkernstrecke KB 12/13

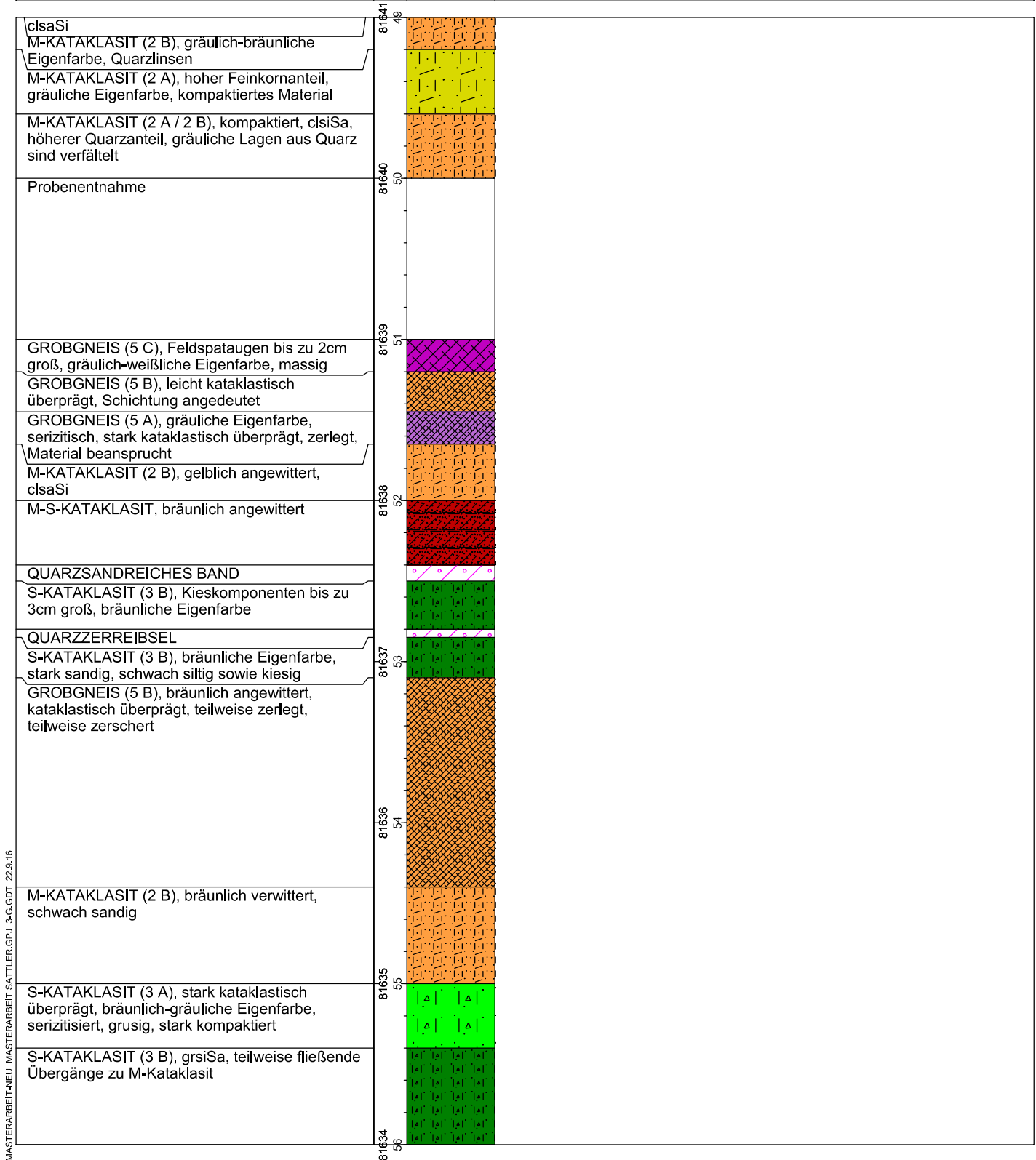
Schichtprofil Bohrkernstrecke KB 05/14

1 Gesteinsart	2 Seehöhe (m) Teufe (m)	3 Schichtprofil
------------------	-------------------------------	--------------------

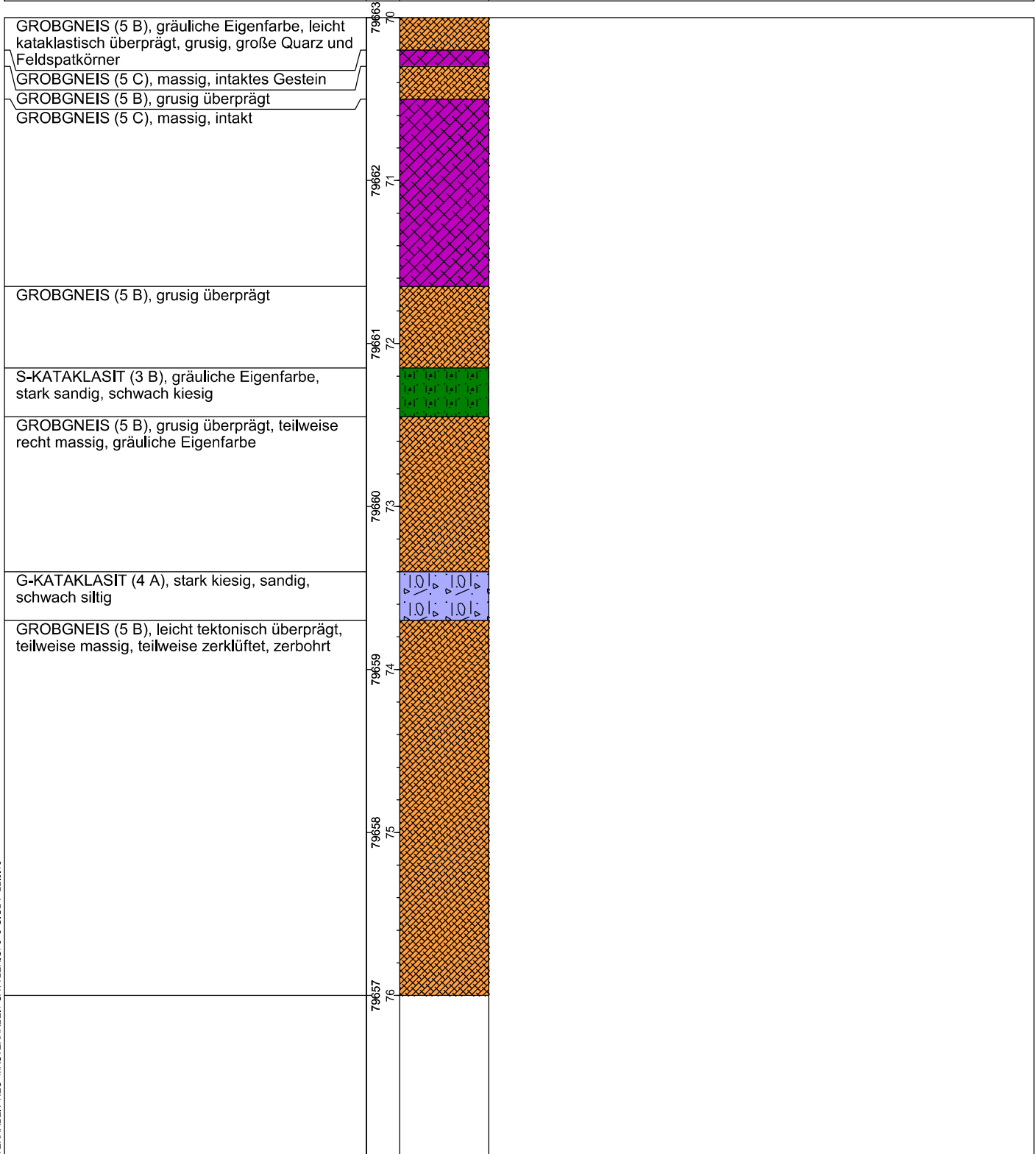


1 Gesteinsart	2 Seehöhe (m) Tiefe (m)	3 Schichtprofil
GROBGNEIS (5 B), leicht geschiefert, von Scherband durchzogen, angewittert, serizitisch, Quarzaugen	81648 42	
GROBGNEIS (5 C), angewittert, massig	81647 43	
GROBGNEIS (5 B), phyllonitisch, serizitisch, angewittert, stark geschiefert, schieferungsparalleles Abblättern der Schichten		
GROBGNEIS (5 C), recht massig, Feldspatäugen bis zu 2cm groß, Trennflächen rotbräunlich angewittert	81646 44	
GROBGNEIS (5 B), gräulich-grünliche Eigenfarbe, massig, engständig geschiefert, Krenulation, von Quarzadern in cm-Mächtigkeit durchzogen, serizitisiert	81645 45	
GROBGNEIS (5 B), mittelstark geschiefert, gräulich-weißliche Eigenfarbe, leicht zerlegt, Krenulation vorhanden, zerbohrt, serizitisch C-KATAKLASIT (1), hoher Feinkornanteil, gräulich-hellbräunliche Eigenfarbe, Quarzkörner in tonig siltiger Matrix (Verhältnis etwa 30:70)	81644 46 81643 47	 
M-KATAKLASIT (2 B), hellgrau-bräunliche Eigenfarbe, chloritisch, serizitisiert, grsiSa		
M-KATAKLASIT (2 B), gräulich-bräunliche Eigenfarbe, teilweise stark zerlegte Quarzlinsen	81642 48	
S-KATAKLASIT (3 A), etwas kompakteres Material, gräuliche Eigenfarbe, phyllosilikatreich,	81641 49	

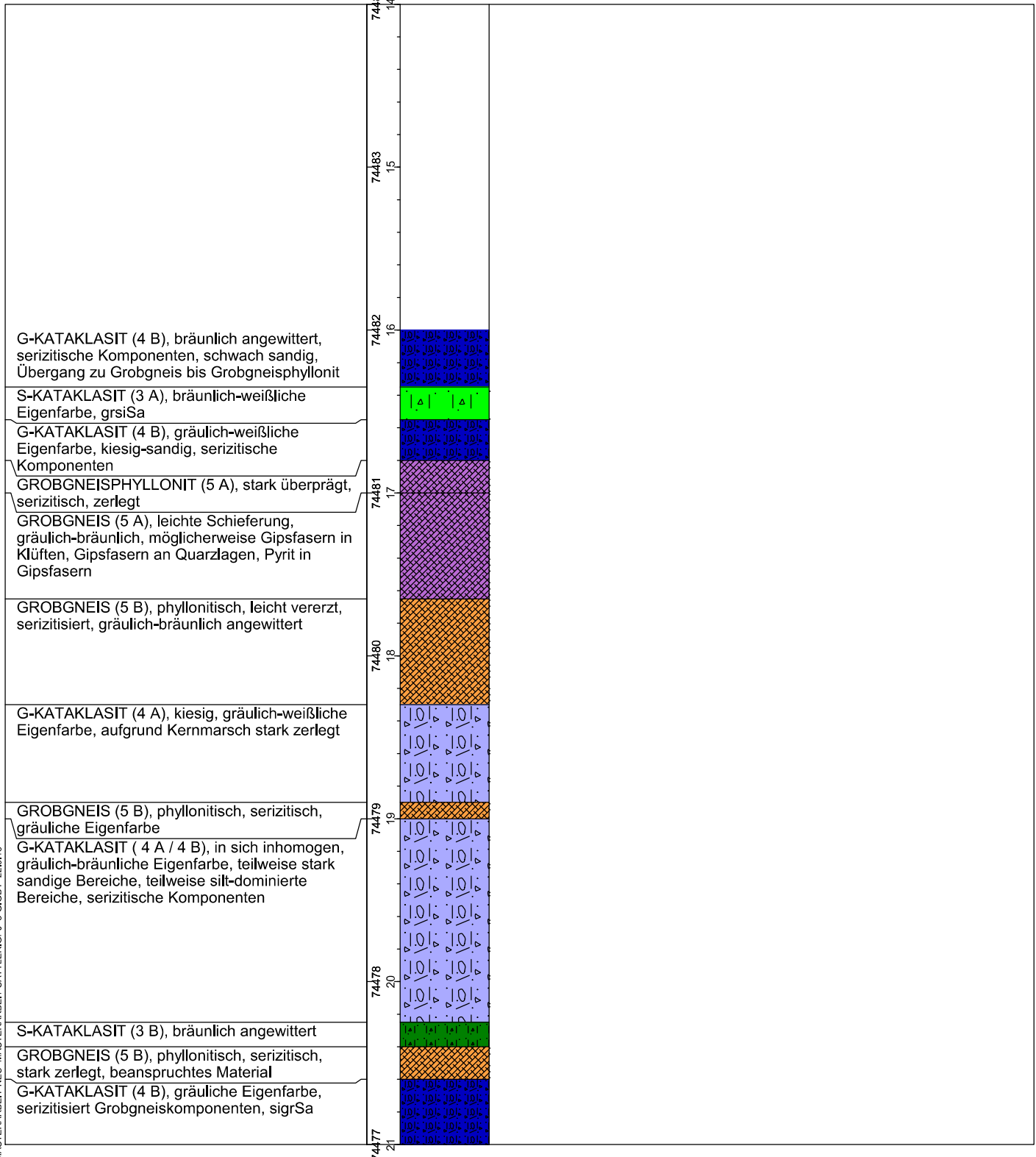
1 Gesteinsart	2 Seehöhe (m) Teufe (m)	3 Schichtprofil
------------------	-------------------------------	--------------------




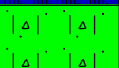
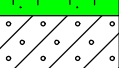




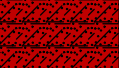









1 Gesteinsart	2 Seehöhe (m) Tiefe (m)	3 Schichtprofil
------------------	-------------------------------	--------------------



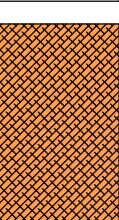
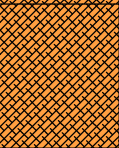

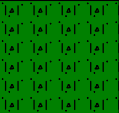




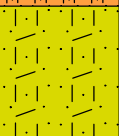

1 Gesteinsart	2 Seehöhe (m) Teufe (m)	3 Schichtprofil
------------------	-------------------------------	--------------------



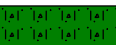
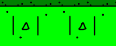

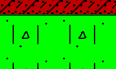




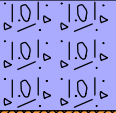
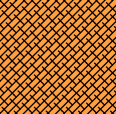
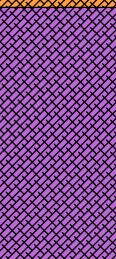

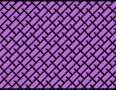

1 Gesteinsart	2 Seehöhe (m) Teufe (m)	3 Schichtprofil
------------------	-------------------------------	--------------------

G-KATAKLASIT (4 B), gräuliche Eigenfarbe, serizitiert Grobneiskomponenten, sigrSa	74477 21	
S-KATAKLASIT (3 A), weißliche Eigenfarbe, clgrsiSa		
DERBQUARZ, milchig, weißlich-bräunliche Eigenfarbe, leicht angewittert, Pyrit Vererzungen		
G-KATAKLASIT (4 A), gräuliche-bräunlich angewittert, sigrSa	74476 22	
M-S-KATAKLASIT, gräulich-weißliche Eigenfarbe, clgrsiSa		
G-KATAKLASIT (4 B), weißlich-gräuliche Eigenfarbe, serizitische Komponenten		
M-S-KATAKLASIT, gräulich-weißliche Eigenfarbe, schluffig, hoher Feinkornanteil, grclsaSi	74475 23	
S-G-KATAKLASIT, weißlich-gräuliche Eigenfarbe, serizitische Komponenten, clgrsiSa		
S-KATAKLASIT (3 A), gräulich-weißliche Eigenfarbe, starker Feinkornanteil	74474 24	
GROBGNEIS (5 C), massig, kompakt		
G-KATAKLASIT (4 A), sandig, kiesig, clsigrSa		
GROBGNEIS (5 A), gräulich, stark zerlegt		
S-G-KATAKLASIT, stark sandig, gräuliche Eigenfarbe, schwach kiesig	74473 25	
S-G-KATAKLASIT, schwach sandig, höherer Feinkornanteil		
M-KATAKLASIT (2 A), gräuliche Eigenfarbe, teilweise bräunlich angewittert, schluffig, grclsaSi	74472 26	
GROBGNEIS (5 B), leicht kataklastisch überprägt, Feldspatagen leicht zerschert		
GROBGNEIS (5 A), übergehend zu G-Kataklasit, Material stark beansprucht, Struktur des Grobgnaises aber noch primär vorhanden, sisaGr	74471 27	
74470 28		

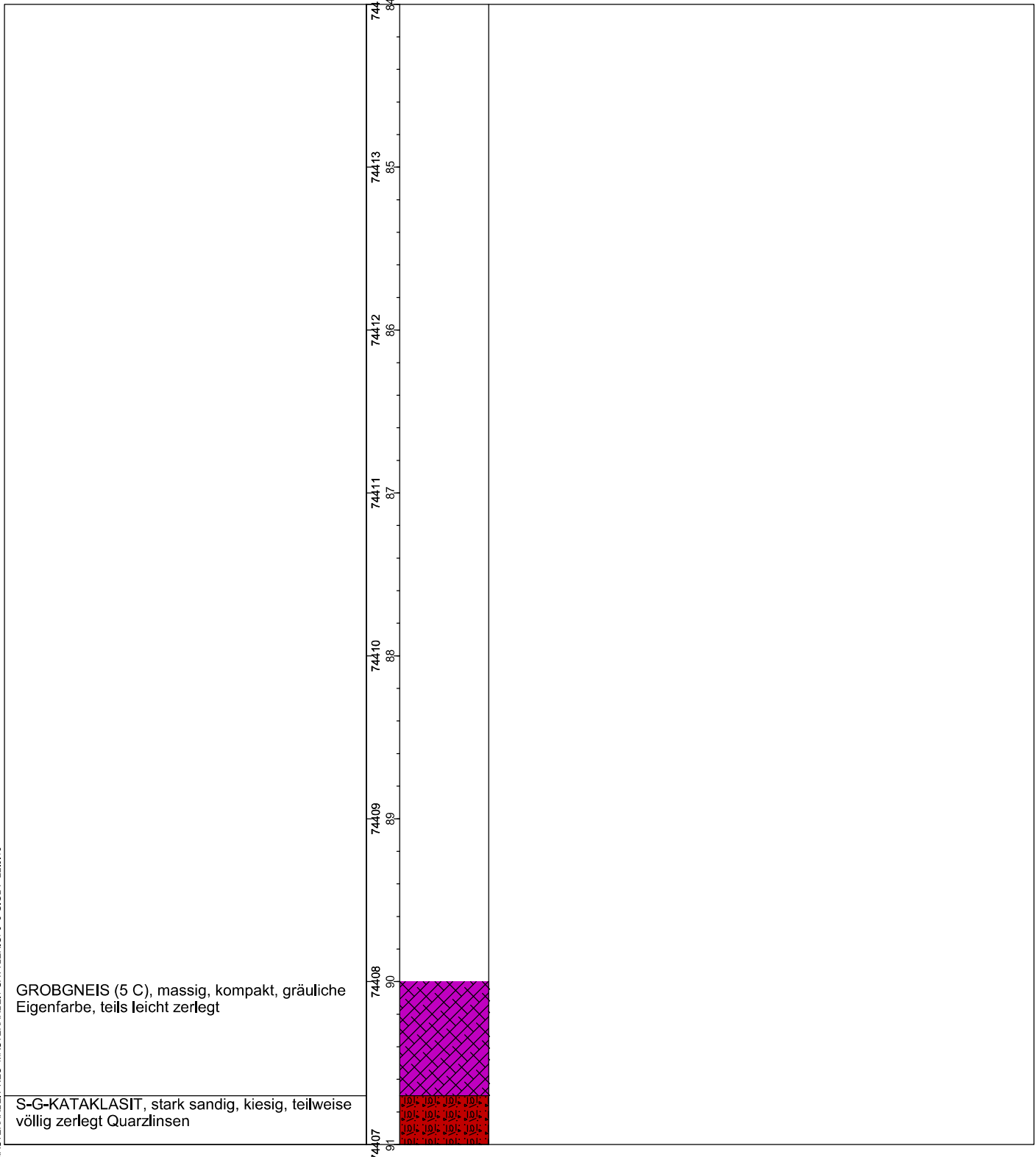
1 Gesteinsart	2 Seehöhe (m) Teufe (m)	3 Schichtprofil
------------------	-------------------------------	--------------------

GROBGNEIS (5 B), gräulich-bräunliche Eigenfarbe, teils massig, teils leicht geschiefert und leicht zerlegt	74470 28	
GROBGNEIS (5 B), stärker beansprucht als Material davor, zerklüftet, zerlegt, Quarzlinsen bis zu 5 cm groß, kataklastisch überprägt	74469 29	
G-KATAKLASIT (4 A), kiesig, sandig, schwach schluffig		
S-KATAKLASIT (3 B), gräulich-weißliche Eigenfarbe, sandig, schwach kiesig, teils gänzlich zerlegte Qtz-Knollen	74468 30	
GROBGNEIS (5 C), überprägt, grusig		
M-KATAKLASIT (2 A), schluffig, sandig, schwach kiesig		
GROBGNEIS (5 B), stark zerlegt, serizitisiert, phyllonitisch	74467 31	
M-KATAKLASIT (2 B), schluffig, sandig, dlsaSi		
M-KATAKLASIT (2 A), sandig-schwach kiesig, grclsiSa	74466 32	
S-KATAKLASIT (3 B), fließende Übergänge von S- zu M-Kataklasit, nicht bindig, sandig, völlig aufgearbeitete Quarzlagen	74465 33 74464 34 74463 35	

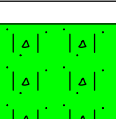
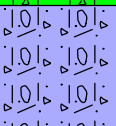
1 Gesteinsart	2 Seehöhe (m) Teufe (m)	3 Schichtprofil
------------------	-------------------------------	--------------------

	74463 36	
S-KATAKLASIT (3 A), leicht bräunlich angewittert		
M-S-KATAKLASIT, bräunlich angewittert, clgrsaSi		
S-KATAKLASIT (3 A), bräunlich angewittert, schluffig, sandig	74462 36	
M-KATAKLASIT (2 B), gräulich, sandig	74462 36	
GROBGNEIS (5 A), phyllonitisch, stark kataklastisch überprägt, sandig-kiesig		
GROBGNEIS (5 B), grusig überprägt, hoher Zerlegungsgrad, gräuliche Eigenfarbe, stark beanspruchtes Material		
G-KATAKLASIT (4 A), kiesig-sandig, gräuliche Eigenfarbe	74461 37	
GROBGNEIS (5 B), leicht zerlegt, schwach geschiefert, teilweise massig		
GROBGNEIS (5 A), gräuliche Eigenfarbe, stark zerlegt, teilweise grusig zerfallend, kataklastisch überprägt	74460 38	
	74459 39	
S-G-KATAKLASIT, stark sandig, gräuliche Eigenfarbe, serizitierte Komponenten, vereinzelt Quarzknoten	74458 40	
GROBGNEIS (5 A), zerlegt, engständig geschiefert, Krenulation, teils massig		
G-KATAKLASIT (4 B), gräuliche Eigenfarbe, kiesig-sandig, Grobgneisschuppen, clsigSa	74457 41	
	74456 42	

1	2	3
Gesteinsart	Seehöhe (m) Teufe (m)	Schichtprofil



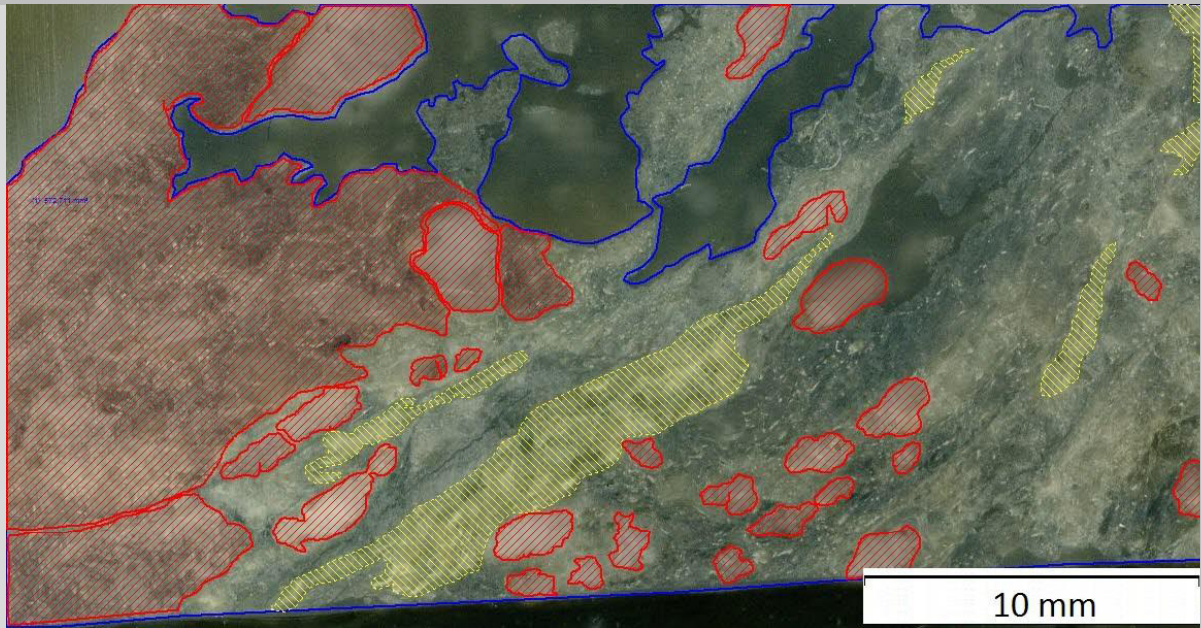
1	2	3
Gesteinsart	Seehöhe (m) Teufe (m)	Schichtprofil

S-Kataklasit (3 A), stark sandig, schwach kiesig, clsiSa	744,07 91	
G-KATAKLASIT (4 A), kiesig, sisaGr	744,06 92	

Anhang II

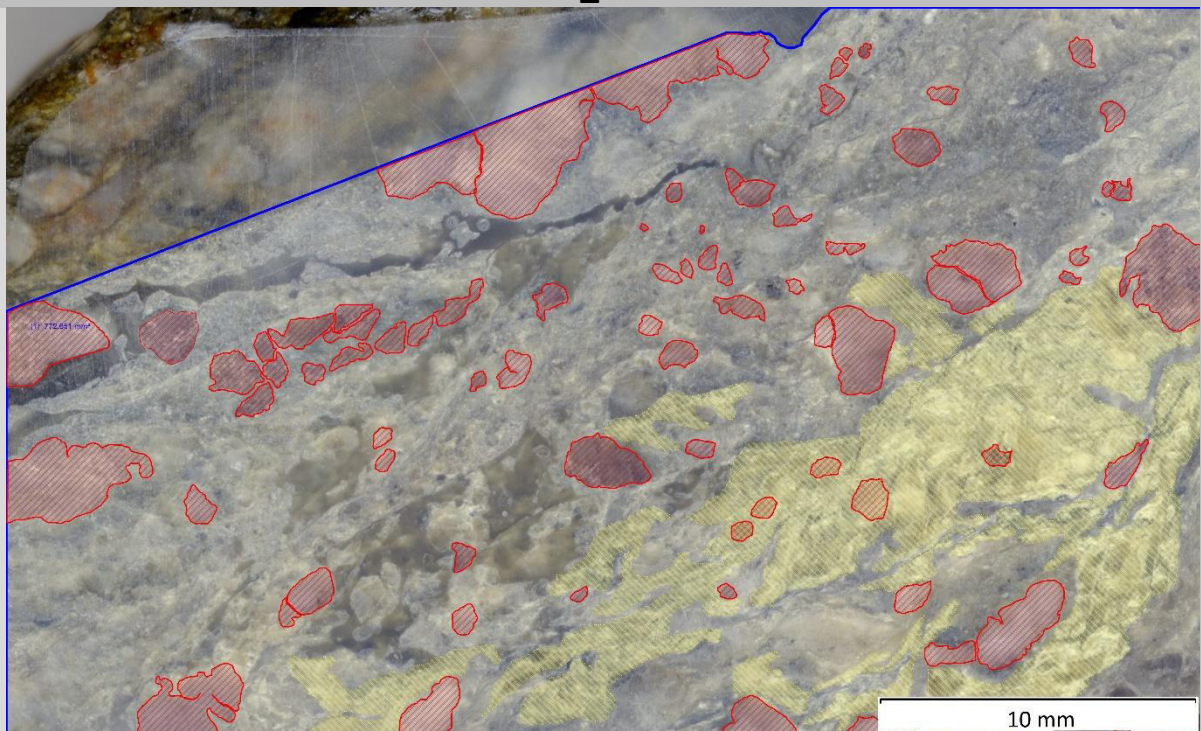
Anschliffbilder der digitalen Bildanalyse

TS05_14-01



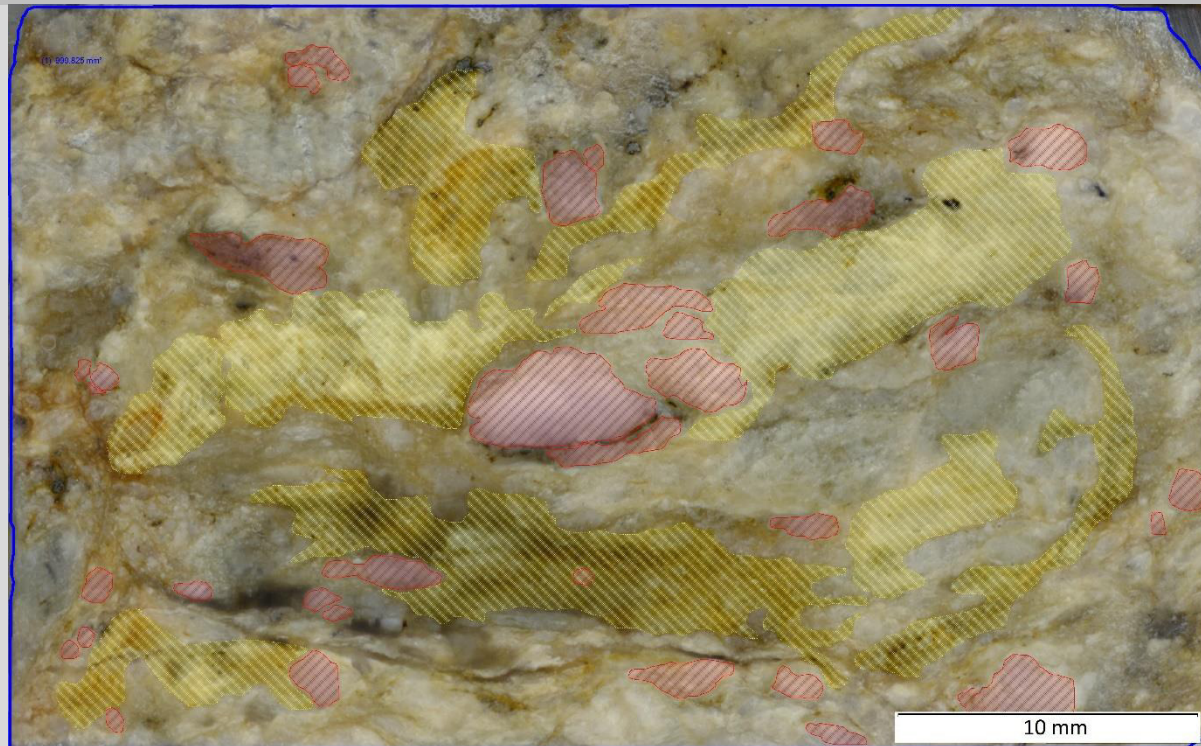
Ein ungleichkörniges Gefüge das von feinkörnigen Bahnen durchzogen wird liegt vor. Die intakten Klasten bilden einerseits größere und zusammenhängende Bereiche, andererseits sind einige Quarzkomponenten nur mehr in Bruchstücken vorhanden.

TS05_14-02



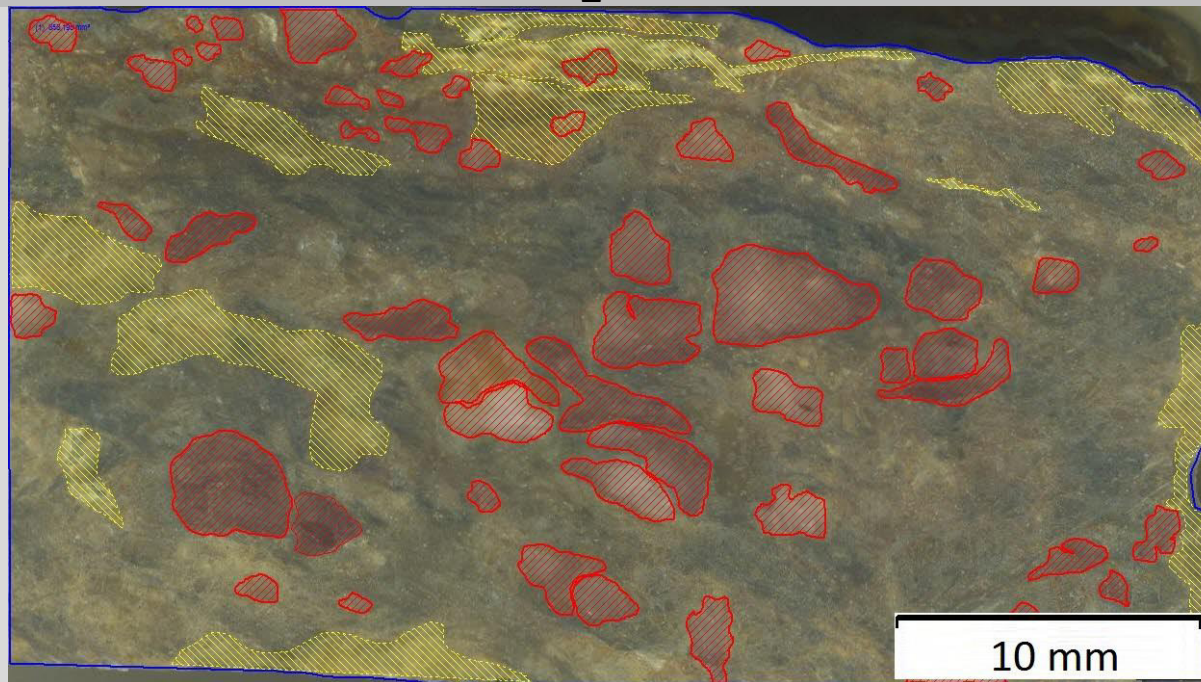
Feinkorndominierte Bahnen umfließen die einzelnen intakten Klasten. Die Klasten sind in kleinere Aggregate zerbrochen und im Anschliff unregelmäßig verteilt. Die intakten Bereiche unterliegen denen der Matrix und des feinkörnigen Materials.

TS31_11-05



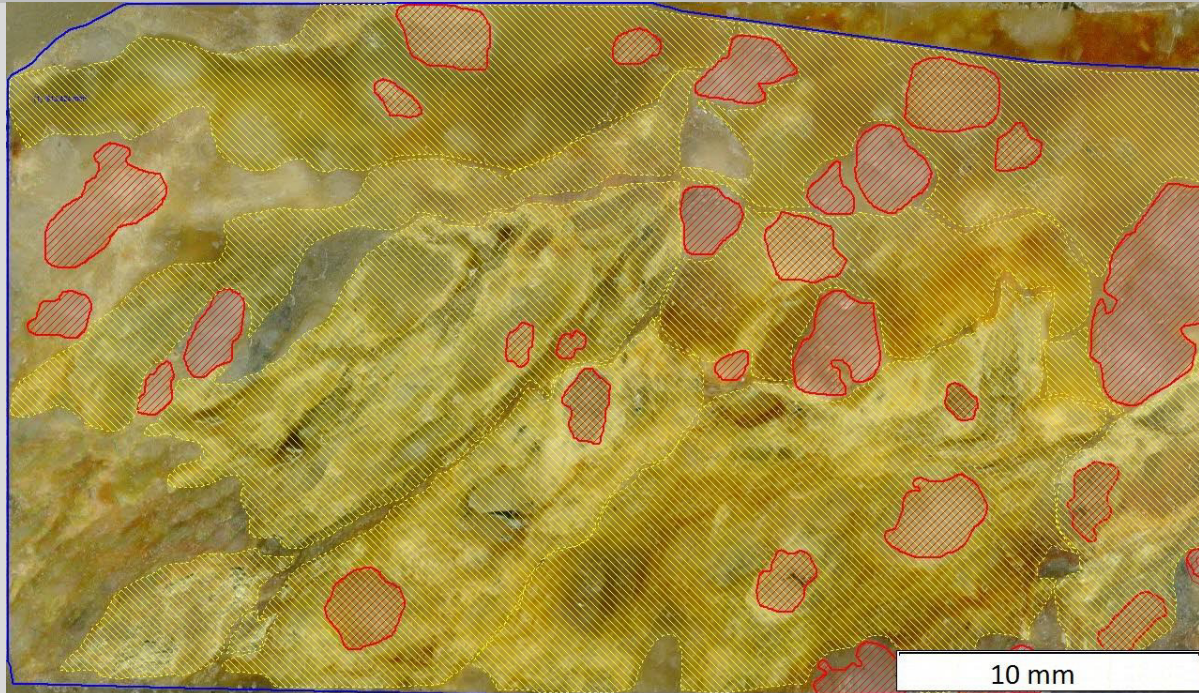
Das Gefüge ist ungleichkörnig, im Anschliff dominieren die matrixgestützte Bereiche. Der Anschliff ist von Rissbildung geprägt. Die vereinzelten intakten Komponenten sind in einer sehr feinkornreichen Matrix eingebettet.

TS31_11-07



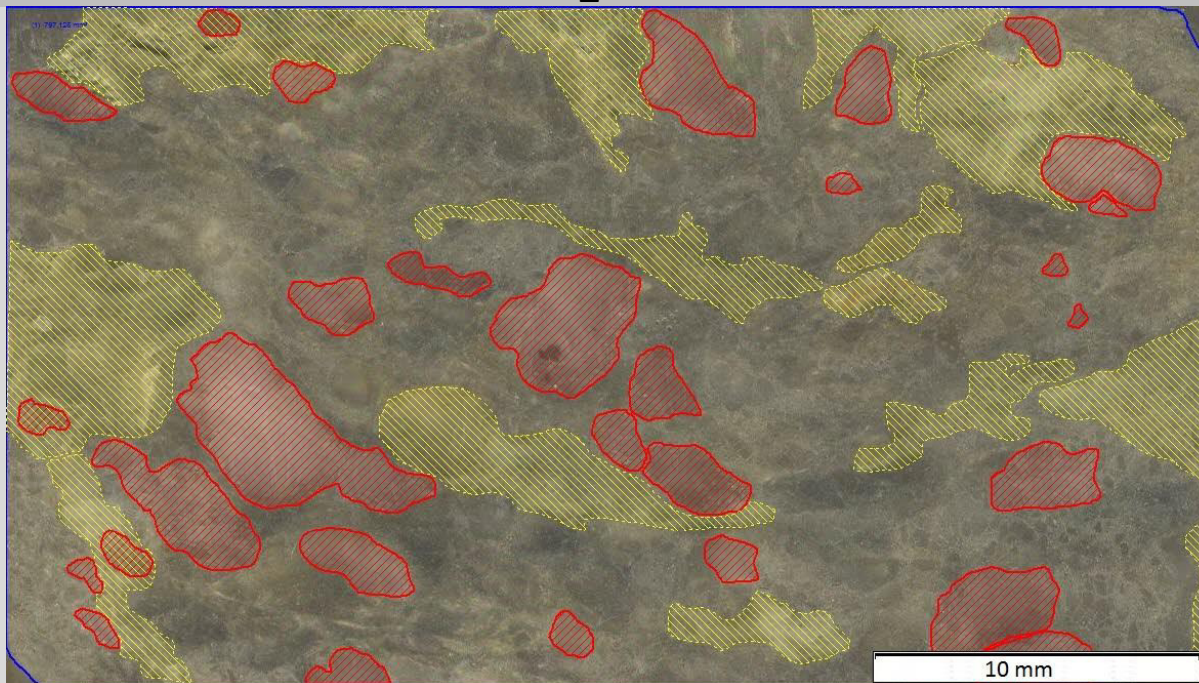
Im Anschliff ist ein ungleichkörniges Gefüge erkennbar. Die Quarzklasten und intakten Bereiche sind meist nur mehr bruchstückhaft vorhanden. Die feinkornreichen Abschnitte liegen vereinzelt in Bahnen vor.

TS31_11-08



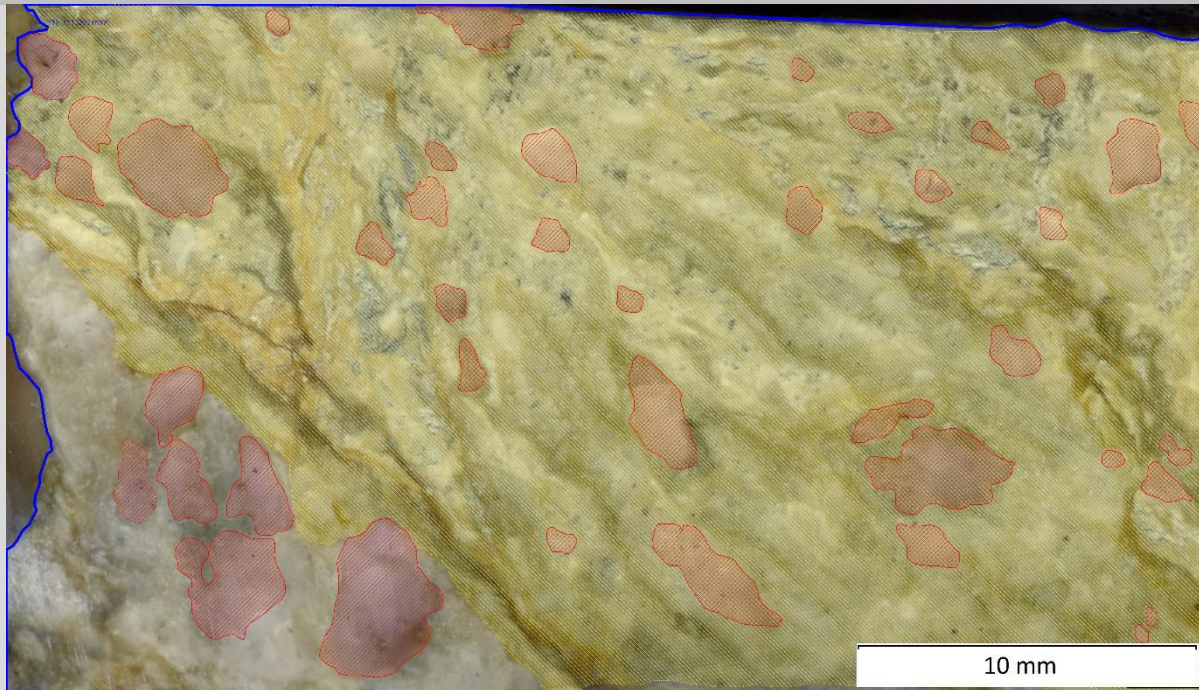
Das ungleichkörnige Gefüge ist matrixgestützt. Einzelne Klaster werden von einer sehr feinkornreichen Matrix umflossen. Die intakten Bereiche treten ohne Vorzugsorientierung auf.

TS05_14-09



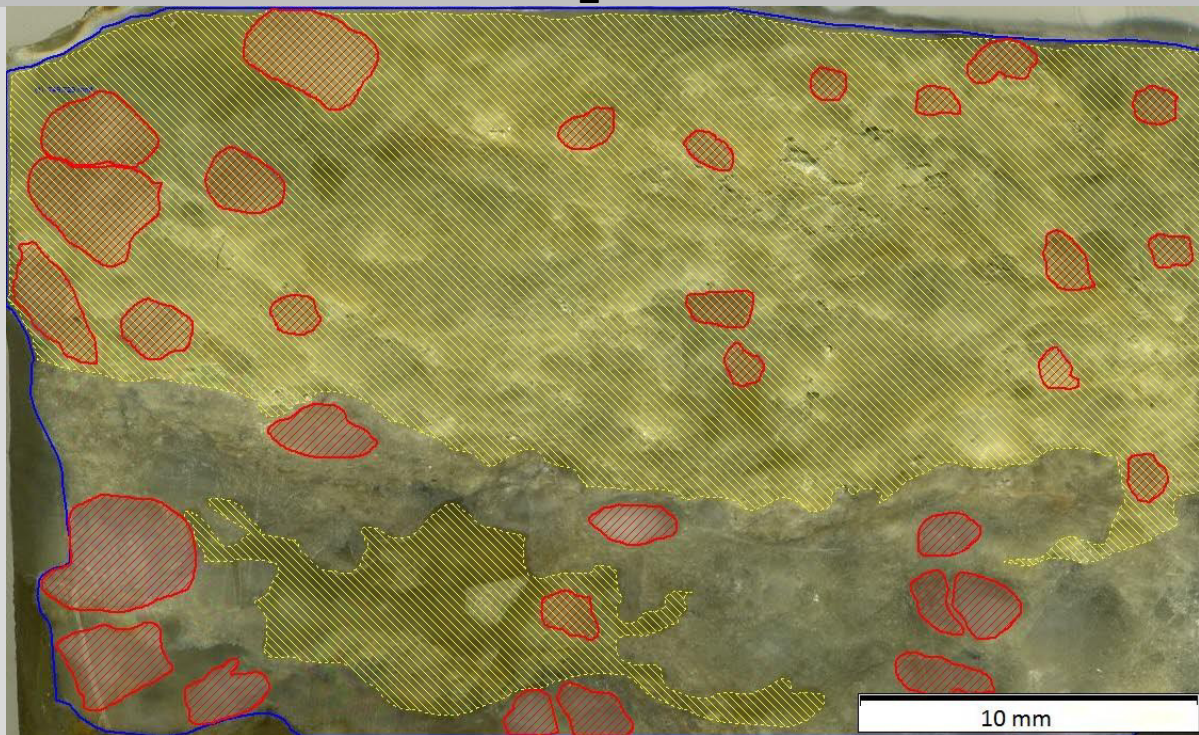
Im Anschliff ist ein ungleichkörniges Gefüge erkennbar, eine Rissbildung liegt vor. Die intakten Klaster treten unregelmäßig in einer feinkornreicheren Matrix auf.

TS31_11-11



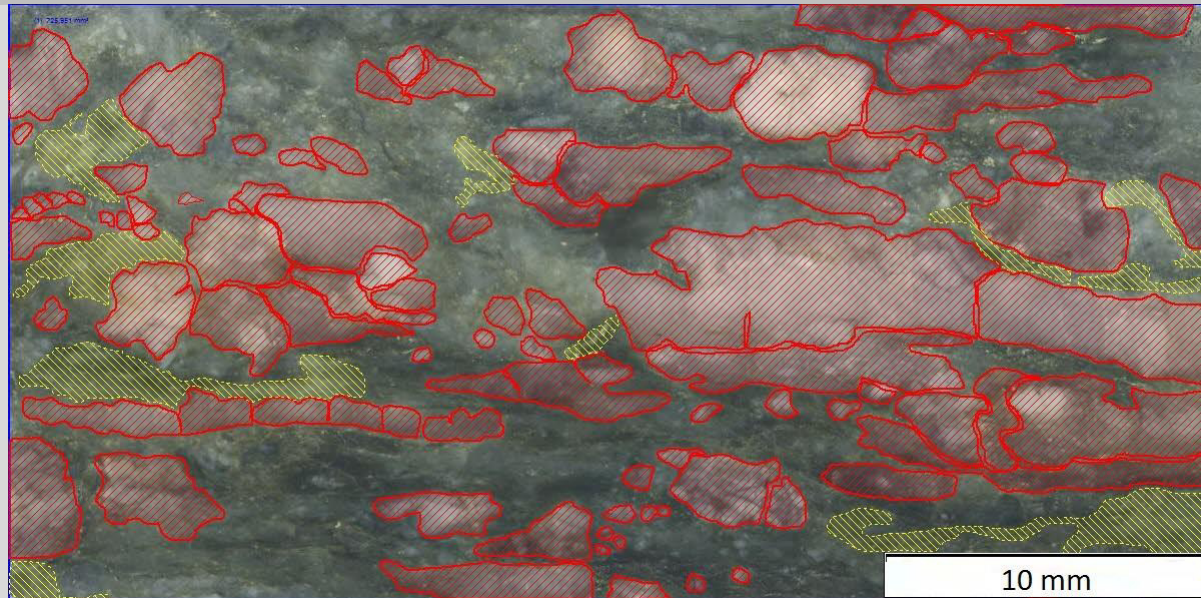
Im Anschliff ist eine Paralleltexur leicht angedeutet, er ist von Rissbildung charakterisiert. Die stark beanspruchten Quarzklasten befinden sich in einer extrem feinkörnigen Matrix, welche die Klasten umfließt.

TS31_11-12



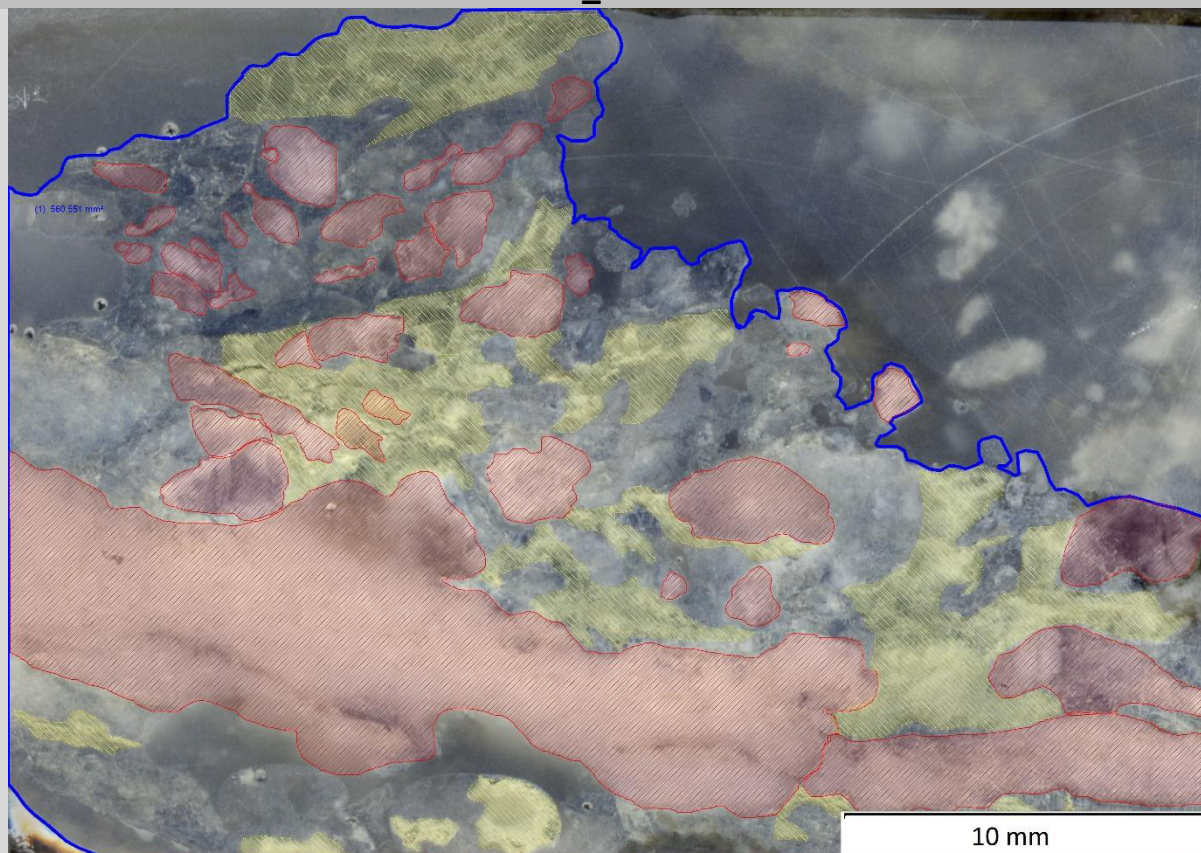
Das Gefüge ist ungleichkörnig, der Anschliff matrixgestützt. Die Quarzklasten treten meist in einer gerundeten Form auf. Der Anschliff ist durch Rissbildung gekennzeichnet.

TS11_13-13



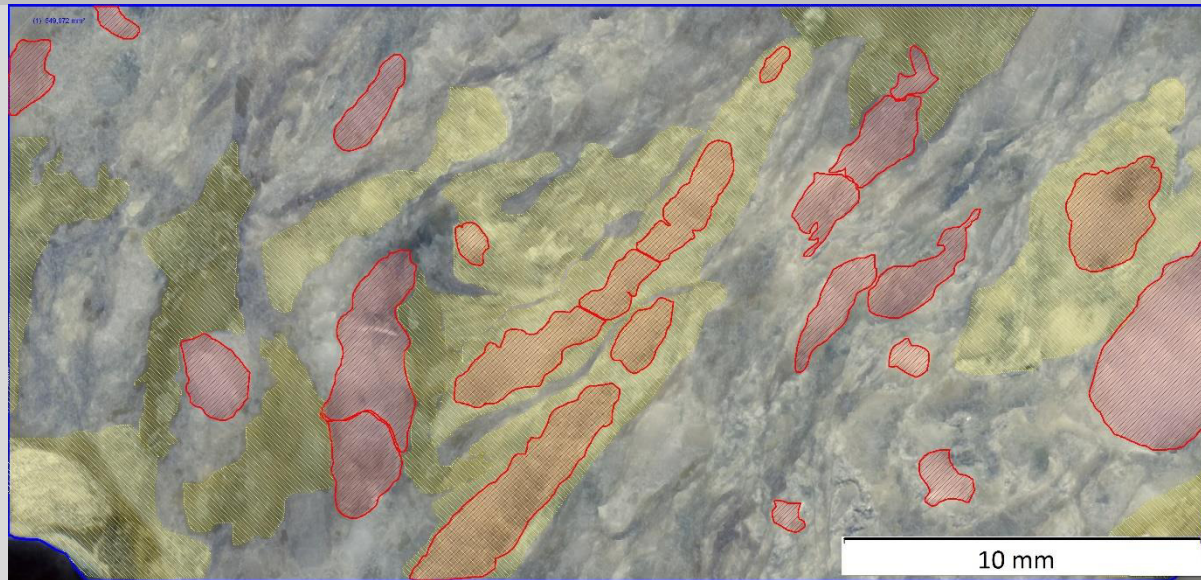
Größere intakte Bereiche sind im Anschlag beobachtbar. Die Quarze sind meist eingeregelt und elongiert. Zwischen den Quarzbahnen befinden sich ein paar feinkornreichere Horizonte, meist in Verbindung mit Rissbildung bzw. entlang von Rissen.

TS11_13-14



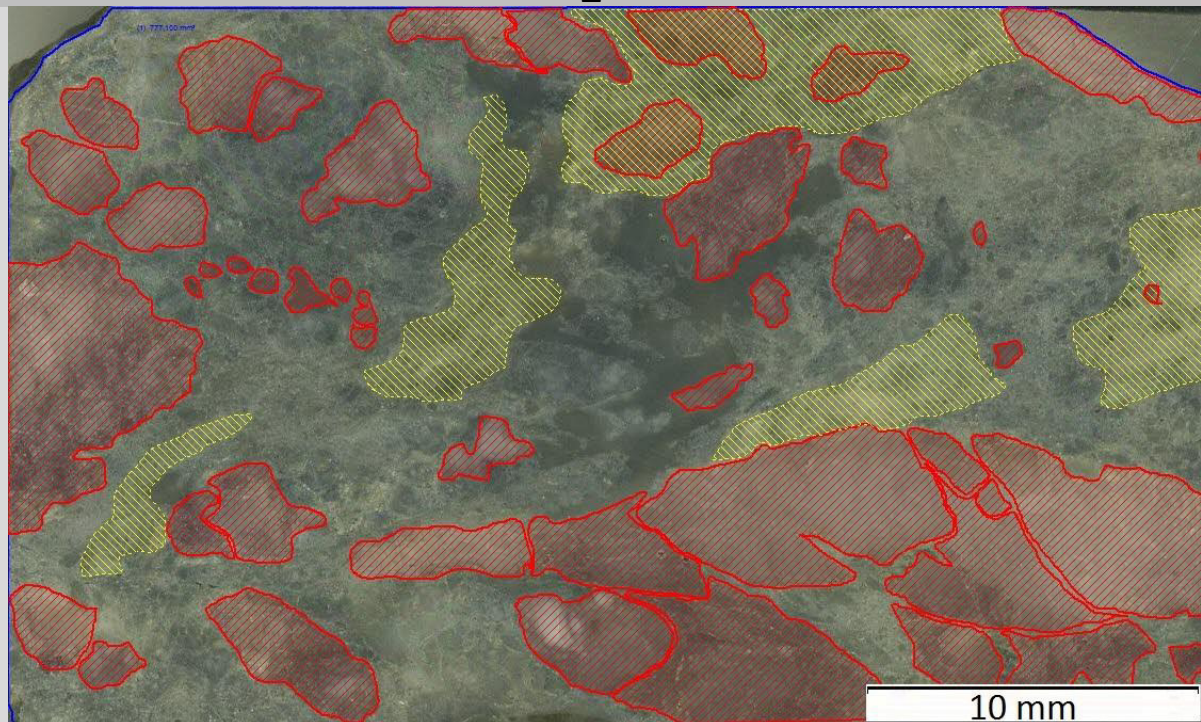
Der Anschlag ist sehr inhomogen, das Gefüge ungleichkörnig. Die Quarzklasten sind teilweise in Bahnen eingeregelt, die feinkorndominierten Bereiche unregelmäßig im Anschlag verteilt.

TS05_14-16



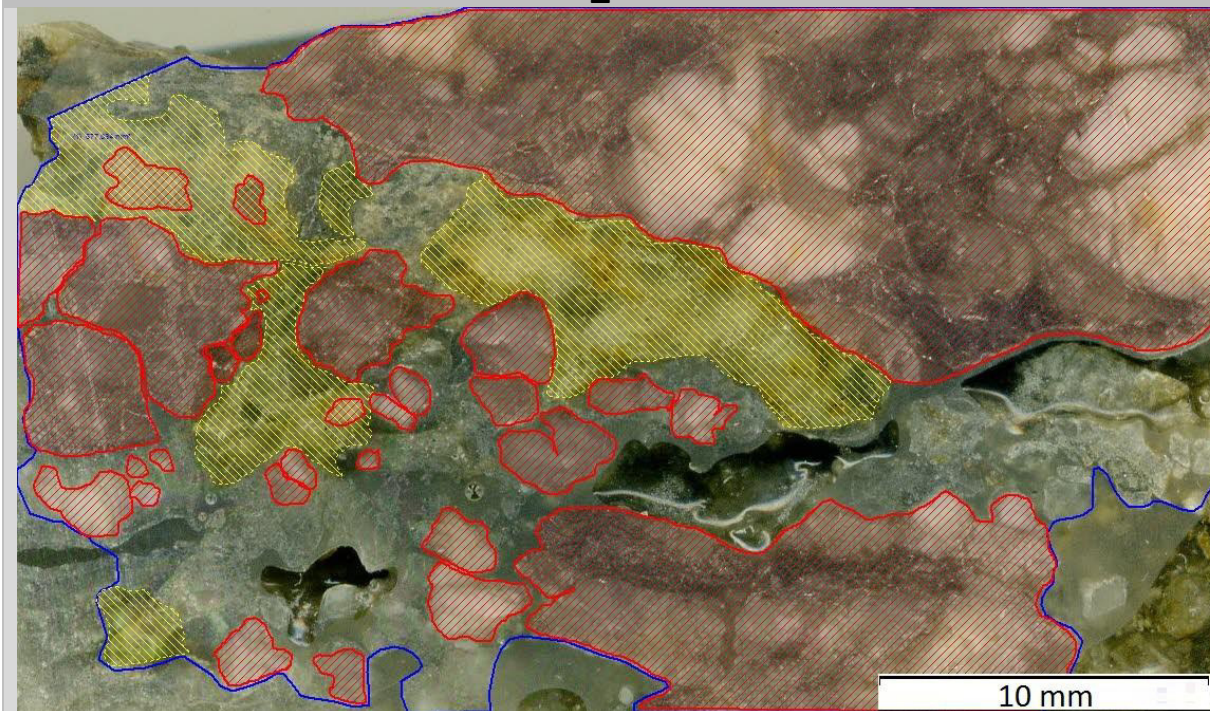
Der Anschlag ist durch eine Paralleltexur gekennzeichnet. Die Quarzkörner sind elongiert und bilden einzelne Bahnen. Die feinkornreiche Matrix ist zum Teil in Wechsellagerung mit den Quarzhorizonten vorzufinden.

TS11_13-19



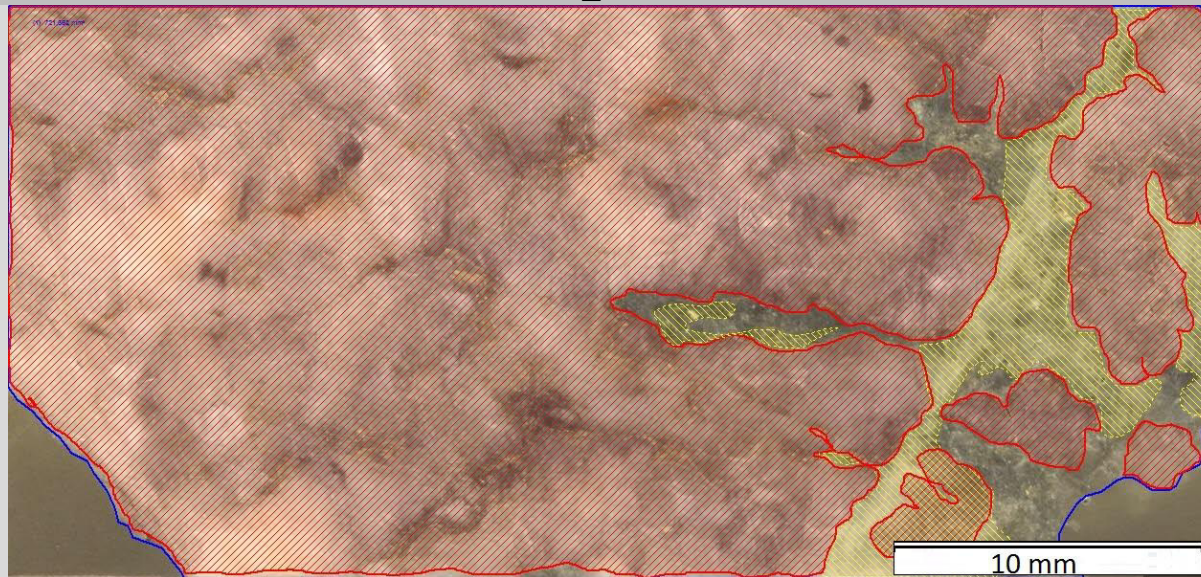
Das ungleichkörnige, matrixgestützte Gefüge wird durch zerbrochene Quarzklasten, und teilweise durch größere intakte Bereiche charakterisiert. Teilweise ist im Anschlag eine Rissbildung zu erkennen.

TS11_13-26



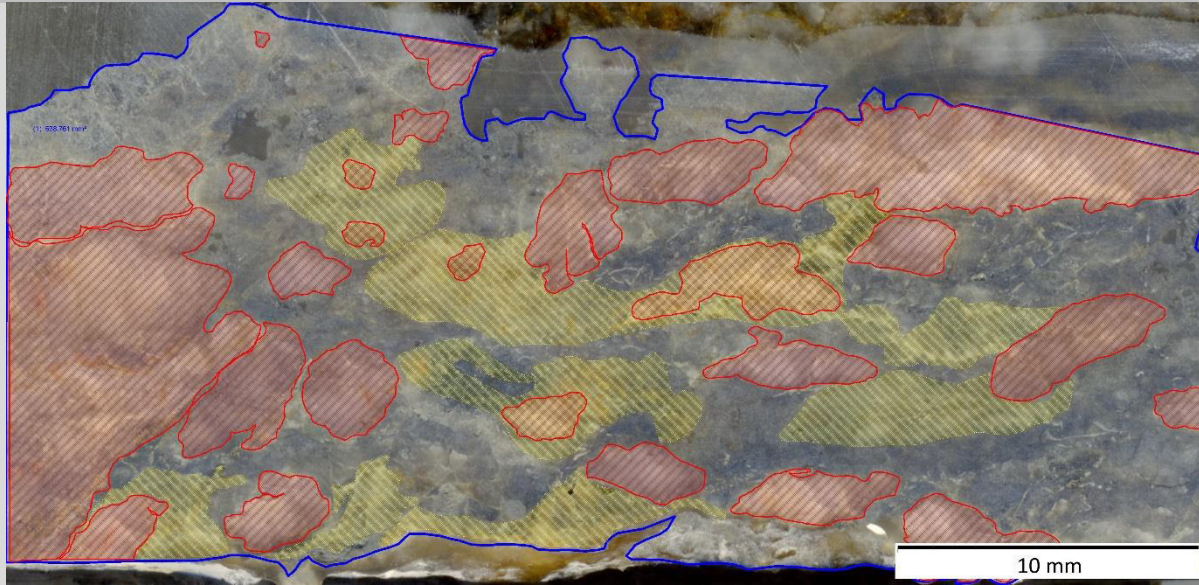
Das Gefüge ist größtenteils intakt, die feinkorndominierten Bereiche sind untergeordnet vorhanden. Im Anschlag sind größere Risse zu erkennen, davon abgesehen überwiegen jedoch die intakten Bereiche.

TS05_14-27



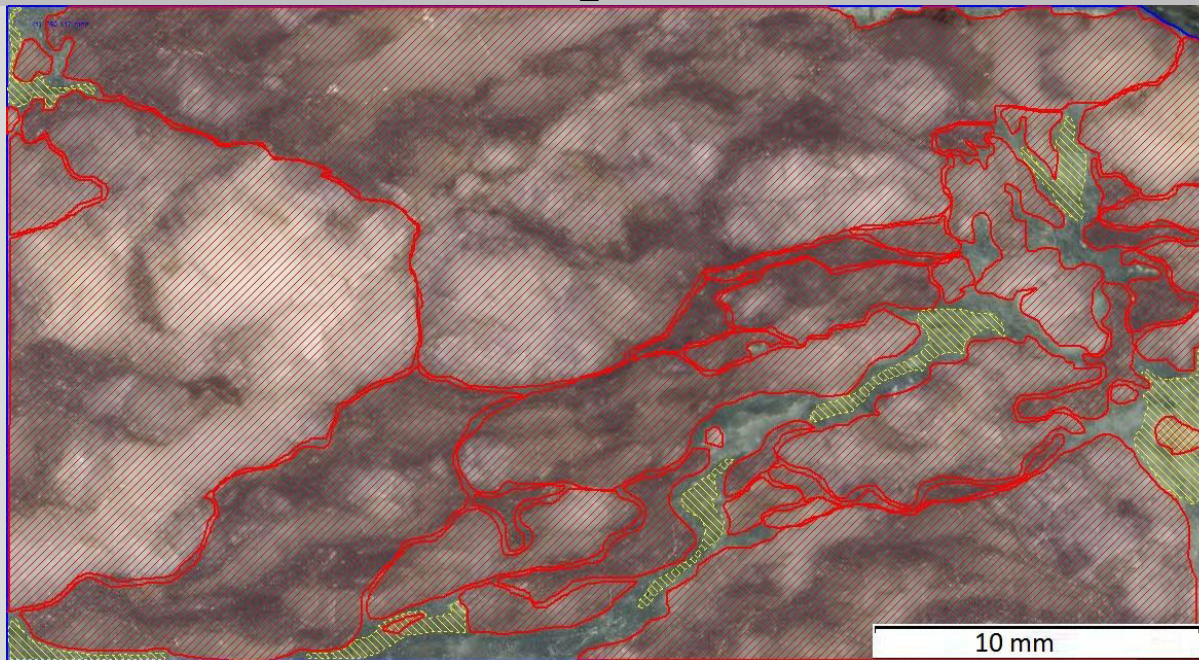
Feinkorndominierte Bereiche durchziehen das größtenteils intakte Gefüge. Die feinkornreichen Bahnen sind bevorzugt entlang von Rissen vorzufinden. Die intakten Bereiche überwiegen im Anschlag jedoch.

TS05_14-28



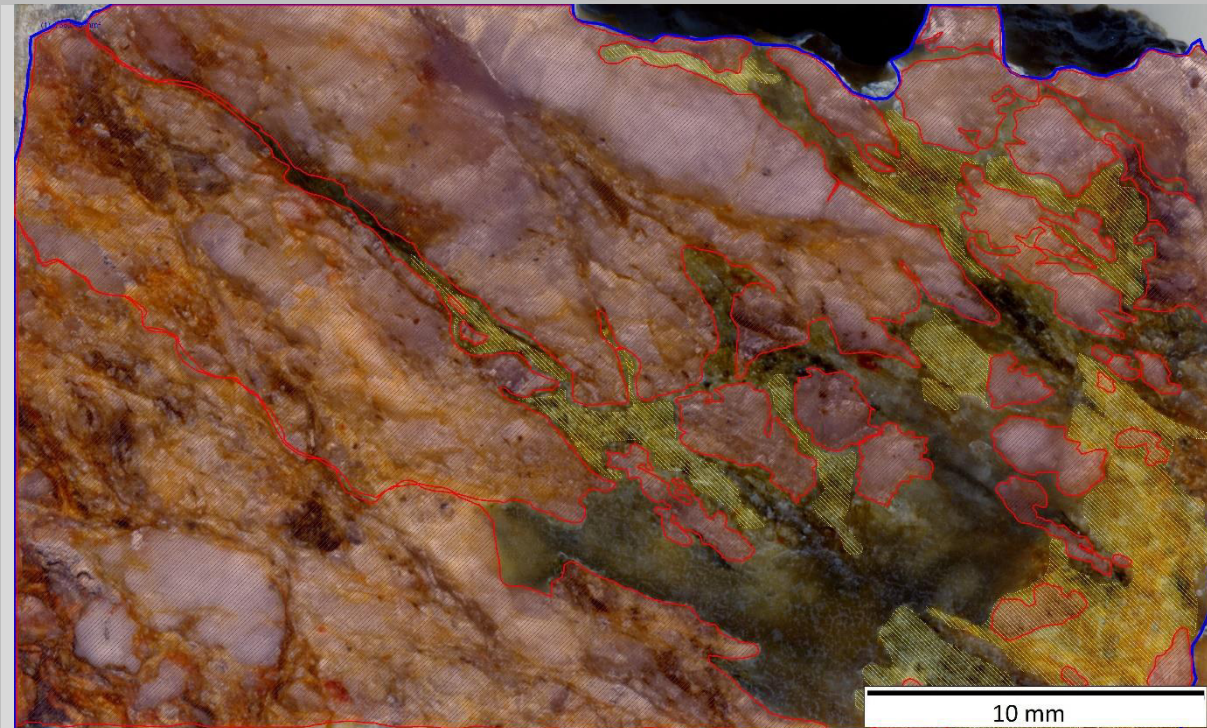
Ein ungleichkörniges und matrixbetontes Gefüge liegt vor. Der Anschlag weist eine hohe Anzahl an Rissen auf.

TS11_13-29



Der Anschlag weist wenige feinkorndominierte Bereiche auf. Hauptsächlich wird er von intakten Bereichen, die durch Rissbildung charakterisiert sind, gekennzeichnet. Die feinkornreicheren Bahnen sind bevorzugt entlang von Rissen vorzufinden.

TS31_11-31



Das inhomogene Gefüge weist eine Paralleltextur auf. Die zahlreichen Risse weisen auf eine starke Beanspruchung hin. Teilweise wechseln sich Lagen aus Quarzbahnen mit feinkornreicheren Horizonten ab. Entlang der Risse sind Alterationserscheinungen feststellbar.

Anhang III

Bohrloch Log KB 31/11

Bohrloch Log KB 12/13

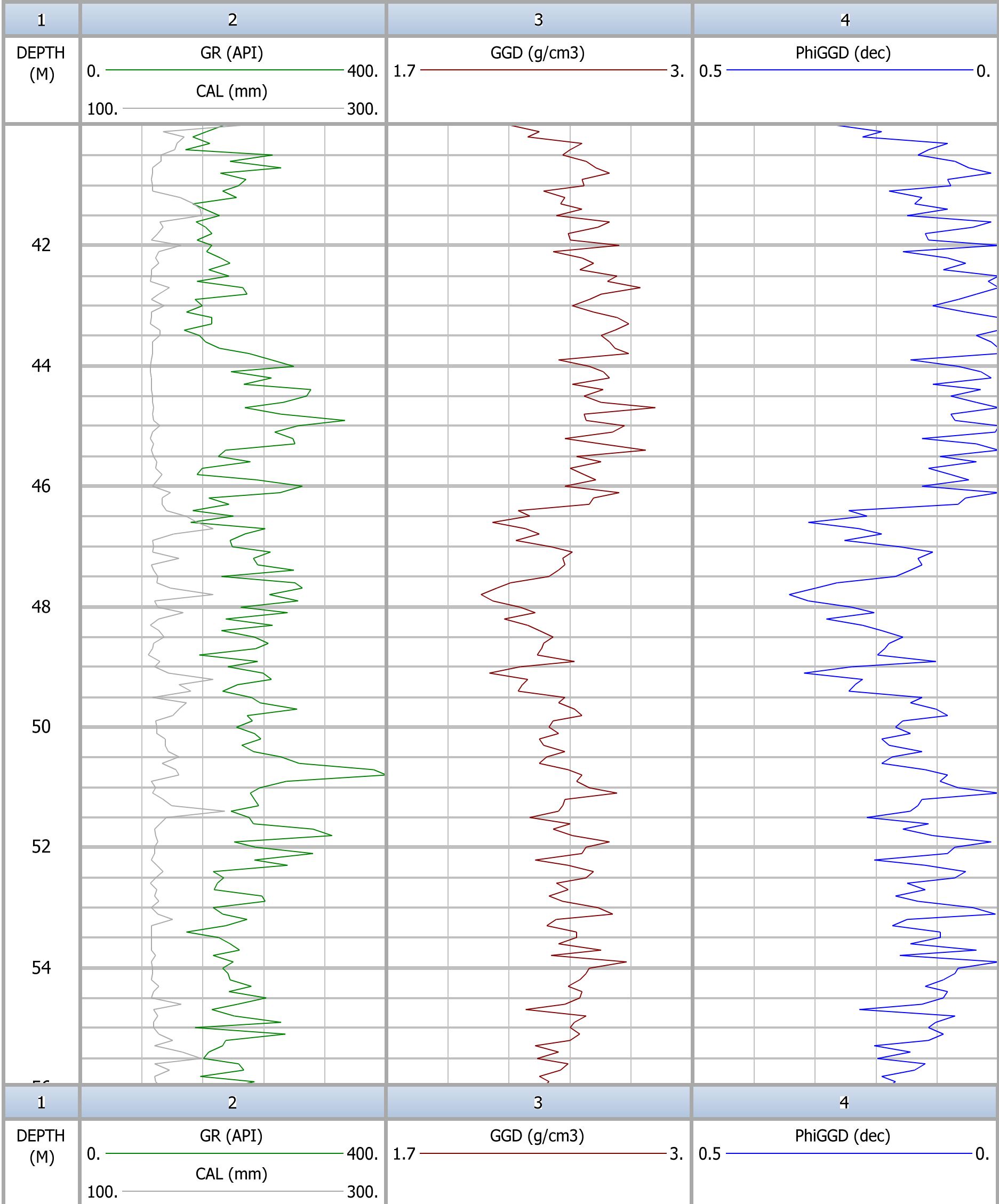
Scale : 1 : 100

KB31_11

DB : Sattler_Semmering-Basistunnel neu (7)

DEPTH (40M - 56M)

11/15/2016 12:53



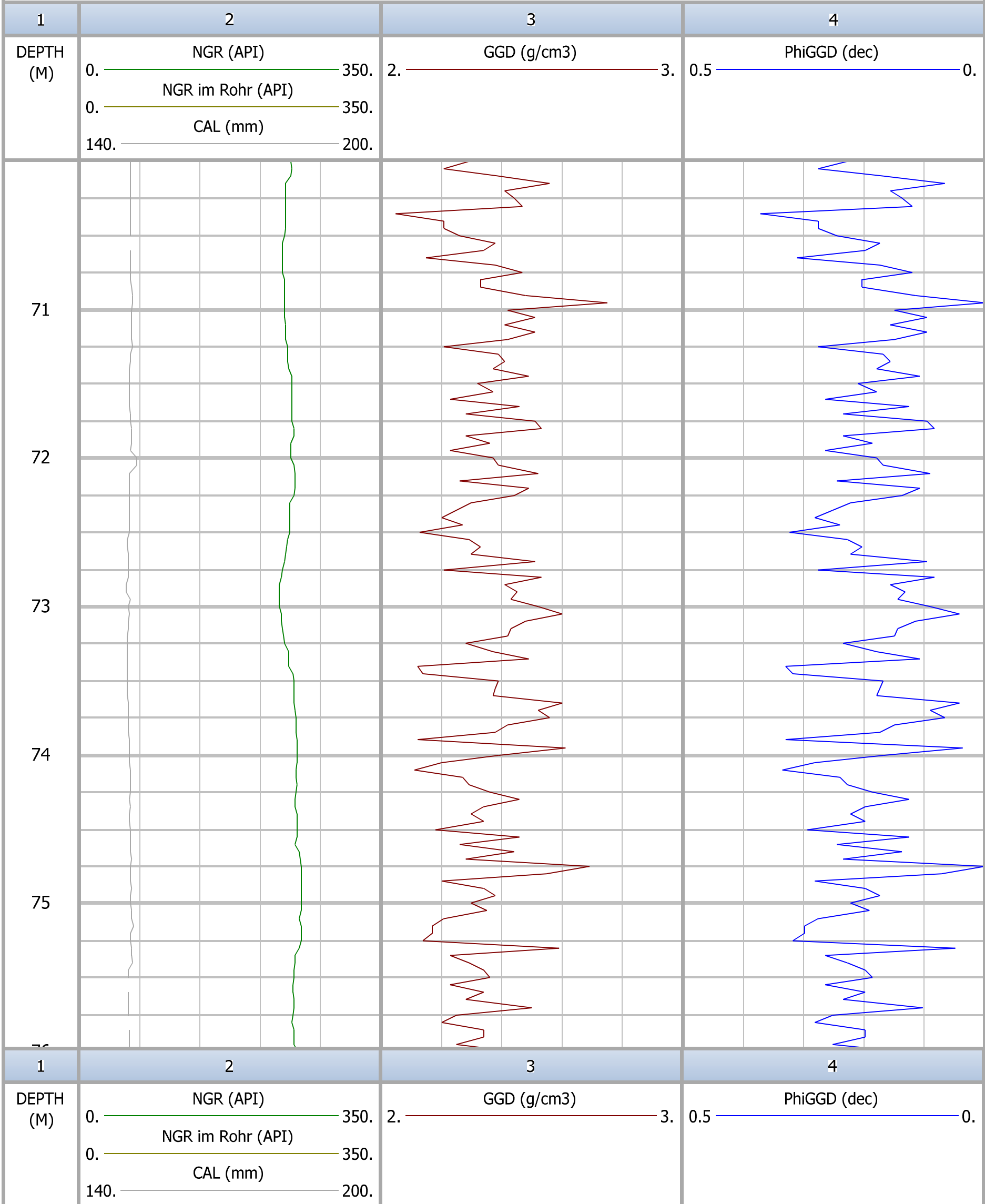
Scale : 1 : 40

KB12_13

DB : Sattler_Semmering-Basistunnel neu (6)

DEPTH (70M - 76M)

11/15/2016 12:48



Anhang IV

Tabellarische Auflistung sämtlicher ermittelten Kennwerte

Probennummer	Beschreibung Korngemisch	Kiesanteil [%]	Sandanteil [%]	Schluffanteil [%]	Tonanteil [%]	Porenanteil [%]	Porenzahl	Dichte [g/cm³]	Korndichte [g/cm³]	Anteil intakt makroskopisch [%]	k _r -Wert [m/s]
TS05_14-01	gr' cl' si* Sa	4,17	57,34	31,75	6,73	13,7	0,16	2,34	2,71	34,04	2,61E-09
TS05_14-02										15,44	
TS31_11-03	gr' cl' sa* Si	1,04	35,77	40,00	23,19	13,8	0,16	2,3	2,67	15,39	2,52E-09
TS31_11-04	gr' cl' si* Sa	2,13	50,46	35,66	11,76	13,8	0,16	2,3	2,67	23,81	1,39E-07
TS31_11-05	gr' cl' sa* Si	0,38	36,86	38,66	24,10	15,5	0,18	2,25	2,66	7,85	2,31E-09
TS31_11-06											
TS31_11-07	cl' gr' si Sa	10,34	52,82	27,01	9,84					15,86	3,91E-07
TS31_11-08	gr' cl' sa* Si	2,20	32,83	45,22	19,75	15,2	0,18	2,27	2,68	13,27	3,49E-09
TS05_14-09	gr' cl' si* Sa	3,89	44,06	39,35	12,70	14,8	0,17	2,3	2,7	13,39	1,12E-07
TS05_14-10	gr' cl' si* Sa	4,62	42,40	37,98	14,99	15,5	0,18	2,25	2,66		4,03E-08
TS31_11-11	gr' cl' sa* Si	1,41	30,73	37,80	30,06	17,6	0,21	2,2	2,67	11,41	1,50E-09
TS31_11-12	gr' cl' sa* Si	1,63	34,65	40,27	23,45	12,4	0,14	2,32	2,65	11,14	2,47E-09
TS11_13-13	cl' gr' si Sa	16,92	61,48	15,44	6,15	13,4	0,16	2,28	2,63	42,89	2,35E-06
TS11_13-14	gr' cl' si* Sa	7,33	46,02	34,05	12,60	14,4	0,17	2,27	2,65	39,4	1,14E-07
TS05_14-15	cl' gr' si Sa	8,31	59,89	24,30	7,51	16,3	0,2	2,2	2,63	32,71	9,92E-07
TS05_14-16	gr' cl' si* Sa	3,66	40,21	34,18	21,94	13,7	0,16	2,31	2,68	14,48	3,58E-09
TS12_13-17										22,52	
TS31_11-18	cl' gr' si Sa	7,67	63,82	22,72	5,79					66,68	1,21E-06
TS11_13-19	cl' gr' si Sa	11,80	51,70	27,05	9,46	10	0,11	2,4	2,67	35,6	4,18E-07
TS12_13-20											
TS05_14-21						15,5	0,18	2,21	2,61		
TS05_14-22	cl' gr' si* Sa	20,84	33,34	31,62	14,20	16,6	0,2	2,25	2,7		8,14E-08
TS11_13-24						3,2	0,03	2,6	2,69		
TS11_13-25											
TS11_13-26						0,5	0,01	2,65	2,66	58,2	
TS05_14-27										85,32	
TS05_14-28	gr' cl' si* Sa	7,66	46,31	34,80	11,23	13,3	0,15	2,33	2,69	38,61	2,20E-07
TS11_13-29										93,23	
TS11_13-30	cl' gr' si Sa	22,61	55,56	15,48	6,35	16,5	0,2	2,27	2,72	89,96	2,24E-06
TS31_11-31	cl' gr' si Sa	17,48	54,47	22,80	5,24	16,3	0,2	2,25	2,69	66,24	1,32E-06
TS05_14-32	cl' si' gr* Sa	40,37	48,36	8,21	3,07					98,1	4,69E-05
TS05_14-33	cl' si' gr Sa	28,37	47,58	18,69	5,36	6,1	0,07	2,54	2,71		1,86E-06
TS11_13-34						1,7	0,02	2,6	2,65	98,21	
TS11_13-35										98,14	