



Rhätische Bahn

Ferrovia retica Viafier retica

Linie Chur – Arosa

Instandsetzung Arosertunnel

Detailsondierungen

GEOLOGISCHER BERICHT

Bericht Nr.: 5724-4
Datum: 25. November 2019
Sachbearbeiter: Gabriel Glaus MSc Erdw., Th Breitenmoser Dipl. Natw. ETH



Büro für Technische Geologie AG

Grossfeldstrasse 74, Postfach 78, CH-7320 Sargans
Telefon +41 81 720 09 39, Fax +41 81 720 09 30
info@btgeo.ch, www.btgeo.ch

INHALTSVERZEICHNIS

1.	Einleitung	1
1.1.	Auftrag	1
1.2.	Aufgabenstellung	1
1.3.	Verwendete Unterlagen	1
2.	Durchgeführte Untersuchungen	3
3.	Geologisch-hydrogeologischer Überblick	3
4.	Resultate der Untersuchungen	4
4.1.	Historisches	4
4.2.	Bestehende Grundlagen	4
4.3.	Sondierbohrungen 2019	4
4.4.	Laborresultate Lockergestein	6
4.4.1.	Lockergesteins-Analysen 1977 bis 2016	6
4.4.2.	Lockergesteins-Analysen 2019	6
4.4.3.	Zusammenfassung Lockergesteins-Analysen	6
4.4.4.	Auswertung N-Kriterium	7
4.5.	Hauptinspektion 2015	9
4.6.	INSAR-Daten	9
4.7.	Hydrogeologie	10
5.	Geologisches Modell	11
5.1.	Allgemeines	11
5.2.	Lithologische Grenzen	11
5.3.	Geotechnische Eigenschaften	11
5.4.	Baugrundwerte Lockergestein	12
5.5.	Injizierbarkeit Lockergestein	12
5.6.	Deformationen	13
5.7.	Bergwasser	14
5.8.	Wiederverwendbarkeit Aushub- und Ausbruchmaterial	15
5.9.	Kenntnislücken	15
6.	Beurteilung des Baugrundes anhand der geologischen Gefährdungsbilder	16
6.1.	Allgemeines	16

6.2.	Blöcke im Lockergestein	16
6.3.	Einbruch von Lockermaterial / Niederbruch	16
6.4.	Innere Erosion / Auswaschung / Ortsbruststabilität	16
6.5.	Vernässungen Sohle	17
6.6.	Setzungen an Oberfläche / Tagbruch	17
6.7.	Berg-/Grund-/Hangwasser	17
6.8.	Quellen / Grundwasserschutz	18
6.9.	Gravitative Naturgefahren	18
6.10.	Erdbeben	18
6.11.	Gasvorkommen	19
6.12.	Radioaktivität	19
6.13.	Radon	19
6.14.	Altlasten	19
7.	Bauliche Folgerungen	19
7.1.	Allgemeines	19
7.2.	Injizierbarkeit Lockergestein	19
7.3.	Arosertunnel	20
7.4.	Portalbereich Arosa	20
7.5.	Portalbereich Langwies	21
8.	Abschliessende Bemerkungen / Empfehlungen	21

ANHÄNGE

- 1 Situation mit Sondierstandorten, 1:2'000
- 2 Geologisch-geotechnisches Längsprofil, 1:1'000
- 3 Bohrprofile Sondierbohrungen 2019, 1:50
- 4 Zusammenstellung Siebanalysen und N-Kriterium
- 5 Prüfberichte Bodenmechanik Lockergestein, Geo-Bau-Labor
- 6 Fotodokumentation

1. EINLEITUNG

1.1. Auftrag

Mit Bestellung vom 12. März 2019 erteilte die Rhätische Bahn AG, vertreten durch Paul Loser, unserem Büro den Auftrag, den Projektverfasser (PV) in geologisch-geotechnischen und hydrogeologischen Fragestellungen zur Instandsetzung des Arosertunnels, Gemeinde Arosa, zu unterstützen (mittlere Koordinaten: 2'771'067/ 1'183'565).

1.2. Aufgabenstellung

Der 299 m lange Arosertunnel, unmittelbar vor dem Bahnhof Arosa, befindet sich in einem schlechten baulichen Zustand und soll instandgesetzt werden. Der Tunnel verläuft im Lockergestein und ist auf seiner gesamten Länge verkleidet (Mauerwerk und Spritzbeton).

Nach der Erarbeitung der allgemeinen geologischen Grundlagen mit unserem Bericht Nr. 5724-1 vom 3. Februar 2016 [14] und den Abklärungen zur Injizierbarkeit des Lockergesteins [18] wurden im August und September 2019 ergänzende Sondierbohrungen und Laboranalysen an Lockergesteinsproben durchgeführt.

Im Laufe der Projektierung hat sich die Frage betreffend der Injizierbarkeit des im Arosertunnels auftretenden Lockergesteins, hinsichtlich vorausseilenden Bauhilfsmassnahmen wie Rohrschirm, Spiesse oder Jetting, gestellt. Dafür wurden alle uns zur Verfügung stehenden Lockergesteins-Analysen zusammengestellt und anhand des N-Kriteriums (Mitchell, 1970) ausgewertet. Diese Einschätzungen zur Injizierbarkeit des Lockergesteins wurden bereits in [18] und [19] gemacht.

Im vorliegenden Bericht werden alle zur Verfügung stehenden Daten und Erkenntnisse zur Geologie, Geotechnik und Hydrogeologie zusammenfassend erläutert. Gewisse Angaben sind aus unseren Berichten / Aktennotizen [14], [18] und [19] übernommen.

1.3. Verwendete Unterlagen

- [1] Büro für Technische Geologie AG, Bericht Nr. 77/2513 vom 8. Dezember 1977: Überdachung Kunsteisbahn Arosa, Baugrunduntersuchung.
- [2] Büro für Technische Geologie AG, Maienfeld, Bericht Nr. 79/2863 vom 13. Dezember 1979: Parkgarage „Aroserhof“ Arosa; Baugrunduntersuchung.
- [3] Büro für Technische Geologie AG, Maienfeld, Bericht Nr. 80/3027 vom 7. August 1980: Überbauung Obersee, Arosa; Geologischer Bericht.
- [4] Baugeologie AG, Bericht Nr. 84652 vom 25. März 1985: Materialbestimmung zu Material aus RhB-Tunnel Untersee-Obersee, Arosa.
- [5] Büro für Technische Geologie und Hydrogeologie, Dr. E. Dedual, Bericht Nr. 4288 vom 18. Juli 1994: LAW Neugestaltung Talstation, Geologischer Bericht.

- [6] Baugeologie und Geo-Bau-Labor AG, Bericht Nr. 951824 vom 17. Februar 1995: RhB, Linie Chur – Arosa; Umelektrifizierung und Umbau- / Sanierungsarbeiten Aroser-Tunnel; Bautechnische Untersuchungen.
- [7] Ingenieurbüro G. Liesch AG, Bericht vom Juni 1998: RhB, Linie Chur – Arosa; Anpassung der Tunnelprofile infolge Umelektrifizierung auf 11 kV; Aroser-Tunnel, Pläne des ausgeführten Werkes; Technischer Bericht, Bauausführung.
- [8] Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), SN 670 010b, (Dezember 1998): Bodenkennziffern.
- [9] SUVA Arbeitssicherheit, 2002: Verhütung von Unfällen durch Brände und Explosionen bei der Erstellung von Untertagebauten in Erdgas führenden Gesteinschichten; Technisches Merkblatt; Luzern.
- [10] Michael Eckl, 20. Juni 2012: Tragverhalten von Rohrschirmdecken beim Tunnelbau im Lockergestein, Dissertation an der Technischen Universität München.
- [11] Schweizer Norm SIA 261 Bauwesen, 2014: Einwirkungen auf Tragwerke (SN 505 261).
- [12] BTG Büro für Technische Geologie AG, Bericht Nr. 5660-1 vom 16. September 2014: Neubau Hotel Valsana, Parzelle 186, 871, Arosa; Baugrundbeurteilung; Geologisch-geotechnischer Bericht.
- [13] Edy Toscano AG, Pläne vom August 2015: Linie Chur – Arosa, Strecke Haspelgrube – Arosa; Hauptinspektion 2015 Arosertunnel; Gewölbeabwicklung 1:200; Vorabzug.
- [14] BTG Büro für Technische Geologie AG, Bericht Nr. 5724-1 vom 3. Februar 2016: Linie Chur – Arosa: Sanierung / Ausbau Arosertunnel; Geologische Grundlagen; Geologisch-geotechnischer Bericht.
- [15] Österreichische Gesellschaft für Geomechanik, 2016: Kommentar zur EN 12715, Injektionen.
- [16] Grundbau-Taschenbuch, 2018: Teil 2 Geotechnische Verfahren, 8. Auflage, Herausgeber: Karl Josef Witt, Verlag: Wilhelm Ernst & Sohn.
- [17] BTG Büro für Technische Geologie AG, Bericht Nr. 5724-2 vom 21. Dezember 2018: Linie Chur – Arosa, Instandsetzung Arosertunnel, Petrographie Mauersteine Portale und mögliche Ersatzsteine, Geologischer Bericht.
- [18] BTG Büro für Technische Geologie AG, Bericht Nr. 5724-3 vom 21. Februar 2019: Linie Chur – Arosa, Instandsetzung Arosertunnel, Abklärungen Injizierbarkeit Lockergestein, Geologischer Bericht.
- [19] BTG Büro für Technische Geologie AG, Aktennotiz zum Auftrag Nr. 5724-4 vom 4. Oktober 2019: Arosertunnel, Beurteilung Resultate Sondierungen 2019 hinsichtlich Injizierbarkeit.
- [20] Geoportal der kantonalen Verwaltung Graubünden (map.geo.gr.ch, Oktober/November 2019): Luftbild, Landeskarte 1:2'000, SwissAlti3D, GeoCover, INSAR-Karte, Gewässerschutzkarte, Naturgefahrenkarte, Kataster belastete Standorte.

[21] Geoportal der Schweizer Eidgenossenschaft – swisstopo (map.geo.admin.ch, Oktober/November 2019): Historische Karten und Luftbilder, Radonkarte.

2. DURCHGEFÜHRTE UNTERSUCHUNGEN

Vom 23. August 2019 bis 5. September 2019 wurden im Arosertunnel durch die Firma Otto Bohr AG, Thusis, ab dem Flachwagen 18 kurze, 1.0-3.9 m lange Sondierbohrungen erstellt. 9 Sondierbohrungen wurden ins bergseitige Parament (ca. 45° steigend), 7 ins talseitige Parament (ca. 45° steigend) und 2 in die Tunnelsohle (vertikal) ausgeführt.

Am 11. September 2019 wurden die Sondierbohrungen von uns geologisch aufgenommen (vgl. Bohrprofile im Anhang 3). Danach wurden 5 geeignete Lockergesteinsproben entnommen und für Sieb- und Schlämmanalysen ins Geo-Bau-Labor, Chur, gebracht (vgl. Prüfberichte im Anhang 5).

3. GEOLOGISCH-HYDROGEOLOGISCHER ÜBERBLICK

Der Arosertunnel verläuft auf seiner gesamten Länge von 299 m in der ausgedehnten Sackungsmasse von Arosa zwischen Ober- und Untersee [20].

Die eigentliche Sackungsmasse besteht aus stark zerbrochenen Felspaketen der Aroser-Schuppenzone bestehend aus Dolomit, Serpentin, Radiolarit und Kristallin. Grössere, zusammenhängende Felspakete liegen in der Regel nicht vor.

Die auf der Sackungsmasse liegende, ebenfalls versackte Moräne weist eine ähnliche petrographische Zusammensetzung wie die Sackungsmasse auf.

Der anstehende Fels ist in der näheren Umgebung zum Arosertunnel an der Oberfläche nicht aufgeschlossen.

Der Obersee wird im Süden durch einen Moränenzug abgeschlossen, der vom Arosertunnel an der westlichen Flanke durchquert wird.

Die Lage und der Verlauf des Grundwasserspiegels sind in unmittelbarer Nähe zum Arosertunnel nicht bekannt. Auf den Parzellen Nr. 186 und 871 (Hotel Valsana), nördlich der Eissporthalle, am östlichen Ende des Obersees, wurde im August 2014 in einer Sondierbohrung ein Wasserspiegel auf etwa Kote 1'730 angetroffen [12]. Der Seespiegel des Obersees liegt etwa auf Kote 1'734. Ein hydraulischer Zusammenhang zwischen See- und Grundwasserspiegel ist wahrscheinlich.

Der gesamte Arosertunnel liegt im Gewässerschutzbereich A_u [20].

4. RESULTATE DER UNTERSUCHUNGEN

4.1. Historisches

Beim Bau des Arosertunnels 1914 befanden sich gemäss historischen Karten [21] keine Gebäude direkt oberhalb des Tunnels. Bergwärts der Poststrasse befand sich in der Nähe des Tunnels ein einziges (Wohn-) Gebäude. Die Poststrasse, welche den Tunnel im Portalbereich Langwies überquert, existierte bereits vor dem Bau des Tunnels.

Alle weiteren Gebäude und Strassen, welche heute direkt über oder in unmittelbarer Nähe zum Tunnel liegen, wurden nach dessen Bau erstellt.

4.2. Bestehende Grundlagen

1995 wurden im Arosertunnel an fünf Stellen ab dem Parament kurze, 0.16-1.14 m lange, \pm horizontale Sondierbohrungen erstellt [6]. Details zu diesen Bohrungen können auch in [14] nachgelesen werden.

Für [14] wurde eine Feldbegehung durchgeführt und das Gebiet oberhalb des Tunnels begangen. Dabei wurden keine Fels- oder Lockergesteinsaufschlüsse in unmittelbarer Tunnelnähe angetroffen.

Aus den Jahren 1971 bis 2014 sind in unserem Archiv zahlreiche Baugrunduntersuchungen mit Sondierbohrungen vorhanden. Angaben zu den Erkenntnissen aus diesen Untersuchungen werden in [14] gemacht.

4.3. Sondierbohrungen 2019

In den Tabellen 1 bis 3 ist der Befund der Sondierbohrungen zusammengefasst. Angegeben sind die Tiefenbereiche der jeweiligen geologischen Einheiten. Die detaillierten Bohrprofile finden sich im Anhang 3.

Tabelle 1: Zusammenfassung Sondierbohrungen Tm 0 – 115 (Tiefe in Meter)						
	SB3/19	SB4/19	SB4A/19	SB6/19	S6.1/19 (*)	SB9/19
Tunnelmeter	20	55	55	85	85	115
Mauerwerk	0 – 0.4	0 – 0.6	0 – 0.8	0 – 0.6	-	0 – 0.6
Hinterfüllung	0.4 – 0.6	ca. 0.6 – 1.5	nicht erkennbar	0.6 – 0.9	0.3 – 1.0	nicht erkennbar
Moräne / Sackungsmasse	0.6 – 3.9 (M)	1.5 – 3.5 (M)	0.8 – 2.5 (M)	0.9 – 3.5 (M/S?)	-	0.6 – 3.5 (M/S?)
Bemerkungen	-	Grenze Hinterfüllung / Moräne unsicher	Hinterfüllung evtl. ähnlich wie bei SB4/19	-	künstliche Auffüllung	-

Bemerkungen:

(*) SB6.1/19: vertikale Bohrung in Tunnelsohle, 0-0.3 m fehlender Kern (Probe für UBB Schwermetallanalyse)

(M) = Moräne; (S) = Sackungsmasse

keine Wasserzutritte beobachtet

Tabelle 2: Zusammenfassung Sondierbohrungen Tm 115 – 210 (Tiefe in Meter)						
	SB9A/19	SB2/19	SB2A/19	SB8/19	S8A/19	SB5/19
Tunnelmeter	115	145	145	175	175	210
Mauerwerk	0 – 0.7	0 – 0.6	0 – 0.4	0 – 0.6	0 – 0.6 m	0 – 0.7 m
Hinterfüllung	nicht erkennbar	0.6 – 0.8	0.4 – 0.8	nicht erkennbar	nicht erkennbar	nicht erkennbar
Moräne / Sackungsmasse	0.7 – 2.5 (M/S?)	0.8 – 3.5 (M)	0.8 – 2.5 (M)	0.6 – 3.5 (M)	0.6 – 2.5 (M)	0.7 – 3.5 (M)
Bemerkungen	-	Holz (Marciavanti) bei Hinterfüllung		-	-	-

Bemerkungen:

(M) = Moräne; (S) = Sackungsmasse

keine Wasserzutritte beobachtet

Tabelle 3: Zusammenfassung Sondierbohrungen Tm 210 – 299 (Tiefe in Meter)						
Lithologie	SB5A/19	SB5.1/19 (*)	SB7/19	SB7A/19	SB1/19	SB1A/19
Tunnelmeter	210	210	240	240	280	280
Mauerwerk	0 – 0.8	-	0 – 0.5 (**)	0 – 0.7	0 – 0.7 (**)	0 – 0.6
Hinterfüllung	nicht erkennbar	0.5 – 1.0	nicht erkennbar	0.7 – 1.8	0.7 – 1.4	0.6 – 2.5
Moräne / Sackungsmasse	0.8 – 2.5 (M)	-	0.5 – 3.5 (M)	1.8 – 2.5 (M)	1.4 – 2.7 (M)	-
Bemerkungen	-	künstliche Auffüllung	-	-	2.7-3.2 m: Fundament Haus	-

Bemerkungen:

(*) SB5.1/19: vertikale Bohrung in Tunnelsohle, 0-0.5 m fehlender Kern (Probe für UBB Schwermetallanalyse)

(**) Teil von Mauerwerk fehlt (Probe für UBB Schwermetallanalyse)

(M) = Moräne

keine Wasserzutritte beobachtet

Die Mächtigkeit des Mauerwerks beträgt 0.5-0.7 m (min. = 0.4 m, max. 0.8 m).

Nur bei knapp der Hälfte der Sondierbohrungen 2019 wurde eine Hinterfüllung erkannt. Die Mächtigkeit der Hinterfüllung schwankt beträchtlich (0.2-1.9 m). Vereinzelt wurde Holz angetroffen (Hinweis auf Marciavanti-Vortrieb beim Bau). Beim Lockergestein handelt es sich mehrheitlich um Moräne und dabei häufig um einen Kies, sandig, oft schwach siltig bis siltig, lokal schwach tonig. Die Zusammensetzung der Hinterfüllung ist ähnlich wie diejenige der Moräne, wobei die Moräne örtlich als dichter gelagert beurteilt wird. Untergeordnet tritt Sackungsmasse (?) auf.

4.4. Laborresultate Lockergestein

4.4.1. Lockergesteins-Analysen 1977 bis 2016

Die bestehenden Lockergestein-Analysen aus den Jahren 1977 bis 2016 sind in [18] zusammengestellt. Diese stammen von Proben in der näheren Umgebung des Arosertunnels ([1] bis [3], [5]) und aus dem Arosertunnel selbst ([4], [14]).

Beim beprobten Lockergestein handelt es sich jeweils um Moräne oder Sackungsmasse. Im Anhang 4 sind die Laborresultate zusammengefasst.

4.4.2. Lockergesteins-Analysen 2019

Bei der Probenahme der 5 Lockergesteinsproben aus den Sondierbohrungen 2019 wurde darauf geachtet, dass möglichst alle Varietäten des angetroffenen Materials aus den Sondierbohrungen abgedeckt wurden.

Die Resultate der 5 Lockergesteinsanalysen sind in [19] zusammengestellt. Die Lockergesteinsproben aus SB2/19 und SB9/19 weisen mit jeweils 14% einen deutlich geringeren Feinanteil (Silt, Ton) auf, als die restlichen Proben (SB3/19, SB4/19, SB7/19, sowie sämtliche in [18] beurteilten Proben). Die Proben aus SB2/19 und SB9/19 werden als wenig resp. nicht plastisch und die anderen Proben als ziemlich plastisch beurteilt.

Eine Zusammenstellung der Laborresultate findet sich im Anhang 4 und die detaillierten Prüfberichte des Geo-Bau-Labors im Anhang 5.

4.4.3. Zusammenfassung Lockergesteins-Analysen

In der Tabelle 4 sind die Kornverteilungen aller vorhandenen Laboranalysen (1977 bis 2019) zusammenfassend aufgelistet (Mittelwerte pro Lockergesteinsvarietät). Die Detailangaben finden sich im Anhang 4.

Tabelle 4: Zusammenfassung Kornverteilung Lockergesteinsproben 1977 – 2019 (Mittelwerte)						
Kornfraktion		Moräne			Sackungsmasse	
		kiesig	sandig	siltig	kiesig	sandig
USCS		GC-GM, GC, GM, GM (GM-ML)	SC (SC-CL), SM (SM-ML)	ML	GC	SC, SM
Anzahl Proben		12	5	1	1	3
Kies						
	2-60 mm	46	20	17	45	29
Sand						
	0.06-2 mm	27	39	20	27	41
Silt						
	0.002-0.06 mm	18	28	43	19	20
Ton						
	< 0.002 mm	9	13	20	9	10

Ergänzend sind in der Tabelle 5 die verfügbaren Angaben zu Wassergehalt, Konsistenz und Plastizität der bestehenden Lockergesteinsproben enthalten (Mittelwerte pro Lockergesteinsvarietät). Die Details finden sich in Anhang 4.

Tabelle 5: Zusammenfassung Konsistenz Lockergesteinsproben 1977 – 2019 (Mittelwerte)						
Bezeichnung	Einheit	Moräne			Sackungsmasse	
		kiesig	sandig	siltig	kiesig	sandig
Anzahl Proben		9	4	-	1	3
Wassergehalt	[%]	6.5 (*)	17.5	-	-	9.2 (**)
Fliessgrenze	W_L [%]	19.7	22.0	-	27.2	26.6 (***)
Ausrollgrenze	W_P [%]	13.0	11.9	-	12.9	12.5 (***)
Plastizitätsindex	$I_P = W_L - W_P$ [%]	6.7	10.2	-	14.3	14.6 (***)
Bezeichnung Plastizität		wenig plastisch	ziemlich plastisch bis plastisch	-	plastisch	plastisch

(*) Mittelwert aus 4 Proben

(**) 1 Probe

(***) Mittelwert aus 2 Proben

Gegenüber den Angaben in [18] mit den Lockergesteins-Analysen 1977 bis 2016 schwankt die Zusammenstellung aller Werte (plus 5 Proben aus Sondierbohrungen 2019) nur minim.

4.4.4. Auswertung N-Kriterium

Gemäss [15] und [16] lässt sich aus der Kornverteilung des zu injizierenden Baugrundes eine erste Annahme für die Injizierbarkeit mit gängigen zementbasierten Injektionsmitteln ableiten. Dafür werden die Korngrössen des zu injizierenden Materials und des Injektionsmittels miteinander verglichen. Daraus wird das Injektions-Kriterium N nach Mitchell (1970) hergeleitet:

$$N = D_{15}/d_{85}$$

D15: Korndurchmesser bei 15% Siebdurchgang in Gew.-% des Baugrunds

d85: Korndurchmesser bei 85% Siebdurchgang in Gew.-% des Bindemittels

Dabei gilt bezüglich Injizierbarkeit (Richtwert nach Mitchell, 1970):

- $N < 11$: nicht injizierbar, nicht gegeben
- $11 < N < 24$: unsicher, zu prüfen
- $N > 24$: injizierbar, gegeben

Beim N-Kriterium handelt es sich in der Regel um eine konservative Abschätzung der Injizierbarkeit.

In der Tabelle 6 ist das N-Kriterium für die Injizierbarkeit der 5 Lockergesteinsproben von 2019 aufgeführt. Die Details dazu mit den Einzelwerten finden sich im Anhang 4.

Tabelle 6: Injektionskriterium N nach Mitchell 1970 (Mittelwerte)					
Bindemittel (übernommen aus [15])	Moräne, kiesig				Sackungsmasse, sandig
	SB3/19	SB4/19	SB2/19	SB7/19	SB9/19
CEM I 32.5 d85 ~ 0.043 mm	0.1	0.2	1.8	0.1	1.6
CEM I 42.5 d85 ~ 0.025 mm	0.2	0.3	3.1	0.1	2.7
CEM I 52.5 d85 ~ 0.020 mm	0.2	0.4	3.9	0.2	3.4
Feinstbindemittel d85 = 0.016 mm	0.3	0.4	4.8	0.2	4.2
Feinstbindemittel d85 = 0.006mm	0.7	1.2	12.8	0.5	11.2

Für Feinstbindemittel (\varnothing 0.006 mm) erfüllen die Proben von SB2/19 und SB9/19 den Richtwert von $N > 11$ (unsicher, zu prüfen), der gemäss Mitchell (1970) für die Injizierbarkeit im Minimum erforderlich ist. Für die «grobkörnigeren» Bindemittel liegen alle N-Werte deutlich unterhalb dieses Richtwertes.

Betrachtet man die N-(Mittel-)Werte über alle vorliegenden Proben, liegen alle Werte deutlich unterhalb des Richtwertes nach Mitchell (1970), für die eine Injizierbarkeit als prüfenswert oder gegeben betrachtet wird ($N > 11$).

4.5. Hauptinspektion 2015

In der Tabelle 7 sind die aus geologische-geotechnischer Sicht relevanten Erkenntnisse aus der Hauptinspektion 2015 zusammengefasst [13].

Tabelle 7: Resultate Hauptinspektion 2015 [13] aus geologisch-geotechnischer Sicht	
Bezeichnung	Beschreibung
Risse	<ul style="list-style-type: none"> • Tm 0-2: gesamtes Profil • Tm 13-14: talseitiges, unteres Parament • Tm 47-49: talseitiges Parament • Tm 54-66: Gewölbe • Tm 196-197: Übergang Gewölbe / bergseitiges Parament • Tm 200-202: Übergang Gewölbe / talseitiges Parament • Tm 233-238: klaffend im bergseitigen unteren Parament • Tm 287-299: gesamtes Profil
Abplatzungen	<ul style="list-style-type: none"> • Tm 35-50: kleinflächig, Gewölbe • Tm 57-66: grossflächig, Gewölbe • Tm 198-208: grossflächig, Gewölbe • Tm 223-233: kleinflächig, bergseitiges Parament + Gewölbe • Tm 296-299: kleinflächig, Gewölbe
Deformation (Ausbauchung)	<ul style="list-style-type: none"> • Tm 168-170: bergseitiges Parament
Anker	<ul style="list-style-type: none"> • Tm 80-104: unteres, talseitiges Parament

Im Rahmen der Umelektrifizierung auf 11kV wurden bereits 1995 und 1998 Sanierungsarbeiten und Anpassungen der Tunnelprofile vorgenommen [7]. Unter anderem wurde dabei ab dem Portal Langwies auf einer Länge von 116 m eine Sohlplatte sowie bei Tm 165-195 ein neues Sohlgewölbe eingebaut. Lokal wurde das Tunnelprofil geschrämt (Tm 10-20, Tm 110-140, Tm 205-250) und das Profil in den unteren Paramenten, vor allem bergseits, erweitert. Bei Tm 65-125 wurden das Widerlager und bei Tm 94-115 das Gewölbe verstärkt.

Über allfällige Sanierungsarbeiten in früheren Jahren liegen keine Angaben vor.

4.6. INSAR-Daten

Arosa und damit auch der Arosertunnel befinden sich gemäss den vorliegenden INSAR-Daten [20] in einem Gebiet, das sich mit 0-2 cm/a bewegt.

Im Tunnel selbst gibt es keine offensichtlichen Anzeichen von aktiven Rutschbewegungen.

4.7. Hydrogeologie

In der Tabelle 8 sind die in der Hauptinspektion 2015 festgestellten (Berg-) Wasserzutritte (Feuchte, Nässe, Tropfstellen, Quellen) aus [13] aufgelistet.

Tabelle 8: (Berg-) Wasserzutritte im Arosertunnel aus [13]		
Tm von	Tm bis	Bezeichnung
0	9	• trocken
9	20	• Feuchte und Nässe in beiden Paramenten
20	33	• trocken
33	35	• Feuchte im bergseitigen, unteren Parament
35	85	• trocken
85	105	• 7 Quellen im unteren bergseitigen Parament, lokal Nässe
105	110	• Nässe im talseitigen unteren Parament
110	120	• trocken
120	166	• weitgehend nass in beiden Paramenten und lokal im Gewölbe • Quelle bei Tm 143 im bergseitigen unteren Parament
166	198	• trocken • Tm 184: Feuchtestelle im bergseitigen Parament
198	202	• lokal Nässe im rechten Parament • Tm 203-204: Tropf in Firste
202	220	• trocken
220	290	• Tm 220-240: lokal Nässe in Paramenten und Gewölbe • Tm 240-283: weitgehend nass in beiden Paramenten, im Gewölbe nur selten • Tm 277: Quelle im talseitigen unteren Parament • Tm 283-290: lokal Nässe im Gewölbe
290	299	• trocken

Metrierung (Tm) ab Portal Langwies

Die Wasserzutritte der Hauptinspektion 2015 [13] decken sich in etwa mit den Wasserzutritten, die 1998 im Rahmen der Umelektrifizierung des Tunnels kartiert wurden (vgl. [7]). Die Wasserzutritte führen im Winter zu Eisbildung.

Am 4. September 2015 wurde beim Portal Langwies die anfallende Wassermenge aus dem Tunnel auf etwa 0.5 l/s abgeschätzt [14].

5. GEOLOGISCHES MODELL

5.1. Allgemeines

5.2. Lithologische Grenzen

Der Arosertunnel verläuft über weite Strecken in Moräne. Dies ist von Tm 0 (Portal Langwies) bis Tm 72 und von Tm 124 bis Tm 299 (Portal Arosa) der Fall. Bei Tm 72-124 ist möglicherweise Sackungsmasse im Bereich des Tunnels vorhanden.

Die Grenze zwischen Moräne und Sackungsmasse kann anhand der bestehenden Unterlagen und der im Sommer 2019 ausgeführten Sondierbohrungen jedoch nicht mit abschliessender Sicherheit angegeben werden.

Moräne und Sackungsmasse sind oft ähnlich aufgebaut ((tonig-) siltiger Kies). In der Sackungsmasse können jedoch mehrere Meter mächtige, aufgelockerte und zerbrochene Felspakete auftreten, was in der Moräne nicht der Fall ist. Solche grösseren Felspakete wurden in den vorliegenden Sondierbohrungen aus dem Arosertunnel nicht angetroffen. In der Moräne beschränken sich die Blöcke in der Regel auf einen Durchmesser von etwa 1 m.

Hinter dem Mauerwerk wurde der Tunnel mindestens abschnittsweise hinterfüllt. Die in den Sondierbohrungen 2019 teilweise festgestellte Hinterfüllung ist bis knapp 2 m mächtig. Die Hinterfüllung besteht sehr wahrscheinlich aus Aushubmaterial (Moräne, Sackungsmasse) der Tunnelvortriebsarbeiten.

Grundsätzlich kann aufgrund des heutigen Kenntnisstandes auf der gesamten Tunnelstrecke von ähnlich aufgebaute Untergrund mit ähnlichen geotechnischen Eigenschaften ausgegangen werden. Es gibt eher kiesige Lockergesteins-Varietäten und eher sandige, diese mit einem etwas höheren Anteil an Silt und Ton.

5.3. Geotechnische Eigenschaften

Das Lockergestein (Moräne und Sackungsmasse) verfügt generell über eine hohe Tragfähigkeit, ist gering setzungsempfindlich und mässig standfest. Es wird als sehr wasserempfindlich eingestuft. Wasserzutritte führen rasch zu einer Aufweichung und Ausspülung insbesondere des feinkörnigen Materials und damit zu einer reduzierten Standfestigkeit.

5.4. Baugrundwerte Lockergestein

Die Baugrundwerte sind aufgrund der Sondierresultate, der Schweizer Norm (SN) 670010b und unserer Erfahrungen abgeschätzt. Angegeben werden der Mittelwert und in Klammern der Streubereich (Extremwerte). Der angegebene Streubereich gibt die mögliche Variation der Eigenschaften innerhalb der betreffenden Schicht an. Für die geotechnische Projektbearbeitung sind der jeweils zu betrachtenden Bemessungssituation angepasste charakteristische Werte festzulegen.

In der Tabelle 9 sind die Baugrundwerte für die im Untersuchungsgebiet vorliegenden Lockergesteine aufgeführt.

Tabelle 9: Abschätzung Baugrundwerte Lockergestein							
Locker- gestein	USCS	Feucht- raum- gewicht [kN/m ³]	Lagerungs- dichte / Konsistenz	M _E -Wert (3) [MN/m ²]	Rei- bungs- winkel [°]	Ko- häsion [kN/m ²]	Durch- lässigkeit [m/s]
Moräne (1)	GC-GM , GC, GM, GW-GM, SM, SC- SM	21 ± 1.0	dicht bis sehr dicht	70 (60 – 100)	36 (34 – 38)	5 (0 – 10)	1 x 10 ⁻⁴ bis 1 x 10 ⁻⁷
Sackungs- masse (2)	GM , GW- GM, GC- GM, SM, SC-SM	21 ± 1.0	mitteldicht bis dicht	40 (30 – 70)	34 (32 – 36)	2 (0 – 5)	1 x 10 ⁻³ bis 1 x 10 ⁻⁷

Bemerkungen:

- Für die Hinterfüllung ist eher die untere Bandbreite des angegebenen Streubereichs relevant.
- (1) Kies, sandig, schwach siltig bis stark siltig, oft tonig, lokal Sand, siltig, schwach tonig bis tonig, reichlich Steine, wenig Blöcke.
- (2) Kies, sandig, schwach siltig bis siltig, lokal tonig, z.T. Sand, siltig, schwach tonig, reichlich Steine und Blöcke, lokal Blocklagen und mehrere Meter mächtige zerbrochene Felspakete.
- (3) Die angegebenen M_E-Werte sind Erstbelastungswerte. Für Wiederbelastungsverhältnisse kann erfahrungsgemäss der dreifache M_E-Wert der Erstbelastung eingesetzt werden.

5.5. Injizierbarkeit Lockergestein

Anhand der vorliegenden Daten und Beurteilungskriterien ist die Injizierbarkeit der beim Arosertunnel vorhandenen Lockergesteine (Moräne, evtl. Sackungsmasse) mit Zement-Suspensionen (inkl. Fein- und Feinst-Zemente) als unsicher bis nicht gegeben einzustufen. Nur bei zwei von insgesamt 22 vorliegenden Proben kann die Injizierbarkeit für Feinstbindemittel (Feinst-Zement) als evtl. möglich resp. prüfbar eingestuft werden.

Beim untersuchten Material handelt es sich um Moräne und evtl. Sackungsmasse. Qualitativ abgeschätzt dürfte die Hinterfüllung aufgrund der z.T. lockereren Lagerung etwas besser injizierbar sein als die gewachsene Moräne und Sackungsmasse.

Nebst Zement-Suspensionen stehen für Injektionen auch Kunststoff- und Wasserglaslösungen (Silikatgel) sowie Hochdruckinjektions-Verfahren zur Verfügung.

Die Anwendungsbereiche der verschiedenen Injektionsmittel und -Verfahren sind in der Abbildung 1 aus [10] dargestellt.

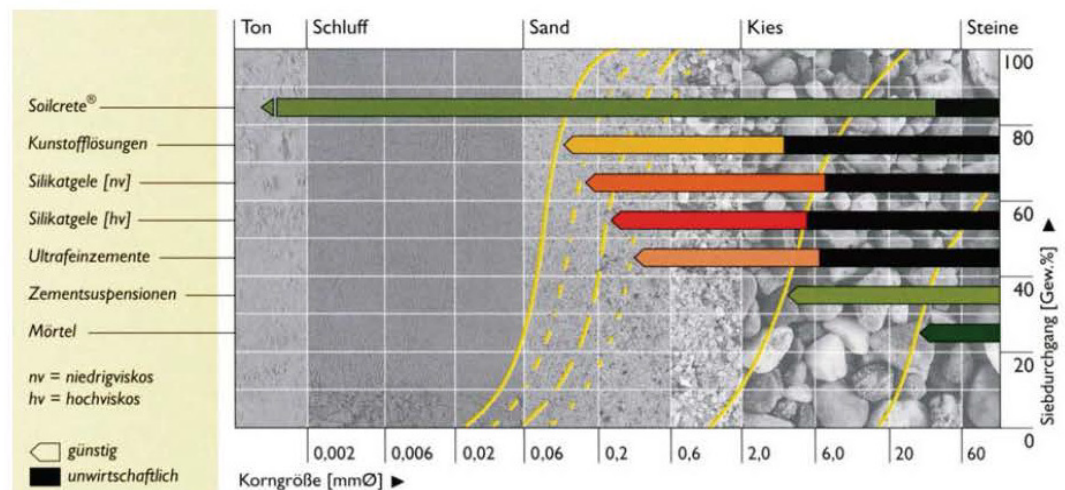


Abbildung 1: Injektionsmittel und -Verfahren in Abhängigkeit von der Korngrösse des Baugrundes (aus [10]).

Nebst der Korngrößenverteilung sind für die Einschätzung der Injizierbarkeit auch die folgenden Parameter zu berücksichtigen (vgl. [16]):

- Porenvolumen
→ keine Angaben vorhanden
Annahme: < 0.2 , da Ungleichförmigkeit sehr hoch ist (d_{60}/d_{10})
(d_{60}/d_{10} : Korndurchmesser bei 60% bzw. 10% Siebdurchgang in Gew.-%)
- Durchlässigkeit k horizontal und k vertikal
→ vgl. Baugrundwerte in [14]; Moräne: 10^{-4} - 10^{-7} m/s; Sackungsmasse: 10^{-3} - 10^{-7} m/s; k horizontal entlang besser durchlässigen Schichten deutlich höher als vertikal
- Sättigungsgrad (Verhältnis des mit Flüssigkeit gefüllten Porenvolumens zum gesamten Porenvolumen)
→ generell: ungesättigt bis lokal gesättigt in besser durchlässigen Schichten; Wassergehalt, sofern ermittelt, in Tabelle 3 angegeben
- Homogenität des Baugrunds
→ lokal besser durchlässige Schichten und damit wahrscheinlich qualitativ abgeschätzt auch besser injizierbare Lockergesteinsvarietäten vorhanden, jedoch erhöhte Wasserzirkulation in den besser durchlässigen Schichten

Injektionsversuche, die geplant sind (vgl. Kap. 7.2), sind für eine abschliessende Beurteilung der Injizierbarkeit notwendig.

5.6. Deformationen

Aus den Resultaten der Hauptinspektion 2015 [13] sind keine Hinweise auf Tunnelabschnitte mit stärkeren Deformationen oder aktiven Bewegungen aufgrund des Baugrundes erkennbar.

Die lokal vorhandenen Risse, Abplatzungen und Ausbauchungen sind auf den generell geotechnisch schwierigen Baugrund und das Alter des Bauwerkes zurückzuführen.

5.7. Bergwasser

Ein zusammenhängender Grund-/Hangwasserspiegel im eigentlichen Sinn liegt vermutlich nicht vor. Die vorhandenen Wasserzutritte in den Tunnel zeigen jedoch eine deutliche Zirkulation von Hangwasser an. Es wird angenommen, dass sich temporär (z.B. Schneeschmelze) ein Hangwasserspiegel maximal bis etwa 10 m über der Firste des Tunnels einstellen kann.

Bis Tm 85 (ab Portal Langwies) treten untergeordnet Feuchte- und Nässestellen auf. Ab Tm 85 bis zum Portal Arosa sind nur einige kurze Abschnitte trocken, Feuchte- und Nässestellen herrschen vor. Zudem sind bei Tm 85-105, Tm 143 und Tm 277 kleine Quellen vorhanden.

Die Moräne ist grundsätzlich gering durchlässig. In die Moräne sind möglicherweise gut durchlässige fluvioglaziale Linsen / Schichten mit einem geringeren Feinanteil eingelagert. In der Sackungsmasse sind in zerbrochenen Felspaketen erhöhte Durchlässigkeiten zu erwarten.

Wasser zirkuliert im Lockergestein entlang besser durchlässigen Schichten und tritt punktuell in den Tunnel ein. Eine positive Korrelation der Wasserzutritte mit den Witterungsverhältnissen und der Schneeschmelze ist zu erwarten.

Das zirkulierende Hangwasser dürfte einerseits vom steil ansteigenden Hang Richtung Tschuggen, andererseits insbesondere im nördlichen Abschnitt des Tunnels auch vom Obersee her stammen.

Quellen, die durch die Sanierungs-/Ausbauarbeiten gefährdet sein könnten, liegen in der näheren Umgebung des Arosertunnels keine vor.

Etwa 240 m östlich des Arosertunnels ist in der Gewässerschutzkarte [20] eine Grundwasserfassung (Brauchwasser) eingezeichnet.

Etwa 850 m südöstlich des Portals Langwies befindet sich das Grundwasserpumpwerk Js1a mit rechtsgültigen Grundwasserschutzzonen.

5.8. Wiederverwendbarkeit Aushub- und Ausbruchmaterial

Das Lockergestein (Moräne, Sackungsmasse) kann grundsätzlich nach Abtrennung der Blöcke zu statisch relevanten Auffüllungen und Dammschüttungen verwendet werden. Davon ausgeschlossen sind jedoch stärker silt- und tonhaltige Schichten.

Voraussichtlich ist das Lockergestein aufgrund des meist erhöhten Feinanteils nicht wirtschaftlich zu hochwertigem Kiessand (ungebundene Gemische) aufbereitbar. Allenfalls sind vorgängige Eignungsprüfungen durchzuführen.

5.9. Kenntnislücken

Das Vorhandensein von Sackungsmasse entlang der Tunnelstrecke ist aus den bestehenden Unterlagen und den im Sommer 2019 zusätzlich ausgeführten kurzen Sondierbohrungen ab dem Tunnel (vgl. Kap. 4.3) nicht eindeutig erwiesen.

Grössere versackte Felspakete, wie sie in der Sackungsmasse jedoch auftreten können, wurden in den Sondierbohrungen 2019 nicht angetroffen. Deshalb wird vorsichtig davon ausgegangen, dass solche Felspakete entlang des Tunnels nicht auftreten.

Möglicherweise ist Sackungsmasse im Tunnel bei Tm 72-124 vorhanden (vgl. Anhang 2). Der übrige Tunnel verläuft mit grösster Wahrscheinlichkeit ausschliesslich in Moräne.

Besser durchlässige sandig-kiesige Linsen (fluvioglaziale Ablagerungen) bzw. Schichten im Lockergestein, die zu erheblichen bautechnischen Schwierigkeiten führen können, wurden in den Sondierbohrungen 2019 nicht angetroffen und sind nicht prognostizierbar bzw. lokalisierbar. Falls vorhanden, dürften sie sich insbesondere auf Stellen im Tunnel konzentrieren, wo bereits Wasserzutritte registriert werden.

6. BEURTEILUNG DES BAUGRUNDES ANHAND DER GEOLOGISCHEN GEFÄHRDUNGSBILDER

6.1. Allgemeines

6.2. Blöcke im Lockergestein

Blöcke im Lockergestein können den Vortrieb / Ausbruch behindern.

In der Moräne muss nicht mit grösseren Blocklagen gerechnet werden. Der Blockanteil dürfte 5-10% nicht übersteigen und die Blockgrösse maximal etwa 1 m Durchmesser erreichen.

In der Sackungsmasse, sofern solche im mittleren Abschnitt des Tunnels vorhanden ist, können grössere Blocklagen und mehrere Meter mächtige Felspakete, trotz des negativen Befundes der ausgeführten Sondierbohrungen 2019, nicht ganz ausgeschlossen werden. Der Abbau von solch grösseren Felspaketen ist sprengtechnisch wahrscheinlich am wirtschaftlichsten.

6.3. Einbruch von Lockermaterial / Niederbruch

Auf der gesamten Tunnelstrecke und insbesondere bei Wasserzutritten muss mit grossflächigen Niederbrüchen (Überprofil) gerechnet werden. Mit entsprechenden Sicherungsmassnahmen (Stahleinbau), vorausseilenden Bauhilfsmassnahmen (Rohrschirm, Spiesse, Jetting, Ortsbrustanker) sowie kurzen Ausbruchetappen können solche Niederbrüche verhindert werden.

6.4. Innere Erosion / Auswaschung / Ortsbruststabilität

Moräne und Sackungsmasse weisen hohe M_E -Werte und relativ grosse Reibungswinkel auf. Sie verhalten sich schwach bindig bis bindig. In trockenem, nicht wassergesättigtem Zustand verhalten sie sich kurzzeitig standfest. Infolge des meist hohen Silt- sowie untergeordnet Tonanteils sind sie aber wasserempfindlich. Die Festigkeit kann im Bereich von Hangwasserschichten mit erhöhten hydraulischen Gradienten zusammenbrechen (Ausspülungen, innere Erosion).

Bei kohäsionsarmen, feuchtnassen bis durchnässten Lockergesteinen wie sie im Arosertunnel vorliegen, besteht bei einer Aufweitung das Risiko von Ortsbrustinstabilitäten. Lokal können in der Moräne kohäsionslose, fluvioglaziale Sand- und/oder Kieslinsen auftreten. Zusammen mit Hangwasser können diese auslaufen und zu einer Erhöhung der Ortsbrustinstabilität bis zu einem Tagbruch führen. Bei solchen Verhältnissen sind nur kleine Ausbruchflächen ohne Stützmassnahmen stabil. Mit vorausseilenden Massnahmen (z.B. Spiesse, Rohrschirm, Jetting) kann dieses Risiko verringert werden. Die Stabilität der Ortsbrust kann zudem durch einen Spritzbetonverzug und/oder das Versetzen von Ankern in der Ortsbrust erreicht werden.

6.5. Vernässungen Sohle

Vernässungen der Sohle durch eintretendes Grund-/Hangwasser oder durch Brauchwasser sind möglichst zu vermeiden. Anfallendes Wasser muss konsequent abgeleitet werden. Kommt der gewachsene Untergrund mit Wasser in Kontakt, muss damit gerechnet werden, dass die Sohle aufweicht und die Befahrbarkeit des Tunnels mit schwerem Gerät erheblich erschwert wird.

Aufgrund der Wasserempfindlichkeit des vorliegenden Baugrundes werden aus geologischer Sicht die folgenden Massnahmen empfohlen:

- Der letzte Aushub im Sohlenbereich (ca. 0.2-0.3 m) soll erst kurz vor dem Einbau der definitiven Sohle erfolgen.
- Die definitive Aushubsohle darf auf keinen Fall mit Wasser in Kontakt kommen. Vernässungen sind zu vermeiden.
- Die definitive Aushubsohle soll nicht über längere Zeit (mehrere Tage oder Wochen) ungeschützt der feuchten Tunnelluft und dem Baustellenverkehr ausgesetzt sein.

6.6. Setzungen an Oberfläche / Tagbruch

Bei einer Aufweitung des Tunnelquerschnitts können die Ausbrucharbeiten trotz vorausseilenden Bauhilfsmassnahmen zu Setzungen an der Oberfläche führen. Materialauswaschungen während der Erstellung z.B. eines Rohrschirmes können insbesondere in den portalnahen Bereichen mit weniger als 10 m Überlagerung zu Materialdefizit oberhalb des Tunnels und damit zu Erdfällen (Tagbruch) führen.

Nach der Aufweitung müssen Setzungen durch den schnellen Einbau eines Ausbauwiderstandes verhindert werden. Praktisch auf der gesamten Länge unterquert der Arosertunnel bebautes Gebiet. Es sind vorsorgliche Bestandesaufnahmen an allen Gebäuden im Einflussbereich des Tunnels vorzunehmen. Zudem hat eine (geodätische) Überwachung während der Bauphase zu erfolgen.

6.7. Berg-/Grund-/Hangwasser

Ein zusammenhängender Grund-/Hangwasserspiegel liegt wahrscheinlich nicht vor (vgl. Kap. 5.7) oder nur temporär zu gewissen Jahreszeiten (z.B. im Frühjahr während der Schneeschmelze). Moräne und Sackungsmasse sind grundsätzlich gering durchlässig. Schichtweise weist die Moräne und in Blocklagen auch die Sackungsmasse erhöhte Durchlässigkeiten auf. Dies führt zu ständigen Wasserzutritten in den Tunnel und in diesen Bereichen zu den in den Kap. 6.2 bis Kap. 6.5 beschriebenen geotechnischen Gefährdungsbildern.

6.8. Quellen / Grundwasserschutz

In der näheren Umgebung des Arosertunnels befinden sich keine Quellen.

Eine Gefährdung der beiden 240 m östlich und 850 m südöstlich des Arosertunnels liegenden Grundwasserfassungen durch die Sanierungs-/Ausbauarbeiten wird ausgeschlossen.

Bei den geplanten Arbeiten handelt es sich um die Instandsetzung eines bestehenden Tunnels. Eine Drainagewirkung verbunden mit einer grossräumigen Absenkung des allenfalls temporär vorhandenen Grund-/Hangwasserspiegels sowie einer Beeinträchtigung von Quellen und/oder Grundwasserfassungen hätte sich bereits beim Bau des Arosertunnels eingestellt.

Im Übrigen gilt die Sorgfaltspflicht, dass Bau- und Grabarbeiten fachmännisch ausgeführt und jede Verunreinigung des Bodens vermieden wird.

6.9. Gravitative Naturgefahren

In der Naturgefahrenkarte des Kantons Graubünden [20] sind im Bereich des Arosertunnels bzw. in den Portalbereichen Gefährdungen durch die Prozesse Rutschung, Lawinen und Wasser eingezeichnet.

Arosa generell und damit der gesamte Arosertunnel liegen in der gelben Zone (geringe Gefährdung, Stufe 2) für den Prozess Rutschung. Im Tunnel selbst gibt es keine offensichtlichen Anzeichen von aktiven (differentiellen) Rutschbewegungen (vgl. Kap. 4.6).

Der Portalbereich Langwies liegt in der blauen Zone (mittlere Gefährdung, Stufe 3) für den Prozess Lawinen.

Der Portalbereich Langwies befindet sich zudem in der Zone Restgefährdung (Stufe 1) für den Prozess Wasser.

Durch den Prozess Sturz besteht beim Arosertunnel und in dessen Portalbereichen keine Gefährdung.

6.10. Erdbeben

Arosa befindet sich gemäss [11] in der Gefährdungszone Z2.

Der Arosertunnel liegt in der Baugrundklasse C (Ablagerungen von dichtem oder mitteldichtem Sand, Kies, oder steifem Ton mit einer Mächtigkeit von einigen zehn bis mehreren hundert Metern) [11].

6.11. Gasvorkommen

Aufgrund der Tatsache, dass der Arosertunnel vollständig im Lockergestein verläuft, bestehend ist und oberflächennah verläuft, ist bei der Instandsetzung mit Aufweitung nicht mit Gaszutritten zu rechnen.

Es gilt die Gasgefahrenstufe 0 nach SUVA [9]. Bei ausreichender Belüftung müssen keine Gasmessungen vorgenommen und keine weiteren Massnahmen vorgesehen werden.

6.12. Radioaktivität

In den vorliegenden (Locker-) Gesteinen wird die Gesteinsradioaktivität unterhalb der zulässigen Grenzwerte liegen. Im Arosertunnel muss nicht mit erhöhten Gesteinsradioaktivitäten gerechnet werden. Bei einer normalen Baubelüftung werden keine gesundheitsschädlichen Konzentrationen erreicht.

6.13. Radon

In Arosa wird die Wahrscheinlichkeit einer Überschreitung des Radonreferenzwertes von 300 Bq/m³ in Gebäuden mit 6 % sowie ein mittlerer Vertrauensindex angegeben [21].

Mit einer ausreichend dimensionierten Baubelüftung wird sich der Radongehalt in der Tunnelluft nicht von derjenigen der Aussenluft unterscheiden. Die Strahlungsdosis kann nur in gefangenen, während Tagen unbelüfteten Gebäuden, Stollen und Kavernen auf die Grenzwerte für Arbeitsräume ansteigen.

6.14. Altlasten

Im Kataster der belasteten Standorte des Kantons Graubünden [20] sind in der näheren Umgebung des Arosertunnels und dessen Portalbereichen keine Einträge vorhanden.

7. BAULICHE FOLGERUNGEN

7.1. Allgemeines

Die geotechnische Charakterisierung und Beurteilung des Untergrundes mit den baulichen Folgerungen und die geologischen Gefährdungsbilder aus [14] behalten weiterhin ihre Gültigkeit.

7.2. Injizierbarkeit Lockergestein

Für Ende November 2019 sind Injektionsversuche im Arosertunnel geplant. Diese Versuche werden zeigen, ob und in welchem Mass die Injizierbarkeit der vorliegenden Lockergesteine in der Realität gegeben ist. Entsprechend den Resultaten dieser Injektionsversuche sind die vorseilenden Bauhilfsmassnahmen zu planen.

7.3. Arosertunnel

Das Lockergestein (Moräne, evtl. Sackungsmasse) ist bei einer Profilaufweitung in der Regel trotz der dichten Lagerung normal abbau- bzw. baggerbar. Treten wider Erwarten lokal mächtigere Blocklagen oder versackte Felspakete auf, sind diese Bereiche erschwert baggerbar. Mit dem Abbauhammer sind solche Zonen, sofern sie lokal beschränkt sind, abbaubar. Sollten mehrere Meter mächtige Felspakete vorhanden sind, dürfte deren Abbau mittels Sprengungen wirtschaftlicher sein.

Der Blockanteil dürfte in der Moräne 5-10% nicht überschreiten. Die Blöcke sind in der Regel klein mit einem Durchmesser bis etwa 0.5 m. Vereinzelt können grössere Blöcke mit einem Durchmesser bis etwa 1 m auftreten.

Der Tunnel verläuft praktisch auf seiner gesamten Länge im Einflussbereich des Hangwassers, auch wenn nicht permanent mit einem durchgehenden Grund-/Hangwasserspiegel gerechnet wird. Insbesondere während der Schneeschmelze und/oder bei langanhaltenden Starkniederschlägen ist die Hangwasserzirkulation erhöht. Im oberen, nördlichen Abschnitt des Tunnels sind die bestehenden Wasserzutritte in den Tunnel generell höher als im unteren, südlichen Abschnitt.

Materialausbrüche und Ausschwemmungen sind in jedem Falle zu vermeiden, damit sich keine Setzungen oder Tagbrüche bilden können.

In feuchtnassen, wassergesättigten Verhältnissen und insbesondere bei Wasserzutritten (Tropf, kleine Quellen) verliert das Lockergestein rasch und vollständig seine Festigkeit und verhält sich rollig bis schwimmend/fliessend (Ausrieseln bis Ausfliessen von feuchtem bis durchnässtem, kohäsionsarmem Lockergestein).

Der Ausbruch muss bei einer Aufweitung in kurzen Etappen von maximal 1 m Länge erfolgen, damit die Verhältnisse vor Ort jederzeit beherrschbar bleiben. Entsprechende Bauhilfs- (Spiesse, Rohrschirm, Jetting, Ortsbrustanker usw.) und Sicherungsmassnahmen (z.B. Stahleinbau) sind vorzusehen.

7.4. Portalbereich Arosa

Das Portal Arosa liegt direkt unter der Seeblickstrasse. Südlich der Strasse unterquert der Tunnel in geringer Überlagerung (< 1 m ab Firste, vgl. SB1/19 im Anhang 3) ein Gebäude (Hotel Haus am Wald), das nach der Erstellung des Tunnels erbaut wurde.

Die Baugrubensicherung beim Portal Arosa sieht zur Unterquerung der Seeblickstrasse eine überschnittene Bohrpfahlwand vor. Für die Unterquerung des Hauses am Wald sind vorgängig Injektionen zur Baugrundverfestigung geplant. Das Gebäude soll auf eine Abfangkonstruktion abgestellt werden. Setzungen im Bereich der Strasse und des Gebäudes sind absolut zu vermeiden.

Vorausseilende Bauhilfsmassnahmen (z.B. Spiesse, Rohrschirm, Jetting) sind ab dem bergmännischen Portal vorzusehen.

7.5. Portalbereich Langwies

Oberhalb des Portals Langwies steigt die mit Wiese überwachsene Böschung steil zum Hotel Metropol und zur Poststrasse an. Das Gebäude des heutigen Hotels Metropol bestand beim Bau des Arosertunnels nicht. Die horizontale Entfernung ab Portal Langwies bis zum Gebäude beträgt ca. 50 m und die Höhendifferenz zur Firste des Tunnels ca. 25 m.

In unmittelbarer Nähe zum Portal befinden sich keine Gebäude und Strassen. Es sind keine speziellen Massnahmen zum Schutz von solchen vorzusehen.

Wird beim Abbruch des bestehenden Portals als Vorbereitung für die Instandsetzungs- bzw. Aufweitungsarbeiten im Tunnel ein Voreinschnitt notwendig, sind böschungsstabilisierende Massnahmen vorzusehen.

Wie beim Portal Arosa sind vorausseilende Bauhilfsmassnahmen (z.B. Spiesse, Rohrschirm, Jetting) ab dem bergmännischen Portal vorzusehen.

8. ABSCHLIESSENDE BEMERKUNGEN / EMPFEHLUNGEN

Die Instandsetzung des Arosertunnels, der bebautes Gebiet unterquert, erfolgt im Lockergestein und damit in bautechnisch anspruchsvollen Verhältnissen.

Setzungen, die bis an die Oberfläche reichen und im schlimmsten Fall zu einem Tagbruch führen können, sind durch geeignete Sicherungs- und (vorausseilende) Bauhilfsmassnahmen zu vermeiden. Insbesondere in den Streckenabschnitten mit feuchtnassem bis durchnässtem Lockergestein muss mit innerer Erosion, Auswaschung und dem Einbrechen von Lockermaterial gerechnet werden.

Eine Vernässung der Sohle mit anfallenden Grund-/Hang- oder Brauchwasser ist zu vermeiden.

Die Zusammensetzung des vorliegenden Lockergesteins (Moräne, evtl. Sackungsmasse, kiese und sandige Varietäten) ist aufgrund der bestehenden Baugrunduntersuchungen in der näheren Umgebung des Tunnels und den im Sommer 2019 durchgeführten ergänzenden Sondierbohrungen mit Siebanalysen gut bekannt. Rasch wechselnde Verhältnisse werden entlang der Tunnelstrecke nicht erwartet. Die Injizierbarkeit des Lockergesteins wird als kritisch beurteilt.

Moräne und Sackungsmasse verhalten sich geotechnisch ähnlich, mit Ausnahme von Blocklagen und Felspaketen, die in der Sackungsmasse auftreten können.

Sargans, 25. November 2019

BTG Büro für Technische Geologie AG

Th. Breitenmoser

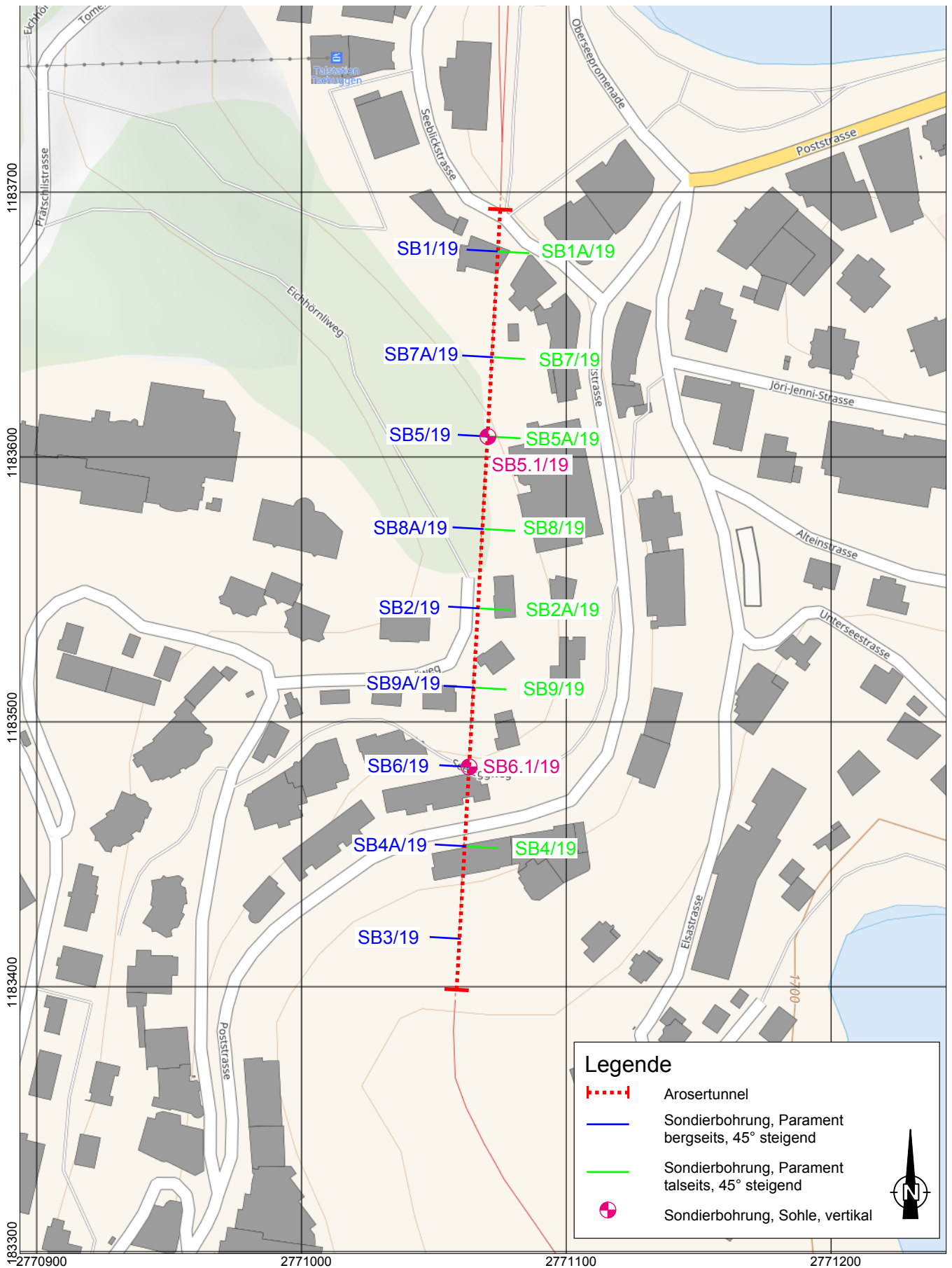
G. Glaus

Korreferat: D. Figi

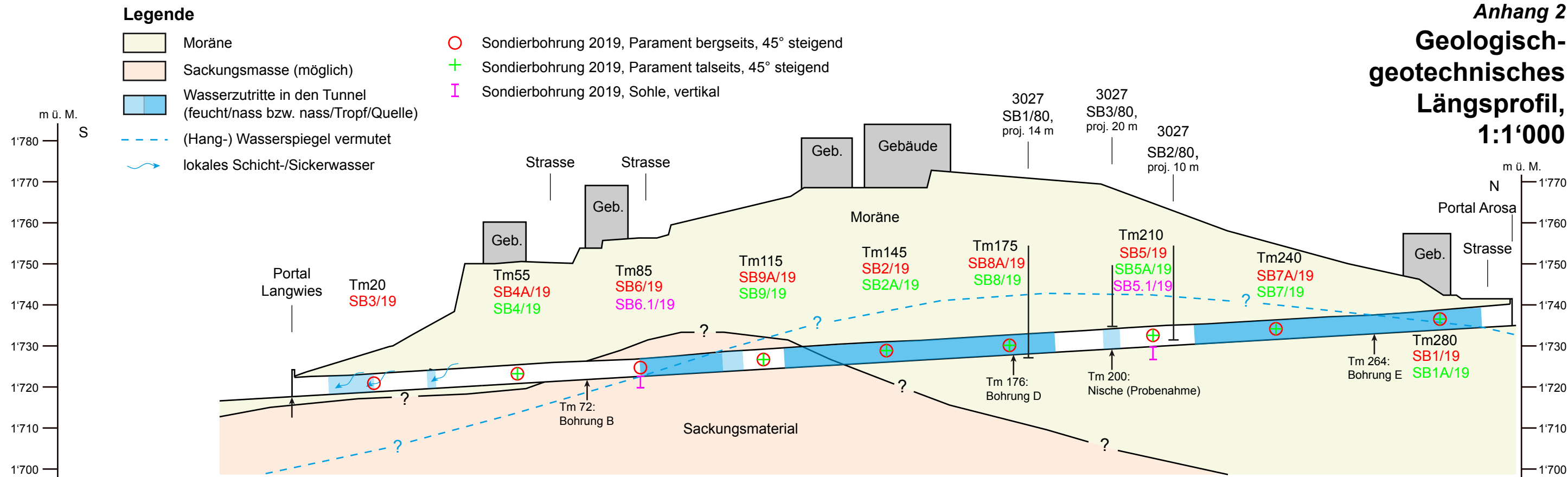
Anhang 1

Situation mit Sondierstandorten

1:2'000





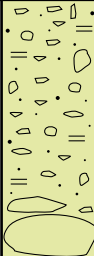
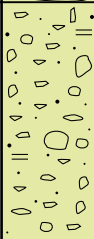
Anhang 2
Geologisch-
geotechnisches
Längsprofil,
1:1'000






Metrierung		Tm / km	0 / 25.216		72 / 25.288		124 / 25.340		299 / 25.515											
Azimut Bauwerksachse		°	3 (ab Portal Langwies)																	
Überlagerung über First		m	6		14		25		29		38		40		35		20		10	
Abschnittslänge		m	72		52		175													
Geologische Einheit / Gesteinsbeschreibung		Materialklassifikation, Kurzbezeichnung nach USCS	Moräne (inkl. lokal Linsen/Schichten von fluvioglazialen Ablagerungen)		Sackungsmasse (?)		Moräne (inkl. lokal Linsen/Schichten von fluvioglazialen Ablagerungen)													
			GC-GM, GC, GM, GW-GM, SM, SC-SM		GM, GW-GM, GC-GM, SM, SC-SM		GC-GM, GC, GM, GW-GM, SM, SC-SM													
Gestein		Lagerungsdichte, qualitativ		dicht bis sehr dicht, oberflächennah (Portalbereich Arosa) mitteldicht		mitteldicht bis dicht		dicht bis sehr dicht, oberflächennah (Portalbereich Arosa) mitteldicht												
		Zusammendrückungsmodul		MN/m2		70 (60 - 100)		40 (30 - 70)		70 (60 - 100)										
		Wiederbelastung		MN/m2		210 (180 - 300)		120(90- 210)		210 (180 - 300)										
		Feuchtraumgewicht		kN/m3		21 ± 1		21 ± 1		21 ± 1										
		Scherfestigkeit	Reibungswinkel	°		36 (34 - 38)		34 (32 - 36)		36 (34 - 38)										
			Kohäsion	kN/m2		5 (0 - 10)		2 (0 - 5)		5 (0 - 10)										
Verhalten bei Wasserzutritt		Verlust Scherfestigkeit / Auswaschen / Ausfliessen																		
Gebirge Auftreten von Steinen und Blöcken		Ø 8-15 cm		mässig bis häufig		häufig		mässig bis häufig												
		Ø 15-25 cm		mässig		häufig		mässig												
		Ø 25-70 cm		mässig		häufig		mässig												
		> 1 m³		selten		mässig bis häufig		selten												
Hydrogeologie		Durchlässigkeit, qualitativ		m/s		gering bis lokal mässig/hoch (1 x 10 ⁻⁴ bis 1 x 10 ⁻⁷)		gering bis lokal hoch (1 x 10 ⁻³ bis 1 x 10 ⁻⁷)		gering bis lokal mässig/hoch (1 x 10 ⁻⁴ bis 1 x 10 ⁻⁷)										
		Druckniveau an der Stollensohle		m		0		5		10		15		10		5		0		
Gefährdungen	Gebirge	Niederbruch / Einbruch von Lockermaterial		möglich, bei Wasserzutritten wahrscheinlich																
		Instabilität Ortsbrust		möglich, bei Wasserzutritten wahrscheinlich																
		Setzungen an Oberfläche		möglich																
	Wasser	Tagbruch		möglich		wenig wahrscheinlich								möglich						
		Innere Erosion / Auswaschung		möglich, bei Wasserzutritten wahrscheinlich																
		Beeinträchtigung von Oberflächengew. und Quelfassungen		möglich																
	über Tag	Hochwasser, Überflutung, Murgang		—möglich		-								unwahrscheinlich						
		Lawinen, Eissturz		—möglich		-								unwahrscheinlich						
Beurteilung Norm SIA 198		Ausbruchart		Bagger / Abbauhammer / maschinenunterstützter Lockergesteinsvortrieb																
		Ausbruchsicherung		Stahleinbau, Anker, Netze, Spritzbeton (im Detail zu definieren)																
		Bauhilfsmassnahmen		vorausseilend (z.B. Spiesse, Rohrschirm, Ortsbrustanker)																
Prognosegenauigkeit				mässig bis gut (Auftreten von Sackugnsmasse bzw. allfällige Grenze Sackungsmasse / Moräne nicht bekannt, Bergwasserspiegel nicht bekannt)																



**Bohrprofile
Sondierbohrungen 2019
1:50**

Objekt: Instandsetzung Arosertunnel	Bericht Nr.: 5724-4	Anhang Nr.: 3a
Bohrung Nr.: 3 (45° steigend), Tm20	Bohrfirma: Otto Bohr AG, Thusis	
Bauherr: Rhätische Bahn AG, Chur	Bohrung ausgeführt: 23.8.2019	Massstab: 1:50
Bauleitung: BTG Büro für Technische Geologie AG	Profil aufgenommen durch/Datum: gla/11.09.2019	



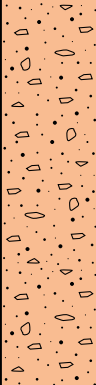
Bohrart Verrohrung		Bohrlochtiefe (m)	Geologisches Profil	Bohrung SB3/19 (Tm 20, Parament bergseits)	Geologische Interpretation	Bemerkungen
				Beschreibung des aufgeschlossenen Bohrgutes		
Rotationskernbohrung Ø 139 mm (DK)		0.4		Blöcke (Dolomit und grüner Gneis) mit Mörtelfugen	Mauerwerk	
		0.6		Kies, sandig; Komponenten: kantig (polymikt: Dolomit, Serpentin, grüner Gneis); feucht; Fremdkomponente: Mörtelfragment; grau	Hinterfüllung	
		2.3		Kies, sandig, siltig, wenig Steine (Ø < 10 cm); Komponenten: kanten- bis angerundet (polymikt: Dolomit, grüner Gneis, Serpentin, Tonschiefer, sandiger Kalk); feuchtnass; grünlich grau 1.9 - 2.0 m: Block (Serpentin) 2.0 - 2.3 m: Block (Quarzporphyr)	Moräne	
		3.9		Kies, sandig, schwach siltig, wenig Steine (Ø < 7 cm); Komponenten: kantig bis angerundet (polymikt: siehe 0.6 - 2.3 m); trocken; grünlich bis rötlich grau ab 3.3 m: feucht		



Objekt: Instandsetzung Arosertunnel	Bericht Nr.: 5724-4	Anhang Nr.: 3b
Bohrung Nr.: 4, 4A (45° steigend), Tm55	Bohrfirma: Otto Bohr AG, Thusis	
Bauherr: Rhätische Bahn AG, Chur	Bohrung ausgeführt: 28.8. + 4.9.2019	Massstab: 1:50
Bauleitung: BTG Büro für Technische Geologie AG	Profil aufgenommen durch/Datum: gla/11.09.2019	

Bohrt Verrohrung	Bohrlochtiefe (m)	Geologisches Profil	Bohrung SB4/19 (Tm 55, Parament talseits)	Geologische Interpretation	Bemerkungen
			Beschreibung des aufgeschlossenen Bohrgutes		
Rotationskernbohrung Ø 139 mm (DK)	0.6		Blöcke (Dolomit und grüner Gneis) mit Mörtelfugen	Mauerwerk	Grenze von Hinterfüllung zu Moräne unsicher, evtl. bei 1.5 m, da ab 1.5 m Siltgehalt zunimmt
	1.5		Kies, sandig, lokal schwach siltig; Komponenten: kanten- bis angerundet (polymikt: Dolomit, Serpentin, Tonschiefer, grüner Gneis); feuchtnass; Fremdkomponente: Mörtelfragment; grünlich grau 1.3 - 1.5 m: Block zerbohrt (Serpentin)	Hinterfüllung ?	
	3.5		Kies, sandig, siltig, wenig Steine (Ø < 8 cm); Komponenten: kanten- bis angerundet (polymikt: Dolomit, Serpentin, Tonschiefer, grüner Gneis); feucht; grünlich grau 2.0 - 2.2 m: Block (kalkiger Sandstein) 2.2 - 3.2 m: schwach siltig	Moräne	


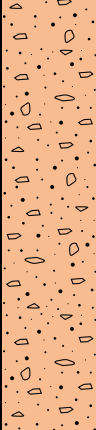
Bohrt Verrohrung	Bohrlochtiefe (m)	Geologisches Profil	Bohrung SB4A/19 (Tm 55, Parament bergseits)	Geologische Interpretation	Bemerkungen
			Beschreibung des aufgeschlossenen Bohrgutes		
Rotationskernbohrung Ø 139 mm (DK)	0.8		Blöcke (Dolomit) mit Mörtelfugen	Mauerwerk	Hinterfüllung nicht erkennbar, evtl. ähnlich wie bei SB4
	2.5		Kies, sandig, siltig, reichlich Steine (Ø < 8 cm); Komponenten: kantig bis angerundet (polymikt: Dolomit, Serpentin, Tonschiefer, grüner Gneis); feucht bis feuchtnass; grünlich grau 1.2 - 1.3 m: Block (grüner Gneis) ab 2.0 m: trocken	Moräne	



Objekt: Instandsetzung Arosertunnel	Bericht Nr.: 5724-4	Anhang Nr.: 3c
Bohrung Nr.: 6 (45° steigend), 6.1 (vertikal), Tm85	Bohrfirma: Otto Bohr AG, Thusis	
Bauherr: Rhätische Bahn AG, Chur	Bohrung ausgeführt: 22. + 30.8.2019	Massstab: 1:50
Bauleitung: BTG Büro für Technische Geologie AG	Profil aufgenommen durch/Datum: gla/11.09.2019	

Bohrart Verrohrung	Bohrlochtiefe (m)	Geologisches Profil	Bohrung SB6/19 (Tm 85, Parament bergseits)	Geologische Interpretation	Bemerkungen
			Beschreibung des aufgeschlossenen Bohrgutes		
Rotationskernbohrung Ø 139mm (DK)	0.6		Blöcke (grüner Gneis und Sandstein) mit Mörtelfugen	Mauerwerk	
	0.9		Sand, fein- bis mittelkiesig; Komponenten: kantig bis kantengerundet (polymikt: Serpentin, Sandstein); feucht; Fremdkomponenten: Mörtelfragment, Holz; dunkelgrün	Hinterfüllung	
	3.5		bei ca. 0.8 m: Holz (Marciavanti) Sand, fein- bis mittelkiesig; Komponenten: kantig (monomikt: Serpentin); feucht, dunkelgrün	Moräne / Sackungsmasse ?	



Bohrart Verrohrung	Bohrlochtiefe (m)	Geologisches Profil	Bohrung SB6.1/19 (Tm 85, Sohle)	Geologische Interpretation	Bemerkungen
			Beschreibung des aufgeschlossenen Bohrgutes		
Rotationskern- bohrung Ø k.A. (DK)	0.3		Fehlender Kern (Probe UBB für Schwermetallanalyse)	künstliche Auffüllung	Bohrgut in Kernkiste von 0.5 m auf 1.4 m verteilt durch Transport (siehe Fotodokumentation)
	1.0		Gemisch aus: Material siehe SB6/19 0.9 - 3.5 m und Kies sandig, schwach siltig; Komponenten: kantig bis gerundet (polymikt: Dol., Serp., Ts.); feucht; rötlich grau		



Objekt: Instandsetzung Arosertunnel	Bericht Nr.: 5724-4	Anhang Nr.: 3d
Bohrung Nr.: 9, 9A (45° steigend), Tm115	Bohrfirma: Otto Bohr AG, Thusis	
Bauherr: Rhätische Bahn AG, Chur	Bohrung ausgeführt: 29.8. + 3.9.2019	Massstab: 1:50
Bauleitung: BTG Büro für Technische Geologie AG	Profil aufgenommen durch/Datum: gla/11.09.2019	

Bohrart Verrohrung	Bohrlochtiefe (m)	Geologisches Profil	Bohrung SB9/19 (Tm 115, Parament talseits)	Geologische Interpretation	Bemerkungen
			Beschreibung des aufgeschlossenen Bohrgutes		
Rotationskernbohrung Ø 139mm (HK)	0.6		Blöcke (Dolomit) mit Mörtelfugen	Mauerwerk	Hinterfüllung nicht erkennbar
	3.5		Sand, fein- bis mittelkiesig; Komponenten: kantig (monomikt: Serpentin); feucht; dunkelgrün 1.4 - 3.5 m: schwach siltig	Moräne / Sackungsmasse ?	



Bohrart Verrohrung	Bohrlochtiefe (m)	Geologisches Profil	Bohrung SB9A/19 (Tm 115, Parament bergseits)	Geologische Interpretation	Bemerkungen
			Beschreibung des aufgeschlossenen Bohrgutes		
Rotationskernbohrung Ø 139mm (HK)	0.7		Blöcke (Dolomit und grüner Gneis) mit Mörtelfugen	Mauerwerk	Hinterfüllung nicht erkennbar
	2.5		Sand, fein- bis mittelkiesig; Komponenten: kantig (monomikt: Serpentin); feucht; dunkelgrün	Moräne / Sackungsmasse?	


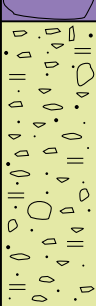
Objekt: Instandsetzung Arosertunnel	Bericht Nr.: 5724-4	Anhang Nr.: 3e
Bohrung Nr.: 2, 2A (45° steigend), Tm145	Bohrfirma: Otto Bohr AG, Thusis	
Bauherr: Rhätische Bahn AG, Chur	Bohrung ausgeführt: 23.8. + 5.9.2019	Massstab: 1:50
Bauleitung: BTG Büro für Technische Geologie AG	Profil aufgenommen durch/Datum: gla/11.09.2019	

Bohrt Verrohrung	Bohrlochtiefe (m)	Geologisches Profil	Bohrung SB2/19 (Tm 145, Parament bergseits)	Geologische Interpretation	Bemerkungen
			Beschreibung des aufgeschlossenen Bohrgutes		
Rotationskernbohrung Ø 139 mm (DK)	0.6		Blöcke (Dolomit) mit Mörtelfugen	Mauerwerk	
	0.8		Siehe 0.8 - 3.5 m bei 0.8 m: Holz (Marciavanti)	Hinterfüllung	
	3.5		Kies, sandig, wenig Steine (Ø < 8 cm); Komponenten: kantig bis kantengerundet (vorwiegend Dolomit, verein- zelt grüner Gneis); feucht; beigegrau 2.0 - 3.2 m: trocken	Moräne	

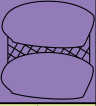

Bohrt Verrohrung	Bohrlochtiefe (m)	Geologisches Profil	Bohrung SB2A/19 (Tm 145, Parament talseits)	Geologische Interpretation	Bemerkungen
			Beschreibung des aufgeschlossenen Bohrgutes		
Rotationskernbohrung Ø 139 mm (DK)	0.4		Blöcke (Dolomit) mit Mörtelfugen	Mauerwerk	
	0.8		Siehe 0.8 - 2.5 m; Fremdkomponenten: Mörtelfragmente bei 0.8 m: Holz (Marciavanti)	Hinterfüllung	
	2.5		Kies, sandig wenig Steine (Ø < 8 cm); Komponenten: kantig bis kantengerundet (vorwiegend Dolomit, verein- zelt grüner Gneis); feucht; beigegrau 1.2 - 1.4 m: Block Ø = ca. 30 cm (Dolomit)	Moräne	

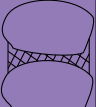

Objekt: Instandsetzung Arosertunnel	Bericht Nr.: 5724-4	Anhang Nr.: 3f
Bohrung Nr.: 8, 8A (45° steigend), Tm175	Bohrfirma: Otto Bohr AG, Thusis	
Bauherr: Rhätische Bahn AG, Chur	Bohrung ausgeführt: 29.8. + 1.9.2019	Massstab: 1:50
Bauleitung: BTG Büro für Technische Geologie AG	Profil aufgenommen durch/Datum: gla/11.09.2019	

Bohrart Verrohrung	Bohrlochtiefe (m)	Geologisches Profil	Bohrung SB8/19 (Tm 175, Parament talseits)	Geologische Interpretation	Bemerkungen
			Beschreibung des aufgeschlossenen Bohrgutes		
Rotationskernbohrung Ø 139mm (HK)	0.6		Blöcke (Dolomit) mit Mörtelfugen	Mauerwerk	Hinterfüllung nicht erkennbar
	3.5		Kies, sandig, siltig, wenig Steine (Ø < 10 cm); Komponenten: kantig bis kantengerundet (monomikt: Tonschiefer); feucht bis feuchtnass; dunkelgrau 2.6 - 2.7 m: Block Ø = ca. 20 cm (Tonschiefer)	Moräne	

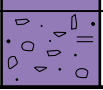
Bohrart Verrohrung	Bohrlochtiefe (m)	Geologisches Profil	Bohrung SB8A/19 (Tm 175, Parament bergseits)	Geologische Interpretation	Bemerkungen
			Beschreibung des aufgeschlossenen Bohrgutes		
Rotationskernbohrung Ø 139mm (HK)	0.6		Blöcke (Dolomit und Quarzporphyr) mit Mörtelfugen	Mauerwerk	Hinterfüllung nicht erkennbar
	2.5		Kies, sandig, siltig, wenig Steine (Ø < 10 cm); Komponenten: kantig bis kantengerundet (monomikt: Tonschiefer); feucht; dunkelgrau 2.2 - 2.4 m: feuchtnass	Moräne	

Objekt: Insandsetzung Arosertunnel	Bericht Nr.: 5724-4	Anhang Nr.: 3g
Bohrung Nr.: 5, 5A (45° steigend), Tm210	Bohrfirma: Otto Bohr AG, Thusis	
Bauherr: Rhätische Bahn AG, Chur	Bohrung ausgeführt: 22.8. + 5.9.2019	Massstab: 1:50
Bauleitung: BTG Büro für Technische Geologie AG	Profil aufgenommen durch/Datum: gla/11.09.2019	

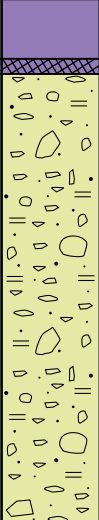
Bohrart Verrohrung	Bohrlochtiefe (m)	Geologisches Profil	Bohrung SB5/19 (Tm 210, Parament bergseits)	Geologische Interpretation	Bemerkungen
			Beschreibung des aufgeschlossenen Bohrgutes		
Rotationskernbohrung Ø 139mm (HK)	Ø 139mm (DK)		Blöcke (Dolomit) mit Mörtelfugen	Mauerwerk	Hinterfüllung nicht erkennbar
	0.7		Kies, sandig, lokal schwach siltig, reichlich Steine (Ø < 12 cm); Komponenten: kanten- bis angerundet (polymikt: Dolomit, Tonschiefer, grüner Gneis, Serpenti- nit); feucht; grünlich grau 1.3 - 2.0 m: feuchtnass ab 2.0 m: trocken	Moräne	
	3.5				

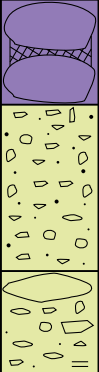
Bohrart Verrohrung	Bohrlochtiefe (m)	Geologisches Profil	Bohrung SB5A/19 (Tm 210, Parament talseits)	Geologische Interpretation	Bemerkungen
			Beschreibung des aufgeschlossenen Bohrgutes		
Rotationskernbohrung Ø 139mm (HK)	Ø 139mm (DK)		Blöcke (Dolomit) mit Mörtelfugen	Mauerwerk	Hinterfüllung nicht erkennbar
	0.8		Kies, sandig, schwach siltig, wenig Steine (Ø < 8 cm); Komponenten: kanten- bis angerundet (polymikt: Dolo- mit, Tonschiefer, grüner Gneis, Serpentin); feuchtnass; grünlich grau 1.0 - 1.2 m: nass	Moräne	
	2.5				

Objekt: Instandsetzung Arosertunnel	Bericht Nr.: 5724-4	Anhang Nr.: 3h
Bohrung Nr.: 5.1 (vertikal), Tm 210	Bohrfirma: Otto Bohr AG, Thusis	
Bauherr: Rhätische Bahn AG, Chur	Bohrung ausgeführt: 30.08.2019	Massstab: 1:50
Bauleitung: BTG Büro für Technische Geologie AG	Profil aufgenommen durch/Datum: gla/11.09.2019	

Bohrart Verrohrung	Bohrlochtiefe (m)	Geologisches Profil	Bohrung SB5.1/19 (Tm 210, Sohle)	Geologische Interpretation	Bemerkungen
			Beschreibung des aufgeschlossenen Bohrgutes		
Rotationskern- bohrung Ø k.A. (DK)	0.5		Fehlender Kern (Probe UBB für Schwermetallanalyse)	künstliche Auffüllung	
	1.0		Kies, sandig, schwach siltig; Komponenten: kantig bis gerundet (polymikt: Dolomit, Serpentin, Tonschiefer); feuchtnass bis nass; Fremdkomponenten: Betonfragmente; rötlichgrau		

Objekt: Instandsetzung Arosertunnel	Bericht Nr.: 5724-4	Anhang Nr.: 3i
Bohrung Nr.: 7, 7A (45° steigend), Tm240	Bohrfirma: Otto Bohr AG, Thusis	
Bauherr: Rhätische Bahn AG, Chur	Bohrung ausgeführt: 27.8. + 1.9.2019	Massstab: 1:50
Bauleitung: BTG Büro für Technische Geologie AG	Profil aufgenommen durch/Datum: gla/11.09.2019	

Bohrart Verrohrung	Bohrlochtiefe (m)	Geologisches Profil	Bohrung SB7/19 (Tm 240, Parament talseits)	Geologische Interpretation	Bemerkungen
			Beschreibung des aufgeschlossenen Bohrgutes		
Rotationskernbohrung Ø 139mm (HK)	0.4 0.5		Fehlender Kern (Probe UBB für Schwermetallanalyse)	Mauerwerk	Hinterfüllung nicht erkennbar
	3.5		Block (Mörtel) Kies, sandig, siltig, reichlich Steine (Ø < 12 cm); Komponenten: kanten- bis angerundet (polymikt: Dolomit, Tonschiefer, grüner Gneis, Serpentin); feucht; grünlich grau 0.8 - 1.4 m: schwach siltig 1.8 - 1.9 m: stark siltig ab 3.3 m: feuchtnass	Moräne	

Bohrt Verrohrung	Bohrlochtiefe (m)	Geologisches Profil	Bohrung SB7A/19 (Tm 240, Parament bergseits)	Geologische Interpretation	Bemerkungen
			Beschreibung des aufgeschlossenen Bohrgutes		
Rotationskernbohrung Ø 139 mm (DK)	0.7		Blöcke (grüner Gneis) mit Mörtelfugen	Mauerwerk	dichter gelagert als bei 0.7 - 1.8 m
	1.8		Kies, sandig; Komponenten: kantig bis kantengerundet (Dolomit, Tonschiefer, grüner Gneis, Serpentin); feucht bis feuchtnass; grünlich grau ab 1.5 m: schwach siltig	Hinterfüllung	
	2.5		Kies, sandig, schwach siltig, wenig Steine (Ø < 10 cm); Komponenten: kantig bis kantengerundet (Dolomit, Tonschiefer, grüner Gneis, Serpentin); feucht; grünlich grau 1.8 - 2.0 m: Block (Radiolarit)	Moräne	

Objekt: Instandsetzung Arosertunnel	Bericht Nr.: 5724-4	Anhang Nr.: 3j
Bohrung Nr.: 1, 1A (20° steigend), Tm280	Bohrfirma: Otto Bohr AG, Thusis	
Bauherr: Rhätische Bahn AG, Chur	Bohrung ausgeführt: 26.8. + 4.9.2019	Massstab: 1:50
Bauleitung: BTG Büro für Technische Geologie AG	Profil aufgenommen durch/Datum: gla/11.09.2019	

Bohrart Verrohrung	Bohrlochtiefe (m)	Geologisches Profil	Bohrung SB1/19 (ca. Tm 280, Parament bergseits)	Geologische Interpretation	Bemerkungen
			Beschreibung des aufgeschlossenen Bohrgutes		
Rotationskernbohrung	Ø 139 mm (DK)		Fehlender Kern (Probe UBB für Schwermetallanalyse)	Mauerwerk	dichter gelagert als bei 0.7 - 1.4 m
	0.4				
	0.7		Block (Granit)		
	1.2		Kies, sandig, siltig; Komponenten: kantig bis angerundet (polymikt: Tonschiefer, Sandstein, Dolomit, Serpentin, Kristallin); feucht; grünlich grau	Hinterfüllung	
	1.4		Kies, sandig; Komponenten: kanten- bis angerundet (polymikt: Dolomit, Tonschiefer, Ziegelstein); feucht; grau		
			Kern besteh zu 50 % aus Block (Dolomit)	Moräne	
Ø 139 mm (DK)	2.7		Kies, sandig, siltig; Komponenten: kanten- bis angerundet (polymikt: Dolomit, Tonschiefer, Serpentin, Sandstein, Kristallin); feucht; grau		
	3.2		Block (Beton)	Fundament Haus	

Bohrart Verrohrung	Bohrlochtiefe (m)	Geologisches Profil	Bohrung SB1A/19 (ca. Tm 280, Parament talseits)	Geologische Interpretation	Bemerkungen
			Beschreibung des aufgeschlossenen Bohrgutes		
Rotationskernbohrung	Ø k.A. (DK)		Blöcke (Dolomit, grüner Gneis) mit Mörtelfugen	Mauerwerk	
	0.6				
Ø k.A. (HK)			Kies, sandig, schwach siltig; Komponenten: kantig bis angerundet (polymikt: Dolomit, Tonschiefer, Serpentin, Kristallin); feucht; grünlich grau	Hinterfüllung	
	2.5		ab 1.5 m: reichlich Steine (Ø < 10 cm) bei 2.6 m: Fremdkomponenten: Betonfragment, Nagel		

Zusammenstellung Siebanalysen und N-Kriterium

Anhang 4.1 Laboranalysen 1971 - 2019 Kornverteilung und Konsistenz

Siebanalysen

Kornfraktion	Einheit [mm]	Proben (inkl. zugehörige Berichtsnummer)																					
		Nische Tm 200 aus 5724-1 [%]	P1 aus BG84652 [%]	P2 aus BG84652 [%]	P3 aus BG84652 [%]	P4 aus BG84652 [%]	M aus 4288 [%]*	1884 aus 3027 [%]	1885 aus 3027 [%]	1886 aus 3027 [%]	1887 aus 3027 [%]	1852 aus 2863 [%]	1853 aus 2863 [%]	1854 aus 2863 [%]	1768 aus 2513 [%]	1669 aus 2513 [%]	1770 aus 2513 [%]	1771 aus 2513 [%]	SB3/19 aus 5724-4 [%]	SB4/19 aus 5724-4 [%]	SB7/19 aus 5724-4 [%]	SB9/19 aus 5724-4 [%]	SB2/19 aus 5724-4 [%]
Datum Bericht		2016	1985				1994	1980				1979				1977				2019			
Max. Korn Ø	-	50	27	38	45	27		65	45	60	70	35	40	40	80	40	30	38	55	60	59	40	42
Kies	2 - 60	55.3	22.6	25.7	24.4	17.1	12	54	44	46	52	45.2	19.9	24.5	48	17	50	30	40.9	39.5	39.3	41.1	54.9
Sand	0.06 - 2	26.4	39.7	39.6	39.3	40.9	38	27	24	25	29	26.8	48.1	32.5	21	20.5	32	26	27.0	32.3	26.7	42.9	30.0
Silt	0.002 - 0.06	13.3	23.2	21.1	22.7	25.6	45	15	20	21	13	19.5	19.5	28	16	42.5	11	29	20.7	18.1	22.3	13.3	10.9
Ton	< 0.002	5	14.5	13.6	13.6	16.4	5	4	12	8	6	8.5	12.5	15	7	20	7	15	11.4	10.1	11.7	2.7	4.2
USCS-Klassi-fikation (Labor)	-	GC-GM	SC (alt: SC-CL)				SM (SM-ML) bis GM (GM-ML)	GC-GM	GC		GC-GM	GC	SC		GM	ML	GM	GC				SM	GC-GM
Geologische Identifikation	-	Moräne										Sackungsmasse?			Moräne							Sackungs- masse?	Moräne
Wassergehalt	[%]	6.7	19.7	18.6	14.2	17.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.9	7.6	6.8	9.2	3.3
Flie遶grenze	W _L [%]	17.9	22.2	21.8	22.5	21.6	-	17.2	22.7	20	18.8	27.2	28	25.2	-	-	-	-	21.4	21.4	19.8	-	18.5
Ausrollgrenze	W _p [%]	13.1	11.5	11.8	12	12.2	-	13.3	12.7	12.7	13.2	12.9	11.8	13.2	-	-	-	-	13.9	13.2	12.4	-	12.5
Plastizitätsindex	I _p = W _L – W _p [%]	4.8	10.7	10	10.5	9.4	-	3.9	10	7.3	5.6	14.3	17.2	12	-	-	-	-	7.5	8.2	7.4	-	6
Bezeichnung Plastizität	-	wenig platisch	plastisch	ziemlich plastisch bis plastisch	plastisch	ziemlich plastisch	nicht plastisch	nicht plastisch	ziemlich plastisch bis plastisch	ziemlich plastisch	wenig plastisch	plastisch			-	-	-	-	ziemlich plastisch			nicht plastisch	wenig plastisch

Zusammenfassung Kornverteilung

Mittelwert, Maximum und Minimum für Moräne								
	G (kiesig)			S (sandig)			M (siltig)	
	Anzahl Proben: 12			Anzahl Proben: 5			Anzahl Proben: 1	
	Ø	max	min	Ø	max	min	Ø	max
Kies	46.2	55	30	20.4	26	12	17.0	
Sand	27.2	32	21	39.50	41	27	20.50	
Silt	17.5	29	11	27.52	45	15	42.50	
Ton	8.5	15	4	12.6	16	4	20.0	
Summe	99.3			100.0			100.0	

Mittelwert, Maximum und Minimum für Sackungsmasse						
	G (kiesig)			S (sandig)		
	Anzahl Proben: 1			Anzahl Proben: 3		
	Ø	max	min	Ø	max	min
Kies	45.2			29	41	20
Sand	26.8			41	48	33
Silt	19.50			20	28	13
Ton	8.50			10	15	3
Summe	100.0			100		

Zusammenfassung Konsistenz

Zusammenfassung Konstante		Mittelwert				
		Moräne			Sackungsmasse	
		kiesig	sandig	siltig	kiesig	sandig
Anzahl Proben		9	4	1	1	3
Wassergehalt	[%]	6.5	17.5	-	-	9.2
Flie遶grenze	W _L [%]	19.7	22.0	-	27.2	26.6
Ausrollgrenze	W _p [%]	13.0	11.9	-	12.9	12.5
Plastizitätsindex	I _p = W _L - W _p [%]	6.7	10.2	-	14.3	14.6
Bezeichnung Plastizität	-	wenig plastisch	ziemlich plastisch	nicht plastisch	plastisch	plastisch

Anhang 4.2

Auswertung N-Kriterium Proben 2019

N-Kriterium (D15/d85)

Injektionsmittel	d85 [mm]
CEM I 32.5	0.043
CEM I 42.5	0.025
CEM I 52.5	0.02
Feinstbindemittel1	0.016
Feinstbindemittel2	0.006

Mitchell (1970)	
N < 11	nicht injizierbar
11 < N < 24	zu prüfen
N > 24	injizierbar

N-Werte Proben 2019

Probe	Typ	D15 [mm]	N-Wert (CEM I 32.5)	N-Wert (CEM I 42.5)	N-Wert (CEM I 52.5)	N-Wert (Feinst-bindemittel1)	N-Wert (Feinstbindemittel2)
SB3/19 Tm20	Moräne, kiesig	0.004	0.1	0.2	0.2	0.3	0.7
SB4/19 Tm55	Moräne, kiesig	0.007	0.2	0.3	0.4	0.4	1.2
SB2/19 Tm145	Moräne, kiesig	0.077	1.8	3.1	3.9	4.8	12.8
SB7/19 Tm240	Moräne, kiesig	0.003	0.1	0.1	0.2	0.2	0.5
SB9/19 Tm115	Sackungsmasse, sandig	0.067	1.6	2.7	3.4	4.2	11.2

Ø N-Werte Proben 1977-2019

Probe	Typ	D15 [mm]	N-Wert (CEM I 32.5)	N-Wert (CEM I 42.5)	N-Wert (CEM I 52.5)	N-Wert (Feinst-bindemittel1)	N-Wert (Feinstbindemittel2)
-	Moräne kiesig	-	0.5	0.8	1.0	1.3	3.5
-	Moräne sandig	-	0.2	0.3	0.4	0.5	1.2
-	Moräne siltig	-	0.0	0.1	0.1	0.1	0.3
-	Sackungsmasse kiesig	-	0.2	0.3	0.4	0.5	1.3
-	Sackungsmasse sandig	-	0.6	1.0	1.2	1.5	4.1

Prüfberichte Bodenmechanik Lockergestein, Geo-Bau-Labor

Kunden-Nr. 2535
Rhätische Bahn - Kreditoren
Bahnhofstrasse 25
7002 Chur

Auftrags-Nr. **19357-1**
Berichtsdatum 27.09.2019
Berichtsversion Vers_01

Prüfbericht Eigenschaften von Rohmaterial und Böden

Zusammenstellung der Resultate

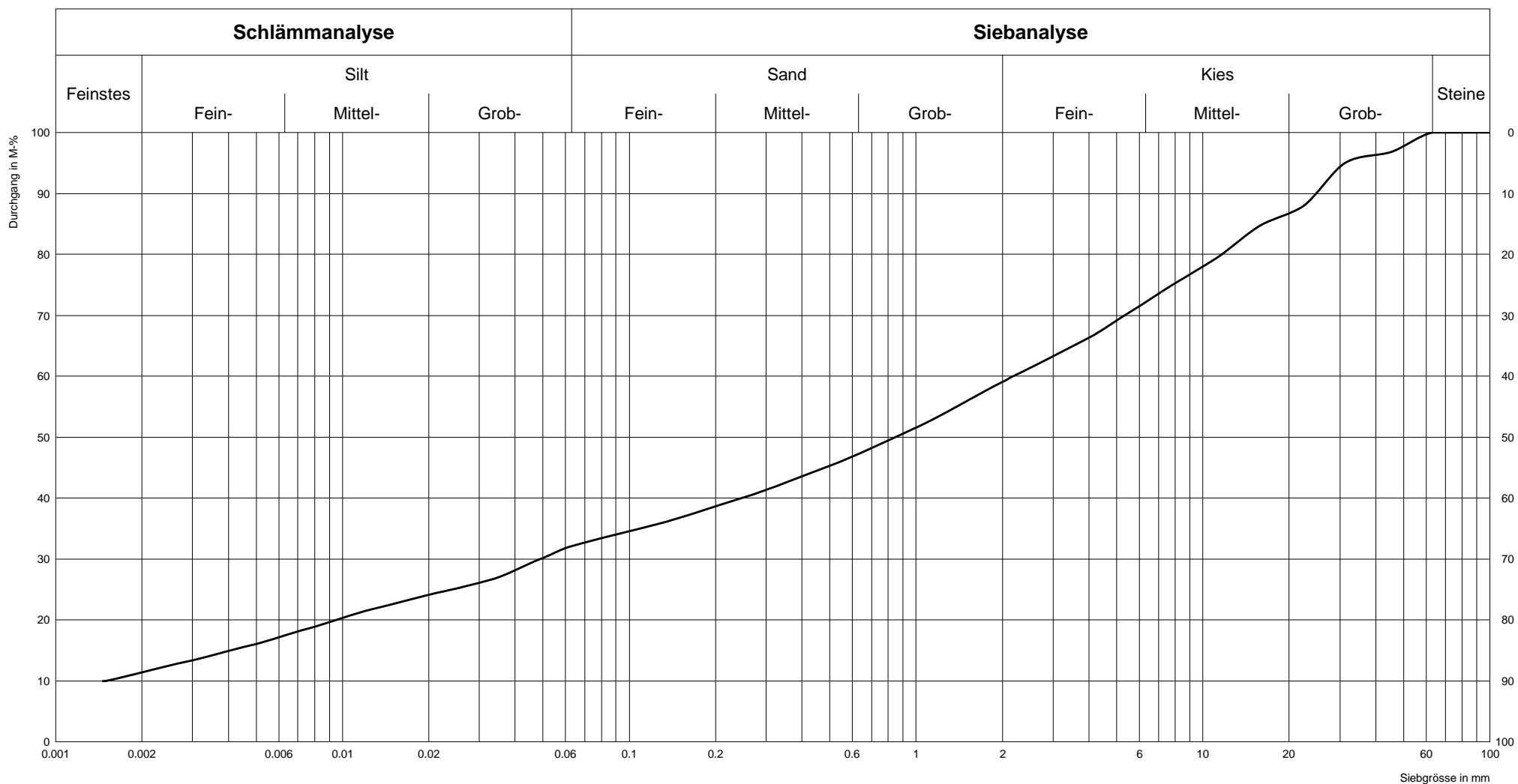
Korngrößenverteilung nach SN EN 933-1 und SN 670 816a			
Probenbezeichnung	SB3 Tunnelmeter 20		
Probennummer	19-2232		
Probennummer extern	P1		
Objekt	Sondierbohrungen		
Probenahmedatum	11.09.2019	Dichte Feststoffsubst [Mg/m³]	2.76
Probenehmer	Auftragerteiler	Maximale Korngrösse [mm]	55
Prüfdatum	23.09.2019	Siebverfahren	Nass
Entnahmestelle	SB3	Masse der Probe [g]	10030.0
Tiefe	2.7 - 3.5m	Wassergehalt [M-%]	7.9
Art der Entnahme	--	Bewertungsgrundlage	--
Siebanalyse (SN EN 933-1)		Charakteristische Korndurchmesser	
Sieb [mm]	Siebdurchgang [M-%]	Siebdurchgang bei x-M%	Korngrösse [mm]
90		D10	0.001
63	100.0	D15	0.004
45	96.7	D20	0.009
31.5	95.1	D25	0.024
22.4	87.9	D30	0.049
16	84.8	D50	0.849
11.2	79.5	D60	2.182
8	75.3	D80	11.637
5.6	70.6	D85	16.281
4	66.3	Krümmungszahl	
2	59.1	Cc	0.74
1	51.6	Ungleichförmigkeitsgrad	
0.5	45.3	Cu	1466.71
0.25	40.1	Berechnete Sieb- und Schlämmwerte	
0.125	35.7	Fraktion	[M-%]
0.063	32.1	<0.0200	24.1
0		<0.0063	17.5
Schlämmanalyse (SN 670 816a)		<0.0020	11.4
Sieb [mm]	Schlämmwerte [M-% < d]	Konsistenz nach Atterberg	
0.0626	30.6	Flie遟renze wL	21.4%
0.0454	28.6	Ausrollgrenze wP	13.9%
0.0329	26.6	Plastizitätsindex Ip	7.5%
0.0214	24.5	USCS Klassifikation (SN 670 004-2b-NA)	
0.0127	21.8	GC - Toniger Kies mit Sand	
0.0076	18.6	Reibungswinkel (Phi'0) nach Dhawan	
0.0048	15.8	nicht korrigierter Wert (°)	--
0.0028	13.1	Frostempfindlichkeitsklasse	
0.0015	10.0	Wert	--

Kunden-Nr. 2535
Rhätische Bahn - Kreditoren
Bahnhofstrasse 25
7002 Chur

Auftrags-Nr. **19357-1**
Berichtsdatum 27.09.2019
Berichtsversion Vers_01

SB3 Tunnelmeter 20, SB3 2.7 -3.5m

19-2232



Kunden-Nr. 2535
Rhätische Bahn - Kreditoren
Bahnhofstrasse 25
7002 Chur

Auftrags-Nr. **19357-1**
Berichtsdatum 27.09.2019
Berichtsversion Vers_01

Prüfbericht Eigenschaften von Rohmaterial und Böden

Zusammenstellung der Resultate

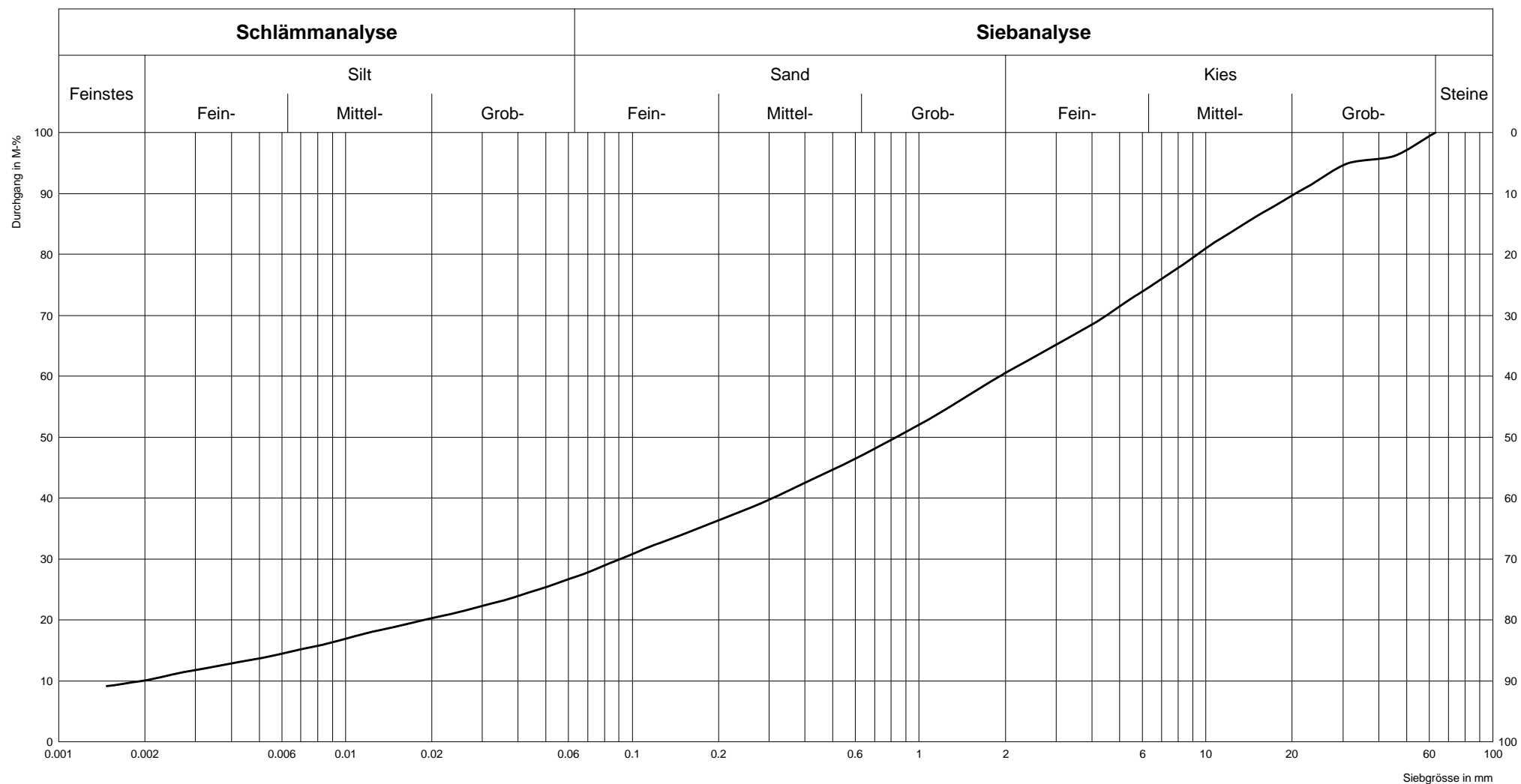
Korngrössenverteilung nach SN EN 933-1 und SN 670 816a			
Probenbezeichnung		SB4 Tunnelmeter 55	
Probennummer	19-2233		
Probennummer extern	P2		
Objekt	Sondierbohrungen		
Probenahmedatum	11.09.2019	Dichte Feststoffsubst [Mg/m³]	2.76
Probenehmer	Auftragerteiler	Maximale Korngrösse [mm]	60
Prüfdatum	23.09.2019	Siebverfahren	Nass
Entnahmestelle	SB4	Masse der Probe [g]	10311.0
Tiefe	2.9 - 3.5m	Wassergehalt [M-%]	7.6
Art der Entnahme	--	Bewertungsgrundlage	--
Siebanalyse (SN EN 933-1)		Charakteristische Korndurchmesser	
Sieb [mm]	Siebdurchgang [M-%]	Siebdurchgang bei x-M%	Korngrösse [mm]
90		D10	0.002
63	100.0	D15	0.007
45	96.1	D20	0.019
31.5	95.0	D25	0.047
22.4	90.9	D30	0.091
16	87.0	D50	0.836
11.2	82.5	D60	1.912
8	77.7	D80	9.389
5.6	73.0	D85	13.646
4	68.4		
2	60.5	Krümmungszahl	
1	52.0	Cc	2.21
0.5	44.6	Ungleichförmigkeitsgrad	
0.25	38.1	Cu	983.05
0.125	32.7		
0.063	28.2	Berechnete Sieb- und Schlämmwerte	
0		Fraktion	[M-%]
		<0.0200	20.2
		<0.0063	14.7
		<0.0020	10.1
Schlämmanalyse (SN 670 816a)		Konsistenz nach Atterberg	
Sieb [mm]	Schlämmwerte [M-% < d]	Flie遝grenze wL	21.4%
0.0649	27.3	Ausrollgrenze wP	13.2%
0.0472	25.0	Plastizitätsindex Ip	8.2%
0.0342	22.9		
0.0222	20.7	USCS Klassifikation (SN 670 004-2b-NA)	
0.0132	18.3	GC - Toniger Kies mit Sand	
0.0078	15.7	Reibungswinkel (Phi'0) nach Dhawan	
0.0049	13.6	nicht korrigierter Wert (°)	--
0.0029	11.6	Frostempfindlichkeitsklasse	
0.0015	9.1	Wert	--

Kunden-Nr. 2535
Rhätische Bahn - Kreditoren
Bahnhofstrasse 25
7002 Chur

Auftrags-Nr. **19357-1**
Berichtsdatum 27.09.2019
Berichtsversion Vers_01

SB4 Tunnelmeter 55,SB4 2.9 - 3.5m

19-2233



Kunden-Nr. 2535
Rhätische Bahn - Kreditoren
Bahnhofstrasse 25
7002 Chur

Auftrags-Nr. **19357-1**
Berichtsdatum 27.09.2019
Berichtsversion Vers_01

Prüfbericht Eigenschaften von Rohmaterial und Böden

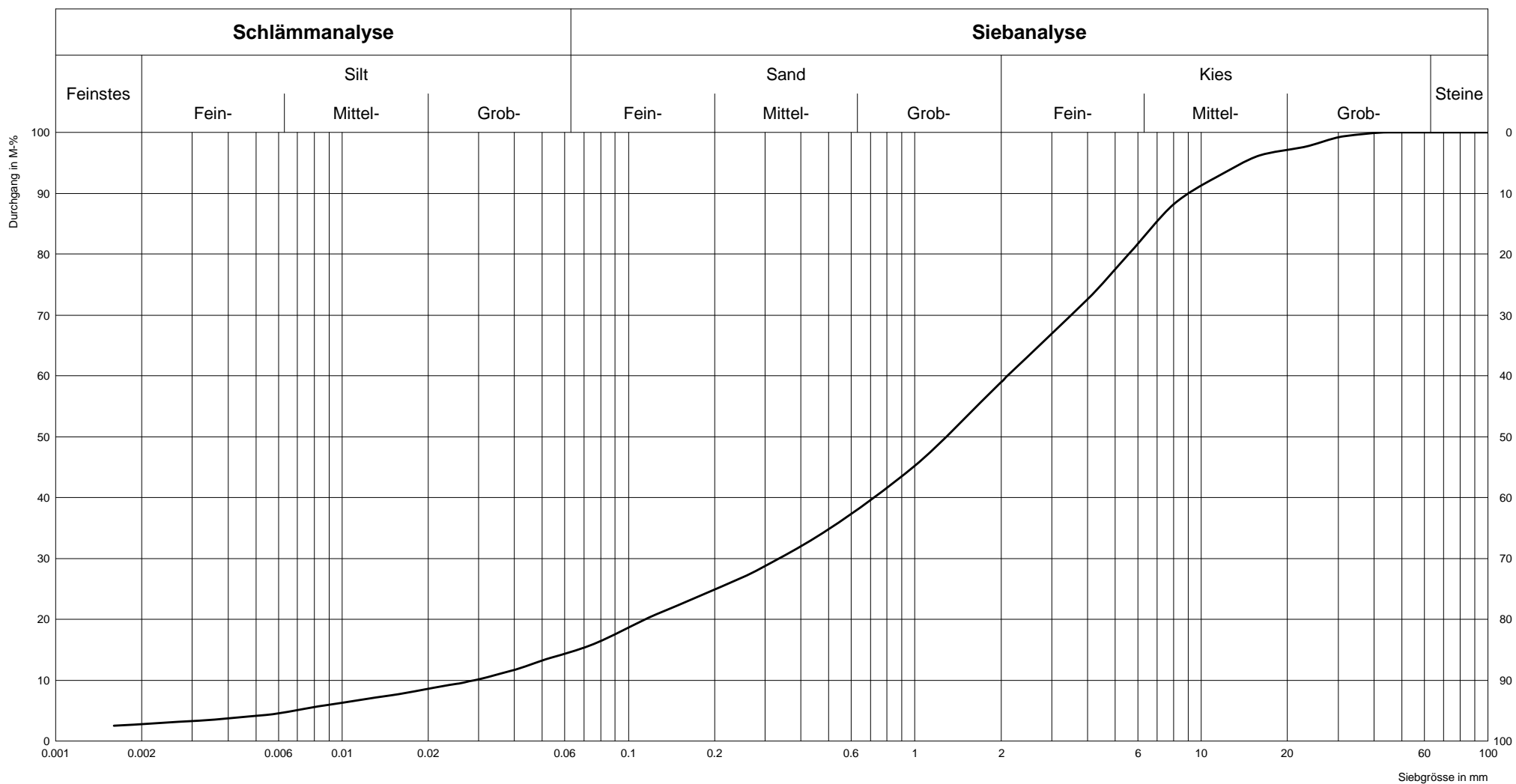
Zusammenstellung der Resultate

Korngrößenverteilung nach SN EN 933-1 und SN 670 816a			
Probenbezeichnung	SB9 Tunnelmeter 115		
Probennummer	19-2234		
Probennummer extern	P3		
Objekt	Sondierbohrungen		
Probenahmedatum	11.09.2019	Dichte Feststoffsubst [Mg/m³]	2.64
Probenehmer	Auftragerteiler	Maximale Korngrösse [mm]	40
Prüfdatum	23.09.2019	Siebverfahren	Nass
Entnahmestelle	SB9	Masse der Probe [g]	13776.0
Tiefe	2.8 - 3.5m	Wassergehalt [M-%]	9.2
Art der Entnahme	--	Bewertungsgrundlage	--
Siebanalyse (SN EN 933-1)		Charakteristische Korndurchmesser	
Sieb [mm]	Siebdurchgang [M-%]	Siebdurchgang bei x-M%	Korngrösse [mm]
90		D10	0.029
63		D15	0.067
45	100.0	D20	0.115
31.5	99.3	D25	0.204
22.4	97.5	D30	0.335
16	96.2	D50	1.289
11.2	92.5	D60	2.111
8	88.2	D80	5.588
5.6	80.0	D85	6.892
4	72.6	Krümmungszahl	
2	58.9	Cc	1.85
1	45.2	Ungleichförmigkeitsgrad	
0.5	34.8	Cu	73.48
0.25	26.9	Berechnete Sieb- und Schlämmwerte	
0.125	20.8	Fraktion	[M-%]
0.063	16.0	<0.0200	8.6
0		<0.0063	4.7
		<0.0020	2.7
Schlämmanalyse (SN 670 816a)		Konsistenz nach Atterberg	
Sieb [mm]	Schlämmwerte [M-% < d]	Flie遟renze w _L	nicht bestimmbar
0.0737	15.7	Ausrollgrenze w _P	nicht bestimmbar
0.0535	13.7	Plastizitätsindex I _p	nicht bestimmbar
0.0388	11.5	USCS Klassifikation (SN 670 004-2b-NA)	
0.0252	9.4	SM - Siltiger Sand mit Kies	
0.0149	7.5	Reibungswinkel (Phi'0) nach Dhawan	
0.0087	5.8	nicht korrigierter Wert (°)	--
0.0054	4.3	Frostempfindlichkeitsklasse	
0.0032	3.4	Wert	--
0.0016	2.5		

Kunden-Nr. 2535
Rhätische Bahn - Kreditoren
Bahnhofstrasse 25
7002 Chur

Auftrags-Nr. **19357-1**
Berichtsdatum 27.09.2019
Berichtsversion Vers_01

SB9 Tunnelmeter 115,SB9 2.8 - 3.5m
19-2234



Kunden-Nr. 2535
Rhätische Bahn - Kreditoren
Bahnhofstrasse 25
7002 Chur

Auftrags-Nr. **19357-1**
Berichtsdatum 27.09.2019
Berichtsversion Vers_01

Prüfbericht Eigenschaften von Rohmaterial und Böden

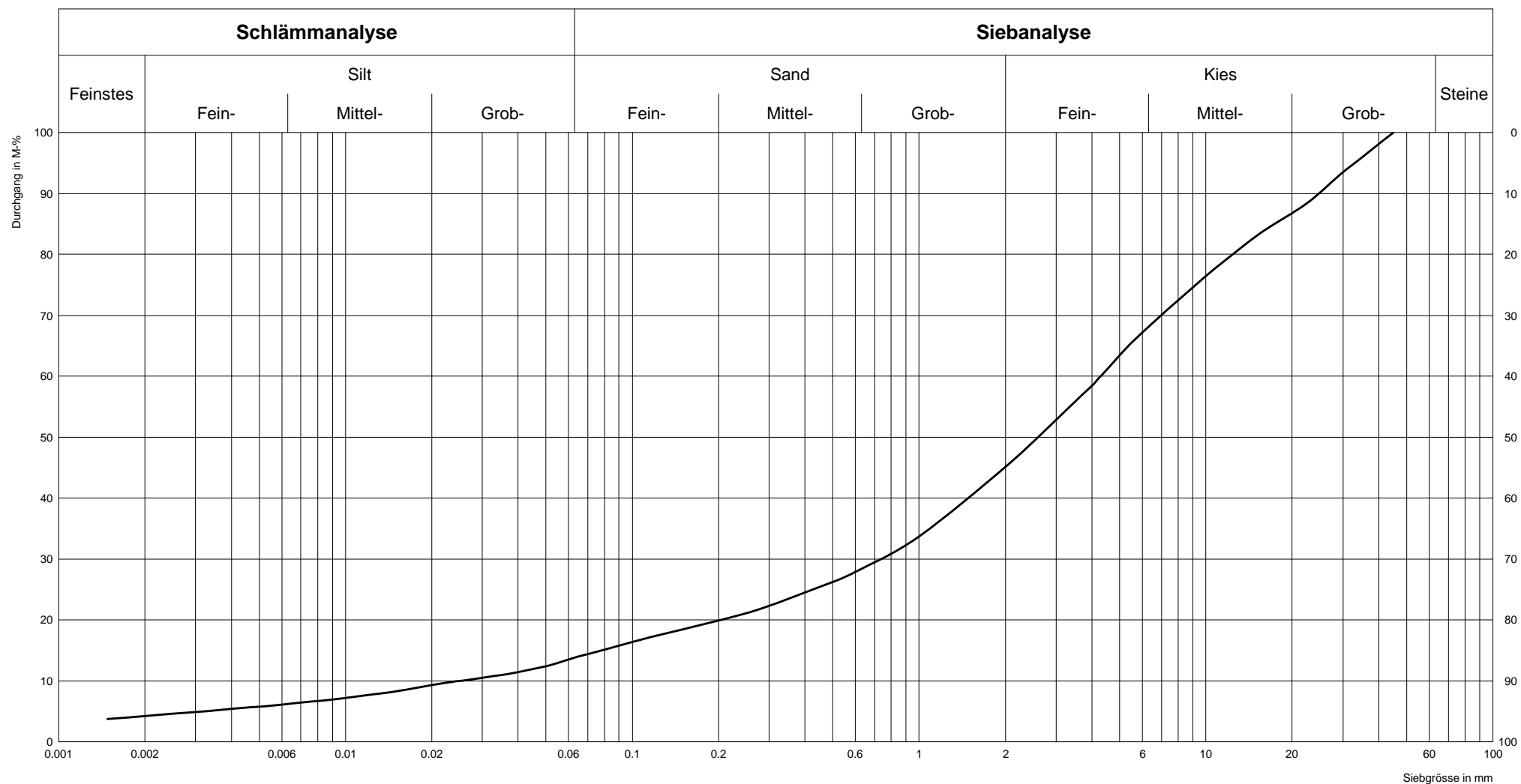
Zusammenstellung der Resultate

Korngrößenverteilung nach SN EN 933-1 und SN 670 816a			
Probenbezeichnung		SB2 Tunnelmeter 145	
Probennummer	19-2235		
Probennummer extern	P4		
Objekt	Sondierbohrungen		
Probenahmedatum	11.09.2019	Dichte Feststoffsubst [Mg/m³]	2.80
Probenehmer	Auftragerteiler	Maximale Korngrösse [mm]	42
Prüfdatum	23.09.2019	Siebverfahren	Nass
Entnahmestelle	SB2	Masse der Probe [g]	15245.0
Tiefe	2.7 - 3.5m	Wassergehalt [M-%]	3.3
Art der Entnahme	--	Bewertungsgrundlage	--
Siebanalyse (SN EN 933-1)		Charakteristische Korndurchmesser	
Sieb [mm]	Siebdurchgang [M-%]	Siebdurchgang bei x-M%	Korngrösse [mm]
90		D10	0.025
63		D15	0.077
45	100.0	D20	0.203
31.5	94.2	D25	0.433
22.4	88.3	D30	0.734
16	83.9	D50	2.602
11.2	78.3	D60	4.303
8	72.5	D80	12.421
5.6	65.9	D85	17.316
4	58.4		
2	45.1		
1	33.7		
0.5	26.2		
0.25	21.1		
0.125	17.6		
0.063	15.1		
0			
Schlammanalyse (SN 670 816a)		Krümmungszahl	
Sieb [mm]	Schlämmwerte [M-% < d]	Cc	5.08
0.0666	14.2		
0.0488	12.3		
0.0354	11.0		
0.0229	9.8		
0.0136	8.0		
0.0080	6.7		
0.0050	5.8		
0.0029	4.8		
0.0015	3.7		
		Ungleichförmigkeitsgrad	
		Cu	174.58
		Berechnete Sieb- und Schlämmwerte	
		Fraktion	[M-%]
		<0.0200	9.3
		<0.0063	6.2
		<0.0020	4.2
		Konsistenz nach Atterberg	
		Flie遝grenze wL	18.5%
		Ausrollgrenze wP	12.5%
		Plastizitätsindex Ip	6.0%
		USCS Klassifikation (SN 670 004-2b-NA)	
		GC-GM - Siltiger bis toniger Kies mit Sand	
		Reibungswinkel (Phi'0) nach Dhawan	
		nicht korrigierter Wert (°)	--
		Frostempfindlichkeitsklasse	
		Wert	--

Kunden-Nr. 2535
Rhätische Bahn - Kreditoren
Bahnhofstrasse 25
7002 Chur

Auftrags-Nr. **19357-1**
Berichtsdatum 27.09.2019
Berichtsversion Vers_01

SB2 Tunnelmeter 145,SB2 2.7 - 3.5m
19-2235



Kunden-Nr. 2535
Rhätische Bahn - Kreditoren
Bahnhofstrasse 25
7002 Chur

Auftrags-Nr. **19357-1**
Berichtsdatum 27.09.2019
Berichtsversion Vers_01

Prüfbericht Eigenschaften von Rohmaterial und Böden

Zusammenstellung der Resultate

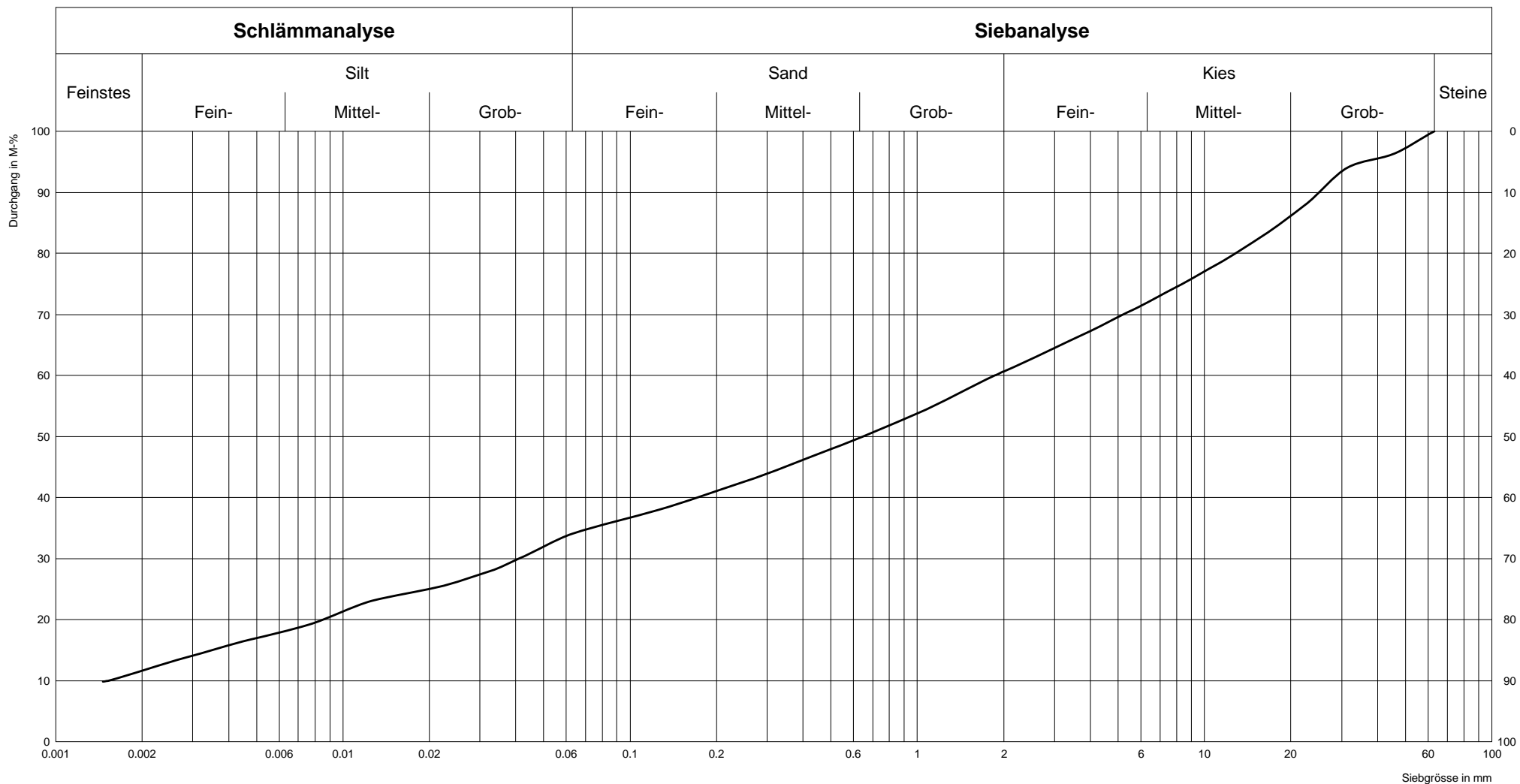
Korngrössenverteilung nach SN EN 933-1 und SN 670 816a			
Probenbezeichnung	SB7 Tunnelmeter 240		
Probennummer	19-2236		
Probennummer extern	P5		
Objekt	Sondierbohrungen		
Probenahmedatum	11.09.2019	Dichte Feststoffsubst [Mg/m³]	2.77
Probenehmer	Auftraerteiler	Maximale Korngrösse [mm]	59
Prüfdatum	23.09.2019	Siebverfahren	Nass
Entnahmestelle	SB7	Masse der Probe [g]	10474.0
Tiefe	2.4 - 3.5m	Wassergehalt [M-%]	6.8
Art der Entnahme	--	Bewertungsgrundlage	--
Siebanalyse (SN EN 933-1)		Charakteristische Korndurchmesser	
Sieb [mm]	Siebdurchgang [M-%]	Siebdurchgang bei x-M%	Korngrösse [mm]
90		D10	0.002
63	100.0	D15	0.003
45	96.2	D20	0.009
31.5	94.1	D25	0.020
22.4	87.9	D30	0.041
16	82.9	D50	0.646
11.2	78.3	D60	1.866
8	74.5	D80	12.835
5.6	70.7	D85	18.555
4	67.2	Krümmungszahl	
2	60.7	Cc	0.59
1	53.8	Ungleichförmigkeitsgrad	
0.5	47.9	Cu	1230.51
0.25	42.6	Berechnete Sieb- und Schlämmwerte	
0.125	37.9	Fraktion	[M-%]
0.063	34.0	<0.0200	25.0
0		<0.0063	18.2
Schlämmanalyse (SN 670 816a)		<0.0020	11.7
Sieb [mm]	Schlämmwerte [M-% < d]	Konsistenz nach Atterberg	
0.0621	32.5	Flie遟renze wL	19.8%
0.0453	30.1	Ausrollgrenze wP	12.4%
0.0328	28.0	Plastizitätsindex Ip	7.4%
0.0214	25.3	USCS Klassifikation (SN 670 004-2b-NA)	
0.0127	23.1	GC - Toniger Kies mit Sand	
0.0076	19.2	Reibungswinkel (Phi'0) nach Dhawan	
0.0048	16.8	nicht korrigierter Wert (°)	--
0.0028	13.8	Frostempfindlichkeitsklasse	
0.0015	9.9	Wert	--

Kunden-Nr. 2535
Rhätische Bahn - Kreditoren
Bahnhofstrasse 25
7002 Chur

Auftrags-Nr. **19357-1**
Berichtsdatum 27.09.2019
Berichtsversion Vers_01

SB7 Tunnelmeter 240,SB7 2.4 - 3.5m

19-2236



Kunden-Nr. 2535
Rhätische Bahn - Kreditoren
Bahnhofstrasse 25
7002 Chur

Auftrags-Nr. **19357-1**
Berichtsdatum 27.09.2019
Berichtsversion Vers_01



Akkreditierte Prüfstelle für Gesteinskörnungen, rezyklierte
Baustoffe, Beton, Asphaltbeläge, Böden

Prüfstelle STS 0342, ISO 17025:2005
Zertifiziertes Qualitätsmanagementsystem ISO 9001:2015
Reg Nr. 12313 (SQS)

Chur, 27.09.2019


Sandro Coray
Fachbereichsleiter Materialprüfung

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchten Proben. Ohne schriftliche Genehmigung des Prüflabors darf der Prüfbericht nicht auszugsweise vervielfältigt werden. Berichte mit höherer Versions-Nr. ersetzen alle vorangegangenen Berichtversionen. Auf Anfrage können Messunsicherheiten der Prüfergebnisse und die angewandte Entscheidungsregel bekannt gegeben werden. Aussagen zu Konformität wurden ohne Berücksichtigung der Messunsicherheit gemacht. Es gelten zudem die Allgemeinen Geschäftsbedingungen (verfügbar unter www.baugeologie.ch/AGB).

Fotodokumentation

Aufnahmen: Gabriel Glaus

Datum: 12. September 2019

Sondierbohrung SB1/19:



Sondierbohrung SB1A/19:



Sondierbohrung SB2/19:



Sondierbohrung SB2A/19:



Sondierbohrung SB3/19:



Sondierbohrung SB4/19:



Sondierbohrung SB4A/19:



Sondierbohrung SB5/19:



Sondierbohrung SB5.1/19:



Sondierbohrung SB5A/19:



Sondierbohrung SB6/19:



Sondierbohrung SB6.1/19:



Sondierbohrung SB7/19:



Sondierbohrung SB7A/19



Sondierbohrung SB8/19:



Sondierbohrung SB8A/19



Sondierbohrung SB9/19:



Sondierbohrung SB9A/19

