

STADTPASSAGE LUZERN
GEOLOGISCHES GUTACHTEN
Stufe Machbarkeitsstudie

Objekt	Stadtpassage Luzern. Machbarkeitsstudie		
Ingenieur	Emch+Berger WSB AG, Emmenbrücke		
Auftraggeber	Stadt Luzern, Tiefbauamt, Industriestrasse 6, 6005 Luzern		
Koordinaten	2'665'660 / 1'211'990	Auftragsnummer	22.6356
Ort, Datum	Luzern, 16. Februar 2023 BK/bk		

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Auftrag	1
2	Grundlagen	2
	2.1 Verwendete Unterlagen	2
	2.2 Durchgeführte Arbeiten.....	2
3	Geologische Übersicht	3
4	Gesteinsabfolge	3
5	Geologie und Geotechnik im Überblick	4
	5.1 Festgesteine.....	4
	5.2 Lockergesteine	5
	5.2.1 Übersicht	5
	5.2.2 Bereich Friedhof	5
6	Weiterführende geologisch-geotechnische Erläuterungen und kritische Punkte	6
7	Anmerkungen zum Untertagebau	9
8	Weiterführende Untersuchungen	10

Anhang

Anhang 1	Geologische Karte mit Projekt 1 : 5'000.
Anhang 2	Geologisches Profil Variante Riedstrasse 1 : 4'000 / 2'000.
Anhang 3	Geologisches Detailprofil (Variante Riedstrasse) 1 : 500 / 250.
Anhang 4	Profile der Rammkernsondierungen Gebiet Friedental 1 : 50.

Hinweise zum Urheberrecht:

Das Urheberrecht des vorliegenden Gutachtens ist gemäss SIA 118 Art. 24 geschützt. Der vorliegende Bericht darf vom Empfänger nur im Rahmen des Vertrages verwendet werden; er darf diesen weder für eigene Zwecke weiter verwenden noch an unberechtigte Dritte zur Verwendung weitergeben; auch hat er dafür zu sorgen, dass die Unterlagen Dritten nicht zugänglich sind. Ohne unsere schriftliche Zustimmung sind Veröffentlichungen im Internet untersagt, auch von Auszügen, einzelnen Figuren oder Profilen.

1 EINLEITUNG UND AUFTRAG

Im Rahmen der Planungsarbeiten für die «Stadtpassage Luzern» erstellen die Emch+Berger WSB AG eine Machbarkeitsstudie. Das Projekt «Stadtpassage» umfasst drei Bauteile: Von Norden vom Rontal her führt ein **Erschliessungstunnel** in ein subterranes **Busparking** zwischen Bettenhochhaus und Spitalstrasse, von wo aus ein **Langsamverkehrstunnel** in die Altstadt Luzern führen soll (Abb. 1), wo noch verschiedene Standorte für das Portal zur Diskussion stehen.

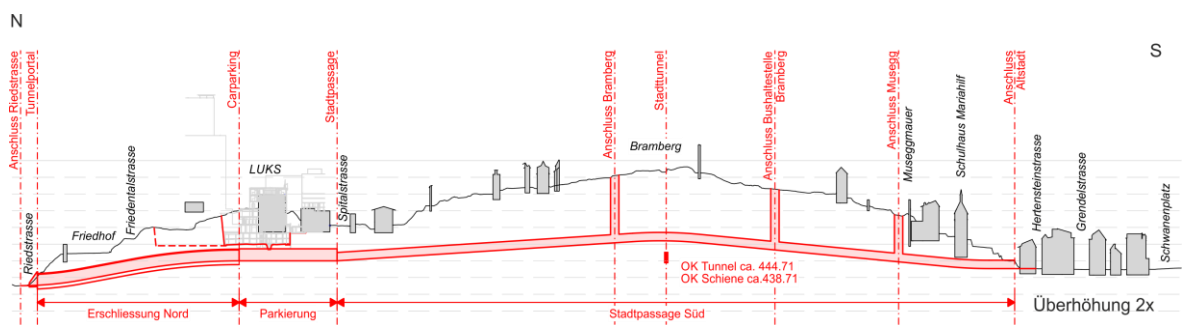


Abb. 1 Längsprofil des Projekts «Stadtpassage Luzern». Quelle ©Emch+Berger WSB AG, Bearbeitungsstand 27.10.2021.

Die beiden Tunnels sind wie folgt (Abb. 2, Emch+Berger WSB AG Stand 27.10.2021):

- Zweispuriger **Erschliessungstunnel Nord** für die Cars: Ausbruchsquerschnitt 87 m², Breite 11.2 m, Höhe 9.3 m, Länge ca. 280 m.
- **Stadtpassage Süd** als Langsamverkehrstunnel für Fussgänger und Velos: Ausbruchsquerschnitt 57m², Breite 10.4 m, Höhe 5.8 m, Länge ca. 780 m.

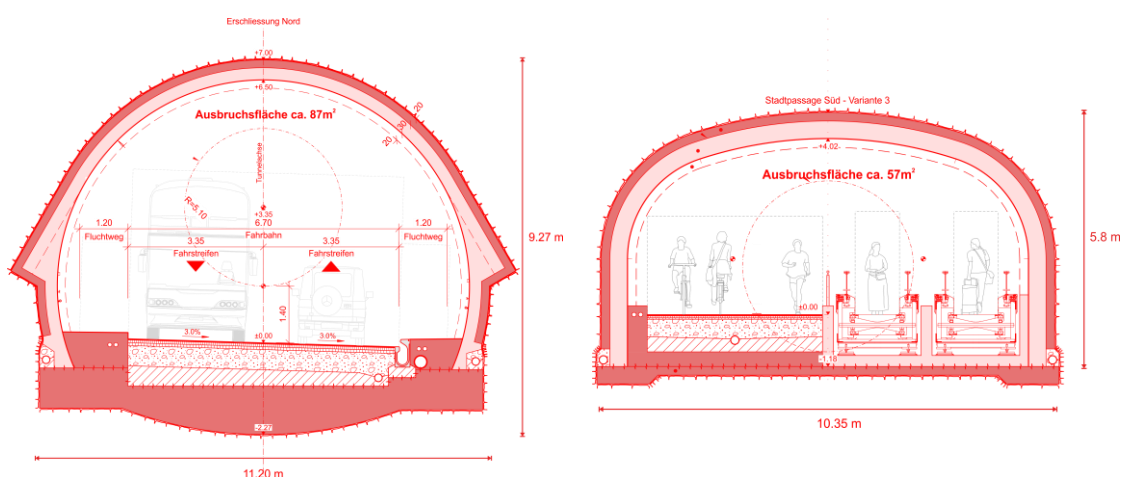


Abb. 2 Querschnitte (Normalprofile) durch den Erschliessungstunnel Nord (links) und die Stadtpassage Süd (rechts). Quelle ©Emch+Berger WSB AG, Bearbeitungsstand 27.10.2021.

Als Grundlage für die Machbarkeitsstudie soll ein geologisch-geotechnischer Kurzbericht über die Untertagebauwerke erstellt werden.

2 GRUNDLAGEN

2.1 VERWENDETE UNTERLAGEN

Die vorliegende Prognose basiert im Wesentlichen auf folgenden Grundlagen unseres Archivs:

- Feldaufnahmen und Dissertation Beat Keller.
- Geologische Aufnahmen Hochwasserentlastungsstollen Gütsch und Werkleitungsstollen A2 Sonnenberg und Reussport.
- Geologische Prognosen Bypass Luzern (generelles Projekt), Durchgangsbahnhof Luzern - Dreilindentunnel, Musegg Parking etc.
- Zahlreiche Sondierungen und Baugrundgutachten im Nahbereich des Projekts Stadtpassage.

Durch unsere zahlreichen Arbeiten in Zusammenhang mit bestehenden und geplanten Untertagebauten verfügen wir bereits über profundes Wissen der geologisch-geotechnischen Verhältnisse.

Vorgehen

- Data-Mining und Aktenstudium.
- Realisation von 5 Rammkernsondierungen in der Senke des Friedentals (Kap. 2.2).
- Auswertung vorhandener Sondierungen sowie der internen, hochaufgelösten geologischen Karte und Erstellen des geologischen Profils.
- Berichtverfassung mit Vorschlag zum weitere Vorgehen und zusätzlichen Untersuchungen.

2.2 DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

Zur Erkundung der Lockergesteinszusammensetzung sowie zur Abtastung der Felsoberfläche in dem als kritisch vermuteten Bereichs Friedental wurden am 07.02.2023 durch die UmweltMess GmbH total 5 **Rammkernsondierungen** (RKS23-1 bis RKS23-5; Anhang 4) auf Tiefen zwischen ca. 4.3 m und 9.0 m ausgeführt.

3 GEOLOGISCHE ÜBERSICHT

Die Untertagebauwerke queren die Ablagerungen der Oberen Meeresmolasse, deren verbreiteten, erosionsbeständigen Sandsteinabfolgen den Härtling des prominenten Hügels Gütsch – Bramberg – Dreilinden bilden. Die Schichtung fällt in diesem Bereich der Hügellzone generell gegen NNW hin ein, im Süden sehr steil, gegen Norden zum Rotsee hin zunehmend flacher geneigt.

Ausgehend vom Anschluss Altstadt im Süden (Abb. 1) durchörtert der Tunnel die Hügellzone des Brambergs der überwiegend durch Sandsteine gebildete Luzerner-Formation, die im Bereich der Talsenke der Spitalstrasse in eine Abfolge mit weicheren Zwischenschichten aus Silt- und Schlammsteinen übergeht. Nördlich stehen unter dem Spitalhügel wiederum Sandsteine der St. Galler-Formation an, denen zwei Zonen mit weicheren Siltsteinen zwischengeschaltet sind, die nördliche davon im Bereich der Talsenke des Friedentals. Abgeschlossen wird die Obere Meeresmolasse durch eine Nagelfluh-reiche Abfolge, die den Steilabfall gegen die Riedstrasse hin bildet.

Die Tunnelachse verläuft schief bis lotrecht zu den generell nach NNW einfallenden Schichten. Die ganze Gesteinsabfolge der subalpinen Molasse ist eher gering tektonisiert mit generell günstiger Schichtlage zum Tunnel. Zu beachten ist, dass der südlichste Teil der Stadtpassage Süd zwischen Museggmauer und Hertensteinstrasse vermutlich subparallel zu einer von SSE nach NNW verlaufenden, nahezu senkrecht stehenden Störungszone verläuft.

Die Firstüberdeckung der Untertagebauwerke ist überwiegend ausreichend (Anhang 2): Ausnahmen bilden die langgezogenen, lockergesteinserfüllten Talsenken der Spitalstrasse sowie des Friedhofs (Anhang 2, Anhang 3).

4 GESTEINSABFOLGE

Von SW (Altstadt) nach NE/ENE (Riedstrasse / Rotsee) der Oberen Meeresmolasse (**OMM**) (unten S Luzerner-Formation **LFM**, oben N St.Galler-Formation **SFM**).

Von SW (Hertensteinstrasse / Altstadt) nach NE/ENE (Riedstrasse / Rotsee) werden von alt nach jung folgende **geologische Einheiten** durchörtert (Anhang 2):

- LFM1** Wechsellagerung im Dekameterbereich aus harten Sandstein-Abfolgen und drei unterschiedlich mächtigen Zwischenkomplexen aus Silt- und Schlammsteinen, Mergeln, Sandstein-Bänken sowie dünnen Süsswasserkalken und Kohleflözen.
- LFM2** Harte, massive bis gebankte Sandsteine, tw. mit Siltstein-Laminae.
- LFM3** Zwischenkomplex aus weicheren Silt- und Schlammsteinen mit Sandstein-Einschalungen, lokal dünne kohlige Schichten möglich.
- SFM1** Sandstein-Abfolgen: Bankig bis Schrägschichtung, Siltstein-Laminae, gegen oben zunehmend heterolithische Zwischenschichten, Geröllschnüre, gut zementiert, frisch hart.

- SFM2** Massige bis laminierte, sandige Siltsteine und siltige Feinsandsteine, mit Sandstein-Bänken und Geröllschnüren, Fossil-reich, mässig-gut zementiert, variable Gesteins-härte, frisch meist mässig hart, einzelne Bänke sehr hart. Im Bereich nördlich (tal-seits) der Friedentalstrasse ist eine mächtigere Sandsteinzone Typ SFM1 zwi-schengeschaltet.
- SFM3** Kristallin-Konglomerate mit hohen Anteilen an Quarziten, dazwischen geröllfüh-rende Sandsteine, wirre Schichtung, vereinzelte dünne Zwischenschichten aus Silt- und Schlammsteinen. Übergang zur Oberen Süsswassermolasse (OSM1, del-taisch).

5 GEOLOGIE UND GEOTECHNIK IM ÜBERBLICK

5.1 FESTGESTEINE

Nachfolgend werden die grundlegenden Lithologien der verschiedenen Einheiten beschrie-ben.

Lithologie	Beschreibung	geotechnische Eigenschaften
OMM Obere Meeresmolasse		
<i>Sandsteine</i>	Hell grünlichgraue, schräggeschichtete (trogförmig bis tabular) und massige bis bankige Fein- bis Mittelsandsteine, reich an grünlichem Glaukonit. Typisch sind die dünnen Siltstein-Laminae, die örtlich zahl-reich und dicker sind.	Gut bis sehr gut zementiert mit tw. sehr hohen Druckfestigkeiten (80 bis 140 MPa), nicht feuchtig-keitsempfindlich. Heterolithische Abfolgen und Siltstein-Laminae bil-den in der Verwitterungszone gute Trennflächen. Unterhalb der Verwitterungszone des Felsen oft massiv ohne Schichttrennflächen.
<i>Schlammstein -Einheit</i>	Graue und beige Silt- und Schlammsteine sowie Mergel, massig bis bankig und lami-niert, oft in siltige Sandsteine übergehend.	Schichtweise mit kohäsionsarmen Rutschspiegeln, tw. reich an Tonmineralen, mässig bis sehr gut ze-mentiert. Feuchtigkeits- und verwitterungsanfällig. In der Verwitterungszone des Felsen oft gute plat-tige Trennflächengefüge.
<i>Siltstein- Einheiten</i>	Graue, tw. sandige Siltsteine, massiv oder laminiert bis bankig, oft mit bankigen, silti-gen Sandsteinen, fossilführend.	Feuchtigkeits- und verwitterungsanfällig. Unterhalb der Verwitterungszone des Felsen oft massiv mit schlecht entwickelten Schichttrennflächen. Silt-Sandsteine frisch relativ hart (50 bis 80 MPa); ver-einzelte extrem harte, konglomeratische Sand-steine. In der Verwitterungszone des Felsen oft gute plat-tige Trennflächengefüge.

<i>Sandsteine mit Konglomerat-Schnüren und -Bänken (Nagelfluh)</i>	Hell grünlichgraue, schräggeschichtete (trogförmig bis tabular) und massige bis bankige Sandsteine (Fein- bis Mittelsandsteine). Oft mit Geröllschnüren, tw. mit dünnen Siltstein-Laminae, die örtlich zahlreich und dicker sind. Geringmächtige (meist < 3 m) Konglomerate (Fein- bis Grobkonglomerat), meist massig bis dickbankig.	Konglomerate mit hohen Anteilen an abrasiven Quarzit-Geröllen (40% bis 70%) daneben viel Kristallin; Siltstein-Einschaltungen haben tw. gute plattige Trennflächengefüge, mässig bis gut zementiert. Unterhalb der Verwitterungszone des Felsen oft massiv ohne Schichttrennflächen.
--------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

5.2 LOCKERGESTEINE

5.2.1 Übersicht

Die Lockergesteinsbedeckung der Hügelzone ist generell geringmächtig und besteht überwiegend aus geringmächtigen Verwitterungsprodukten des anstehenden Molassefelsen oder örtlicher Moränensedimente. Dominierend ist unterschiedlich siltiger Sand mit variablen Anteilen an Kies und Steinen, einzelnen Blöcken sowie wenigen organischen Beimengungen. Diese Sedimente sind scheinkohäsive und in steilerer Hanglage rutschungsempfindlich.

Mächtigerer, tw. setzungsempfindliche Lockergesteinsfüllungen aus Wechschichtungen Sand, toniger Silt und teilweisen Torfschichten finden sich

- am Talrand entlang der Hertensteinstrasse,
- in der Talsenke der Spitalstrasse, die der Fussgängertunnel bei reduzierter Firstüberdeckung unterquert sowie
- in der durch Lockergesteine maskierten Talrinne des Friedentals (vgl. Kap. 5.2.2).

5.2.2 Bereich Friedhof

Im Bereich des Friedhofs konnten wegen der von uns erwarteten, tieferen und durch Lockergesteine maskierten Felstalung vorausschauend 5 Rammkernsondierungen (Anhang 4) ausgeführt werden, die unter dem ebenen Friedhof die gemutmasste, ausgeprägte Felstalung bestätigten (Anhang 3):

- Offenbar wurde die ehemalige Talsenke mit bis ca. 3 m mächtigen künstlichen Auffüllungen bis zur heutigen Terrainebene verfüllt. Diese bestehen aus locker bis mitteldicht gelagertem, unterschiedlich siltigem Sand mit Kies, Steinen und wenig Fremdstoffen.
- Darunter liegen spätglaziale Deltaablagerungen aus locker bis mitteldicht gelagertem, unterschiedlich siltigem bis fast sauberem Sand mit variablem, meist geringem Kiesanteil in variabler Lagerung von locker bis mitteldicht. Darin finden sich Zwischenschichten aus weichem bis mittelsteifem tonigem Silt sowie heterolithischen Silt/Sand-Wechschichtungen (meist laminiert).

- Über dem Felsbett liegen in der Talachse bis 4 m mächtige Moränenablagerungen aus dicht bis sehr dicht gelagerten Diamiktiten¹, meist stark siltigem Sand mit wenig Kies und Steinen, worin auch grössere Findlingsblöcke aus Hartgesteinen (Kieselkalk, Gneis, Granit etc.) möglich sind.
- Der sowohl nördlich als auch südlich des Friedhofs noch oberflächennah anstehende Felsen befindet sich im Zentrum der Talung bis über 9 m unter OK heutigem Terrain, gegen ENE hin tendenziell abfallend.

Somit reicht die **Firste des Erschliessungstunnels Nord** bei der aktuellen Tiefenlage **unter dem Friedhof bis ins Lockergestein** (Anhang 2, Anhang 3).

In mehreren Rammkernsondierungen wurde im Verlauf der Sondierungen ein **Grundwasserspiegel** zwischen 2 bis 3 m unter Terrain erfasst, was in den kommenden Projektphasen zu verifizieren ist (Kap. 8).

6 WEITERFÜHRENDE GEOLOGISCH-GEOTECHNISCHE ERLÄUTERUNGEN UND KRITISCHE PUNKTE

Zusammen mit weiteren Charakteristika des zu durchörternden Gebirges werden nachfolgend die Eigenschaften der einzelnen Gesteinseinheiten gemäss SIA 199 in Kürze erläutert.

<i>Schichtlage- rung</i>	<p>Schichtung fällt generell gegen NNE hin ein, Schichtfallen von 60° bis 50° im Süd- und Mittelteil, bei der Spitalstrasse 47° und weiter Richtung Riedstrasse nach NW allmählich bis auf ca. 30° abnehmend.</p> <p>Die Achse Langsamverkehrstunnels verläuft ganz im S bei der Hertensteinstrasse nahezu parallel zum Schichtfallen, gegen N zur Spitalstrasse hin nimmt die Divergenz auf ca. 45° zu. Dem gegenüber liegt die Achse des Erschliessungstunnels nahezu parallel zur Fallrichtung der Schichtung.</p> <p>Die Raumlagen der Bauwerksachsen der beiden Untertagebauwerke liegen somit günstig bis sehr günstig zur Schichtung.</p>
<i>Tektonisie- rung und Trennflächen- gefüge</i>	<p>Der Schichtstapel der Oberen Meeresmolasse ist generell schwach tektonisiert. Er ist durchzogen von einem weitständigen Kluftsystem, das etwa von SSE nach NNW verläuft und sehr steilstehend (meist \pmsaiger) ist. Die Klüfte haben grosse Radien (> 10 m) und sind geschlossen bis leicht geöffnet. Dieses System liegt subparallel und damit ungünstig zu den Tunnelachsen, hat aber in der vorliegenden Form tunnelbautechnisch kaum Bedeutung. In den Sandsteinkomplexen zwischen den duktileren, Silt- und</p>

¹ Diamiktit: Unsortiertes oder schlecht sortiertes Korngemisch Kies-Sand-Silt/Ton, meist als Kies in einer Schlammmatrix aus stark tonig/siltigem Sand. Diamiktite sind meist Schlamm-/Schuttstromablagerungen oder Moränen.

Schlammstein-reichen Abfolgen im Nordteil ist sie etwas stärker ausgebildet.

Zu beachten ist aber eine mutmassliche Bruchzone mit engständigeren Klüften (vermutlich überwiegend mittelständig, zonenweise auch engständig möglich), die vermutlich vom Falkenplatz nach NNW Richtung Kreuzungen Spitalstrasse/Friedentalstrasse/Libellenstrasse verläuft. Der südlichste Teil des Langsamverkehrstunnels zwischen Hertensteinstrasse und Museggmauer verläuft vermutlich im Bereich dieser Störung, die aber tunnelbautechnisch ohne relevante Erschwernisse beherrschbar sein sollte.

Verwitterungszone des Felsen

Die Verwitterungszone des Felsen mit ihren entfestigten Gesteinen, tw. verlehnten Klüfttrennflächen, greift in verwitterungsanfälligen Gesteinen (Silt- und Schlammsteine, Mergeln, Kohlen etc.) meist bis ca. 10 bis 15 m amöbenartig bis unter die Felsoberfläche hinab. Die Verwitterungszone des Felsen ist in den geologischen Profilen Anhang 2 und Anhang 3 schematisch dargestellt. Nebst den Portalzonen reicht die Verwitterungszone des Felsen in den Abschnitten Spitalstrasse und Friedhof bis in den Tunnelbereich hinab. Die übrigen Abschnitte verlaufen in an- bis unverwitterten Gesteinen.

Felsüberdeckung

Die Felsüberdeckung ist ausserhalb der Portalbereiche S/N generell grösser als das Zweifache des Tunneldurchmessers (Anhang 2, $> 2 \varnothing$) so dass die äussere Auflockerungszone des Tunnels nicht bis an die Felsoberfläche reicht. Daneben gibt es Abschnitte, wo die äussere Auflockerungszone ($< 2 \varnothing$) bis an die Felsoberfläche reicht, was je nach Vortriebsmethode ebenfalls keine relevanten Probleme bereitet; trotzdem gebührt dem Abschnitt um die Spitalstrasse künftig gebührende Beachtung. Dank der Rammkernsondierungen erkannt ist heute die Felsdepression mit geringer Überdeckung $< 1 \varnothing$ unter dem Friedental, wo die Firste gemäss heutiger Kenntnis sogar in das Lockergestein reicht (Anhang 3).

Spalten und Klüfte

Im Bereich der Hügelzone, besonders an den Hügelflanken, sind durch Untertagebauwerke und tiefe Sondierungen / Erdwärmesonden verschiedenenorts Systeme aus offenen Klüften und Spalten bekannt geworden, die bis über 100 m unter Terrain reichen (Anhang 2). Diese entstanden vermutlich nacheiszeitlich durch pseudoplastische Deformation, nach dem der stark überkonsolidierte Felsen der Hügelzone unter der bis 1'000 m mächtigen Eisauflast abgehobelt worden war.

Die offenen Klüfte und Spalten treten bevorzugt an den Hügelflanken und in spröden Sandsteinen auf und sind einerseits steil stehend (nahezu saiger), andererseits mehr oder weniger parallel zur Felsoberfläche.

Durch Erdwärmesonden-Bohrungen für das neue LUKS sind im Bereich des Erschliessungstunnels Nord auch jüngst derartige Klüftsysteme

	<p>angefahren worden. Die zufällig auftretenden, offenen Klüfte und Spalten können in den Talrandbereichen bis über 1 dm offen sein; einige sind mit Kluftsediment verfüllt, andere unverfüllt und somit Kluftporen. Zur Hydrogeologie der Kluftgrundwasserleiter nachfolgenden Spiegelpunkt.</p>
<i>Hydrogeologie / Bergwasser</i>	<p>Die bekannten Kluftwasservorkommen in der Hügelizeone Bramberg - Dreilinden – Dottenberg zirkulieren in den jungen, offenen Spalten und Klüften gemäss vorangehender Erläuterung. Sie lassen sich wie folgt charakterisieren:</p> <p>Kluftwasservorkommen treten generell von der Felsoberfläche an bis in Tiefen bis 200 m unter GOK auf. Die geplante Untergebauten liegen somit grösstenteils im Tiefenbereich möglicher Kluftwasservorkommen (Anhang 2). An den Talflanken können die Kluftwasservorkommen subartesischen Druckspiegel aufweisen. Daraus muss gefolgert werden, dass die hydraulischen Druckhöhen in den Tunnels vergleichbar sind mit der Mächtigkeit der Überdeckung.</p> <p>Die Kluftwasservorkommen erscheinen stochastisch verteilt, treten aber überwiegend in spröden Sandsteinen auf. Die Schüttmengen sind sehr variabel und reichen von wenigen l/m bis über 600 l/min im Extremfall.</p> <p>Bei einigen Kluftwasservorkommen war einerseits ein deutliches Nachlassen der Schüttmengen mit Zeit feststellbar, was auf ein Auslaufen ohne relevanten Nachfluss hinweist. Andererseits sind auch Vorkommen mit relevantem, nicht nachlassendem Zufluss aus grösseren, höher gelegenen Einzugsgebieten bekannt.</p> <p>Die Formationswässer Hydrogen-Karbonat-Typus mit bereits hoher Karbonat-Sättigung und ohne Betonaggressivität. Im oberflächennahen Bereich der Verwitterungszone des Felsen ähnlich atmosphärischen Bedingungen.</p> <p>Zu beachten ist die Grundwasser-Oberfläche im Lockergestein des Friedentals, die zwischen 2 bis 3 m unter Terrain liegt.</p>
<i>Quellverhalten</i>	<p>Konglomerate, Sandsteine und Siltsteine ohne quellende Tonmineralien. Untergeordnete Bänke aus Schlammsteinen und Mergeln (USM, LFM1, LFM3) mit quellbaren Tonmineralien. Quelldruck wegen geringer Aktivierbarkeit klein und in der Verwitterungszone des Felsen grösstenteils abgebaut.</p>
<i>Verwitterungsanfälligkeit</i>	<p>Sandsteine nicht bis gering verwitterungsanfällig. Mergel, Silt- und Schlammsteine teilweise wasserempfindlich und leicht verwitterbar.</p>
<i>Abrasivität / Verschleiss</i>	<p>Sandsteine mit generell sehr hohem Gehalt an verschleiss-scharfen Mineralen (>60%). Konglomerate SFM3 dominiert von sehr harten Quarziten</p>

und Kristallin-Geröllen (meist über 90%). Diese Begebenheit ist beim maschinellen Vortrieb (TBM und speziell TSM) zu beachten.

Gasgefährdung In grosser Tiefe (Kohlen Permo-Karbon) Gasvorkommen vorhanden. Ebenso bilden Kohlen in LFM1 wenig ergiebige Erdgasmuttergesteine, deren Gase sich in benachbarten Kluftporen-Reservoirs angesammelt haben können. Kurzfristige Überflutungsgefahr nicht auszuschliessen, allfällige Ausgasungen aber kurzfristig. Im Bereich der Kohlen der basalen Luzerner-Formation (LFM1) sind beim Gütschtunnel SBB Ausgasungen bekannt geworden; bei den neuen Stollenbauwerken Gütsch / Reussport konnten solche aber nicht festgestellt werden. Gasgefahrenstufe im Bereich von Kohlen 1 bis 3 (lokaler Extremfall), übriger Bereich 1.

7 ANMERKUNGEN ZUM UNTERTAGEBAU

- Die zu durchörternden Gesteine subalpiner Molasse von Luzern weisen in frischem Zustand relativ hohe Druckfestigkeiten auf, so dass sie hinsichtlich des maschinengestützten Vortriebs nicht mit der Mittelländischen Molasse (ZH, BE etc.) verglichen werden können.
- Der Gesteinsstapel hat wegen des im Vergleich zur Mittelländischen Molasse höheren diagenetischen Reifegrads und der generell geringen Tektonisierung kaum und wenn überhaupt überwiegend nur weitständige, aktivierbare Trennflächen. Dieser Umstand ist bei konventionellem, maschinellm Vortrieb unbedingt zu beachten:
 - Zusammen mit den hohen Anteilen verschleisscharfer Minerale und den relativ hohen einaxialen Druckfestigkeiten folgt, dass sie für einen Vortrieb mit Teilschnittmaschinen auch grössten Kalibers (z.B. Antriebsleistung von 300 kW) ungeeignet sind. Möglich sind dagegen gewisse Nachprofilierungen mit Teilschnittmaschinen.
 - Auch der Einsatz von Rippergeräten wird nur in der obersten Verwitterungszone des Felsen effizient sein, sonst aber ungeeignet.
 - Es ist bekannt, dass dieser Felsverband auch für Abbau- / Hydraulikhämmer verbreitet und speziell in unverwitterten Gesteinen sehr hinderlich ist, speziell, wenn keine genügende Freiheit vorliegt. In der Verwitterungszone des Felsen dagegen ist bei entsprechendem, aktivierbarem Trennflächengefüge ein Einsatz von Abbau- / Hydraulikhämmern meist möglich.
- Tunnelbohrmaschinen, z.B. für Pilotstollen, dagegen können in diesen Gesteinen gute Leistungen erbringen; zu beachten ist aber der hohe Verschleiss.
- Wird ein Sprengvortrieb in Betracht gezogen, muss beachtet werden, dass die vorliegenden Gesteine in frischem Zustand relativ hohe seismische Geschwindigkeiten (V_p)

bis > 4 km/s) und somit nur eine geringe Dämpfung haben. Daher pflanzen sich Sprengerschütterungen speziell in harten Sandsteinen ungehindert an die Oberfläche aus. Hinsichtlich eines möglichen Sprengvortriebs gilt es unbedingt die vulnerable Museggmauer zu beachten: Auch wenn der Ausbruchsquerschnitt im Vergleich zum Projekt «Parkhaus Musegg» nur sehr klein und daher deutlich weniger problematisch ist, sollten hier rechtzeitig spezielle, möglichst erschütterungsarme / -freie Vortriebsmethoden vorgesehen werden, einhergehend mit einem engmaschigen und Netz ausgereifter Erschütterungsmessungen.

Zu beachten sind diesbezüglich auch die erschütterungsempfindlichen Spitalbauten mit den teilweise hochempfindlichen Gerätschaften.

8 WEITERFÜHRENDE UNTERSUCHUNGEN

Das vorliegende Gutachten stellt die geologisch-geotechnischen Grundlagen auf Stufe Machbarkeitsstudie zur Verfügung.

Diese Beurteilungen sind für die künftige Projektierung gemäss Normen sia 118 / 198 / 199 / 267 stufengerecht aufzudatieren. Über die üblichen Beurteilungen hinausgehend sind im vorliegenden Fall speziell zu beachten:

- Geologische Erkundung
 - Felsdepressionen Friedental und Spitalstrasse.
 - Südabschnitt Hertensteinstrasse – Museggmauer.
 - Tiefe Kluftwasservorkommen.
- Angemessene Vortriebsmethoden unter Beachtung der Erschütterungsproblematik, speziell in den Abschnitten Museggmauer und Kantonsspital.
- Bautemethodik Unterquerung Friedental.

Keller+Lorenz AG

Geotechnik Geologie Hydrogeologie
Naturgefahren Altlasten



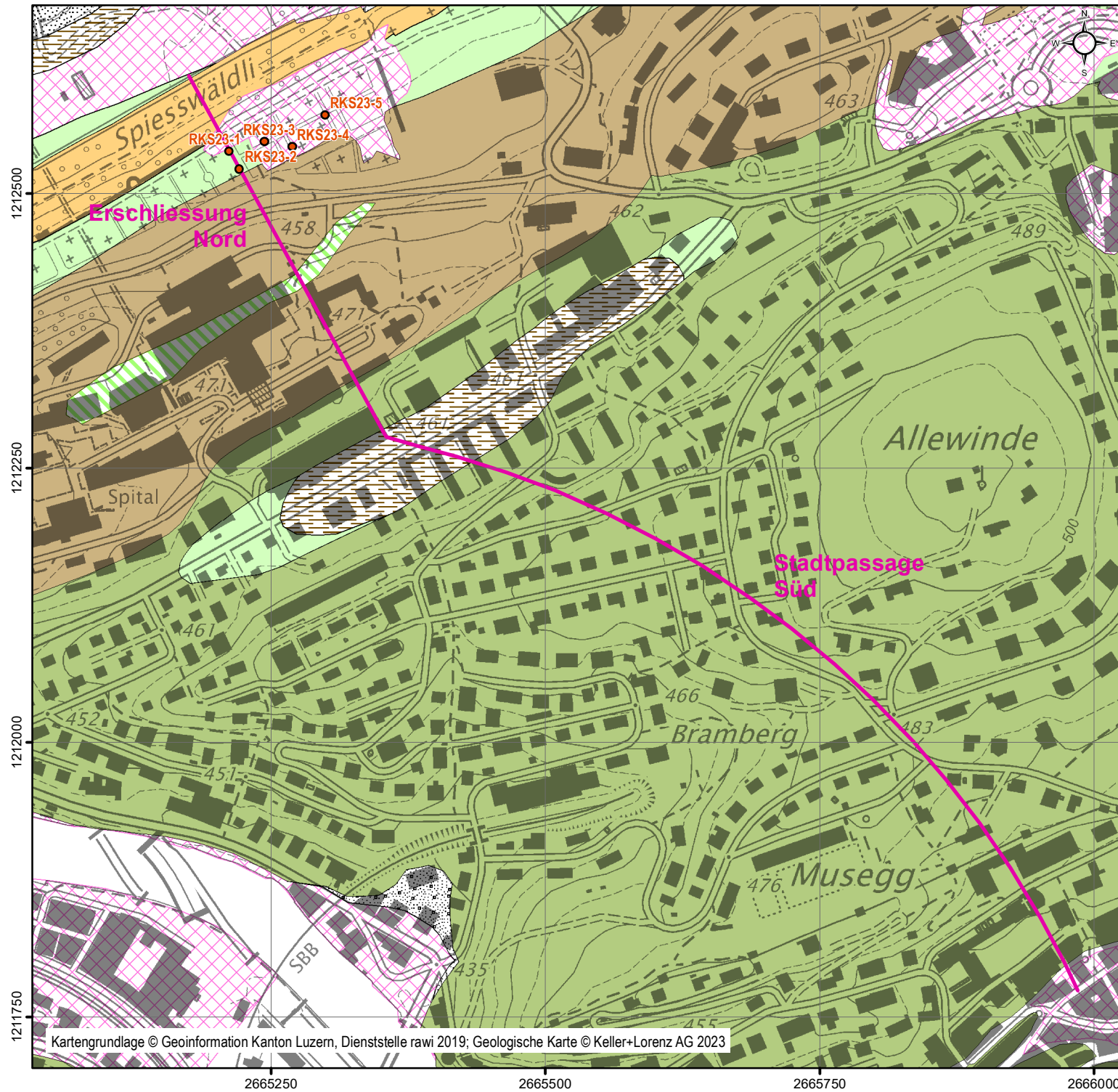
Dr. Beat Keller

Sachbearbeitung:

Grafische Auswertungen, Dataming:E. Strassmann, Dr. B. Keller
Geologie / Geotechnik: Dr. B. Keller
Review / Qualitätssicherung:M. Ehrler, Dr. B. Keller

Geologische Karte mit Profilschur

1:5'000



Legende

- Rammkernsondierungen
- Profillinie

Lockergesteine (> 2 - 3 m Mächtigkeit)

- Moränen
- Moräne geringmächtig (ca. 3 - 5 m Mächtigkeit)
- Hangsedimente
- Torfmoor / -boden
- Bachschwemmfächer
- Talalluvionen
- Kalktuff / Seekreide
- Rutschungen generell
- Eisz. Deltaschotter /-sande
- künstl. Auffüllung (geringmächtig)

Felsen (ca. < 2 - 3 m Lockergestein)

- Dach OMM / Basis OSM deltaisich
- OMM St.Galler-Formation
- OMM Luzerner-Formation

Kartengrundlage © Geoinformation Kanton Luzern, Dienststelle rawi 2019; Geologische Karte © Keller+Lorenz AG 2023



Luzern, 16. Februar 2023 BK/es
 I:\2022\6356_Stadtpassage, Luzern\GIS
 \6356_Übersicht_Geologie_5000_.mxd

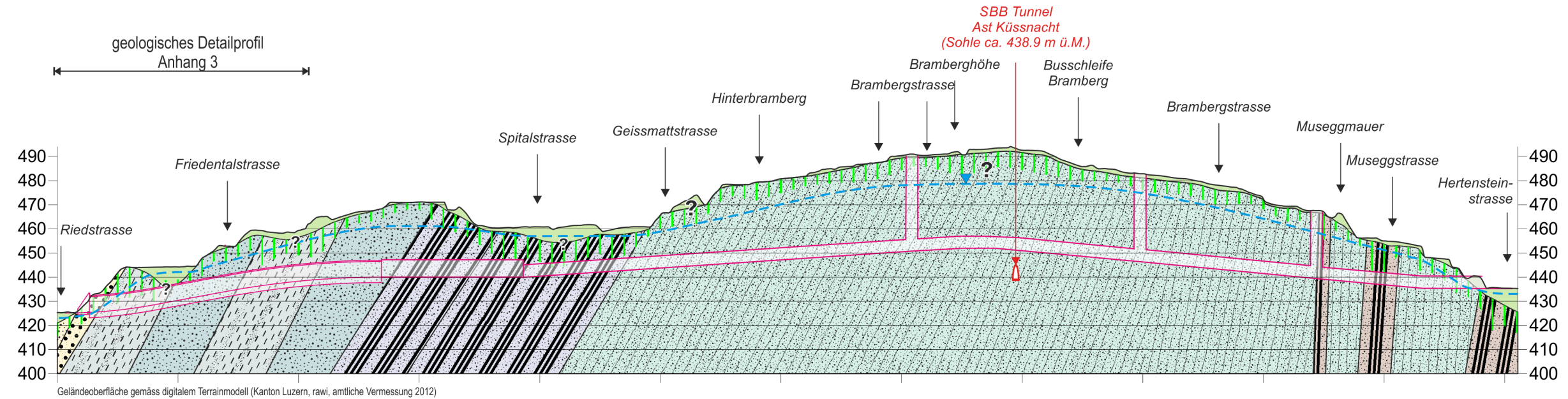
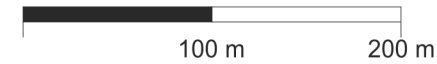
Geologisches Profil - Variante Riedstrasse

1 : 4'000 / 2'000

NW
2'665'175 / 1'212'607

SE/WNW
2'665'355 / 1'212'278

SSE
2'665'985 / 1'211'774



0-1	2	0-1	2	1	0-1	1	0-1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
Junge offene Spalten möglich								Kluftwasservorkommen möglich				Junge offene Spalten möglich		Gletschertöpfe					
Stufe 1										um Kohlen Stufe 1 - 3 (Extremfall)									
<1Ø	<2Ø	0 bis <1Ø	<2Ø	>2Ø	<2Ø	>2Ø	>2Ø	<2Ø	<1Ø										
Kluftwasser																			
Geol. Risiken																			
Tektonisierung Klüftigkeit																			
Quellverhalten																			
Gasgefährdung																			
Firstüberdeckung																			

Einstufung
0 unbedeutend
1 gering / klein
2 mittel
3 gross / stark

Felsen

Obere Süsswassermolasse (OSM)

OSM1 Sandsteine
Sandsteine, plattig bis gebankt, Siltstein-Laminae, mässig-gut zementiert, frisch hart

Obere Meeresmolasse (OMM) - St. Galler Formation

SFM3 Konglomerate / OSM deltaisich
Bunte Kristallin-Konglomerate mit Sandstein-Matrix, Sandstein-Zwischenschichten, abrasiv, hart.

SFM1 Sandstein-Serie
Sandstein-Abfolgen: Bankig bis Schrägschichtung, Siltstein-Laminae, gegen oben zunehmend heterolithische Zwischenschichten, Geröllschnüre, gut zementiert, frisch hart.

SFM2 Siltstein-Serie
Massige bis laminierte, sandige Siltsteine und siltige Feinsandsteine, mit Sandstein-Bänken und Geröllschnüren, Fossil-reich, mässig-gut zementiert, variable Gesteinhärte, frisch meist mässig hart, einzelne Bänke sehr hart.

Obere Meeresmolasse (OMM) - Luzerner Formation

Dach Luzerner Formation LFM3 Regressive, heterolithische Serie
Silt- und Schlammsteine mit Sandstein-Einschaltungen, heterolithisch laminierte Abfolgen, lokal dünne Kohleflöze möglich, mässig-gut zementiert, variable Gesteinhärte.

Sandstein-Abfolgen: plattig-parallel geschichtet bis massiv, Schlickgerölle, gut zementiert, frisch hart.

Unterschiedlich mächtige **Zwischenkomplexe aus Süsswassermolasse:** Silt- und Schlammsteine, Mergel, Sandstein-Bänke sowie dünne Süsswasserkalke und Kohleflöze (schwarz strichiert).

Verwitterungszone des Felsen (R0 - R2, schematisch)

Lockergestein

Lockergesteine

Hydrogeologie

—▽— Hang- / Kluftwasser (schematisch)

? Unsichere Prognose, bei Bedarf situativ sondieren.

Ungefähre Lage der Stadtpassage

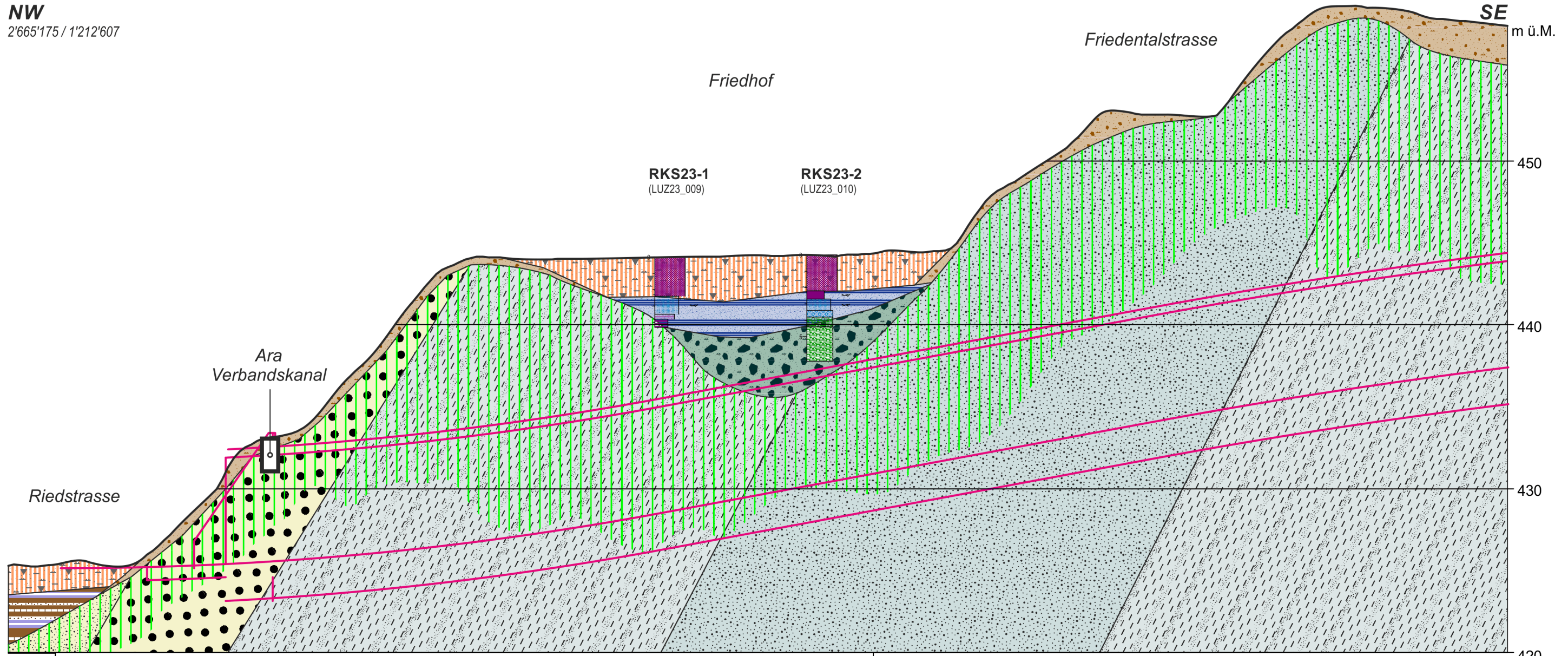
Plangrundlage © Emch+Berger WSB AG / SA, 28.09.2022

Ausgehend von der dargestellten mittleren Lage der Felsoberfläche ist grundsätzlich mit einer kleinräumigen, kaum prognostizierbaren Reliefamplitude von mind. ± 2 m zu rechnen.

Geologisches Detailprofil (Variante Riedstrasse)

1 : 500 / 250

NW
2'665'175 / 1'212'607



Plangrundlage © Emch+Berger WSB AG / SA, 28.09.2022

<p>Legende</p> <ul style="list-style-type: none">  Künstliche Auffüllungen Unterschiedlich siltige Kies-Sand-Gemische mit variablem Anteil an Steinen, Blöcken, tw. organischen Beimengungen und Fremdstoffen. Heterogen gelagert.  Hangsedimente / umgelagerte Moränenablagerungen Unterschiedlich tonig-siltiger Sand tw. mit Kies, Steinen, Blöcken und organischen Beimengungen, Diamiktite, Zwischenschichten aus tonigem Silt. Sehr locker bis locker, schichtweise mitteldicht gelagert oder weich.  Späteiszeitliche Deltaablagerungen Unterschiedlich siltiger bis fast sauberer Sand mit vereinzelt Kies sowie Zwischenschichten aus tonigem Silt, heterolithisch. Locker bis mitteldicht, untergeordnet locker gelagert oder weich bis mittelsteif.  Moränenablagerungen Dicht bis sehr dicht gelagerte Diamiktite, meist stark siltigem Sand mit wenig Kies und Steinen, tw. grössere Findlingsblöcke aus Hartgesteinen. 	<ul style="list-style-type: none">  OSM1 Sandsteine Sandsteine, plattig bis gebankt, Siltstein-Laminae, mässig-gut zementiert, frisch hart  SFM3 Konglomerate / OSM deltaisch Bunte Kristallin-Konglomerate mit Sandstein-Matrix, Sandstein-Zwischenschichten, abrasiv, hart.  SFM1 Sandstein-Serie Sandstein-Abfolgen: Bankig bis Schrägschichtung, Siltstein-Laminae, gegen oben zunehmend heterolithische Zwischenschichten, Geröllschnüre, gut zementiert, frisch hart.  SFM2 Siltstein-Serie Massige bis laminierte, sandige Siltsteine und siltige Feinsandsteine, mit Sandstein-Bänken und Geröllschnüren, Fossil-reich, mässig-gut zementiert, variable Gesteinshärte, frisch meist mässig hart, einzelne Bänke sehr hart.  Verwitterungszone des Felsen (R0 - R2, schematisch) 	<ul style="list-style-type: none">  Hang- / Kluffwasser (schematisch)  ? Unsichere Prognose, bei Bedarf situativ sondieren.  Ungefähre Lage der Stadtpassage
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

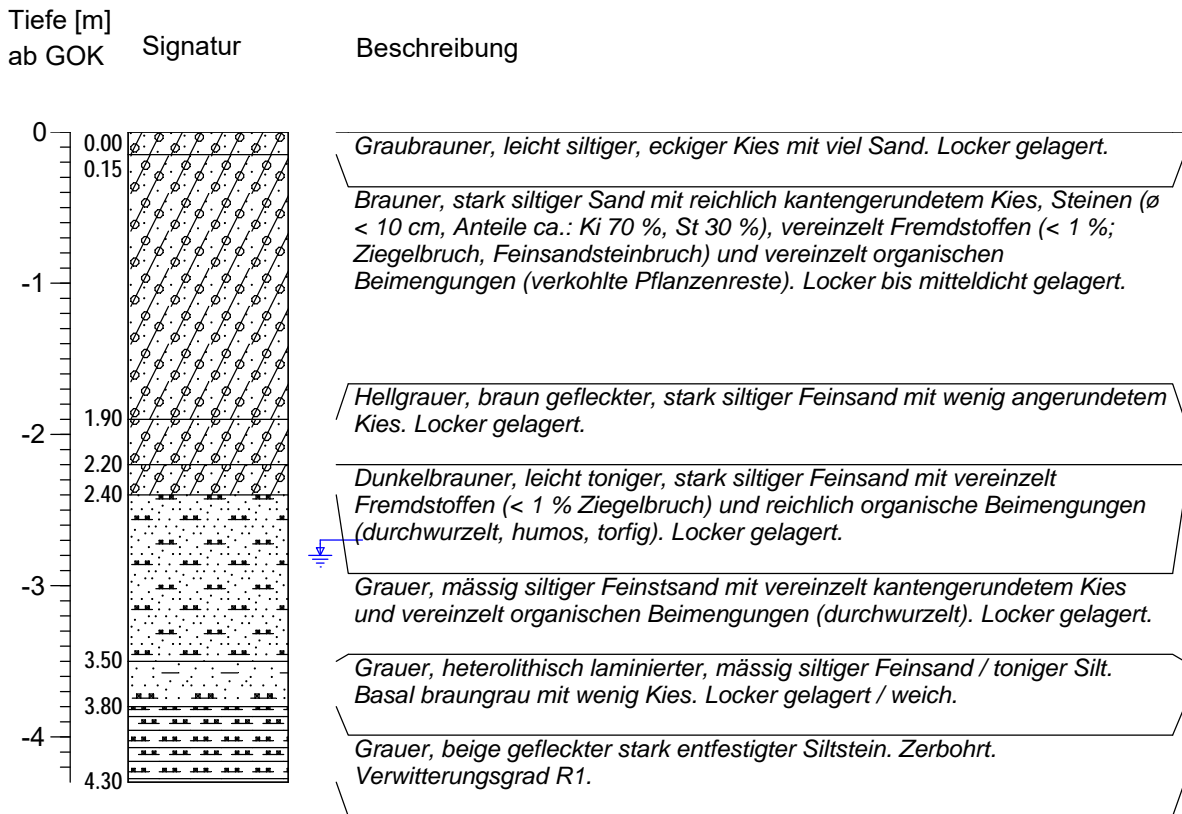
Ausgehend von der dargestellten mittleren Lage der Felsoberfläche ist grundsätzlich mit einer kleinräumigen, kaum prognostizierbaren Reliefamplitude von mind. ± 2 m zu rechnen.

Bauherr:
 Sondierfirma: UmweltMess GmbH, Lützelfüh-Goldbach BE
 Dossier: **22 6356**

Rammkernsondierung **RKS23-1**

Massstab: **1 : 50**

Profilaufnahme: SB
 Aufnahme datum: 07.02.2023
 Koordinaten: 2'665'212.0 / 1'212'538.4 Terrainhöhe: 444.11 m.ü.M.



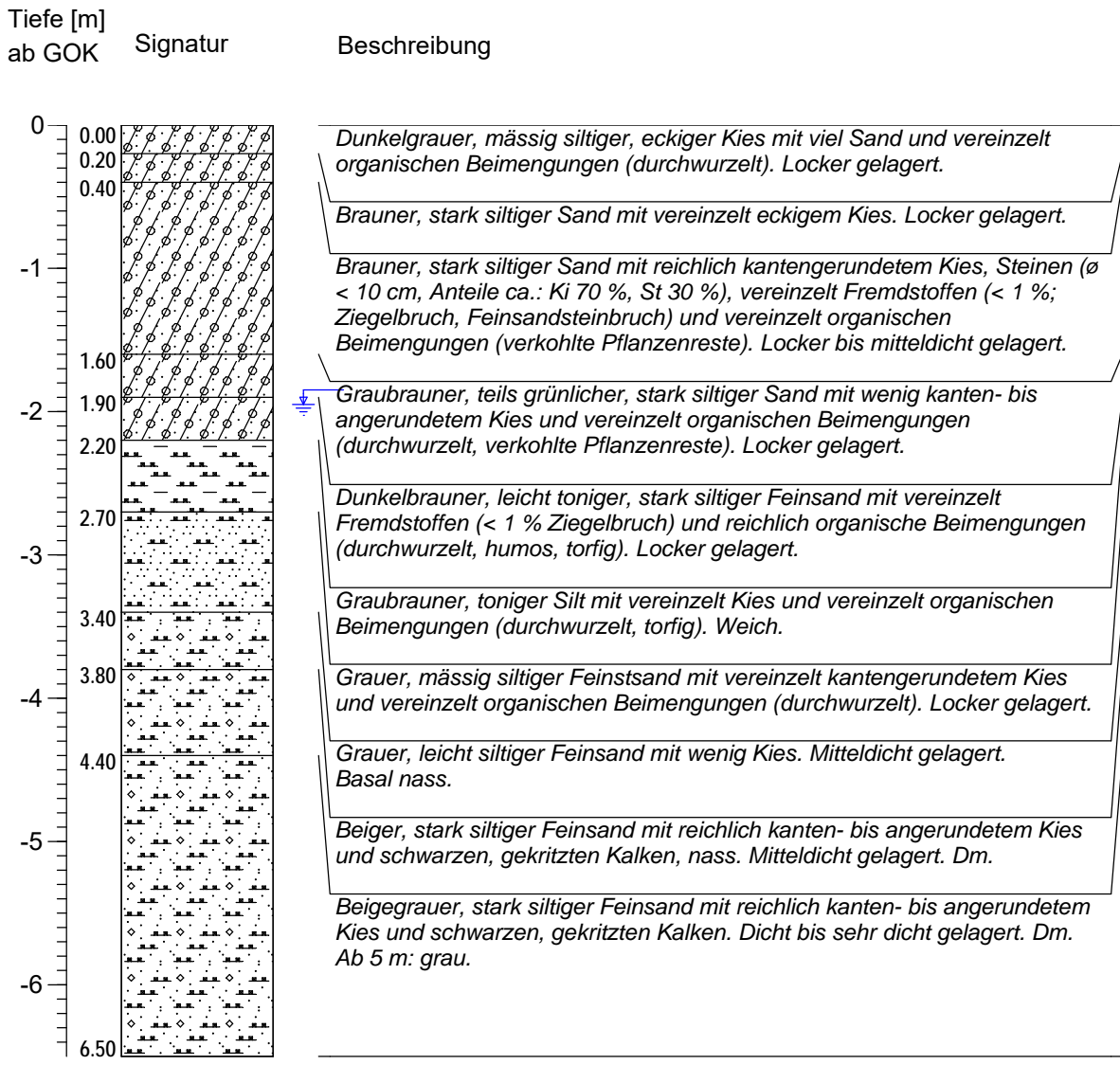
Proben:
 Hydrogeologie: Ab OKT: 2.80 m, (06.02.2023, 10:30)

Bauherr:
 Sondierfirma: UmweltMess GmbH, Lützelfüh-Goldbach BE
 Dossier: **22 6356**

Rammkernsondierung **RKS23-2**

Massstab: **1 : 50**

Profilaufnahme: SB
 Aufnahmedatum: 07.02.2023
 Koordinaten: 2'665'221.5 / 1'212'522.4 Terrainhöhe: 444.27 m.ü.M.



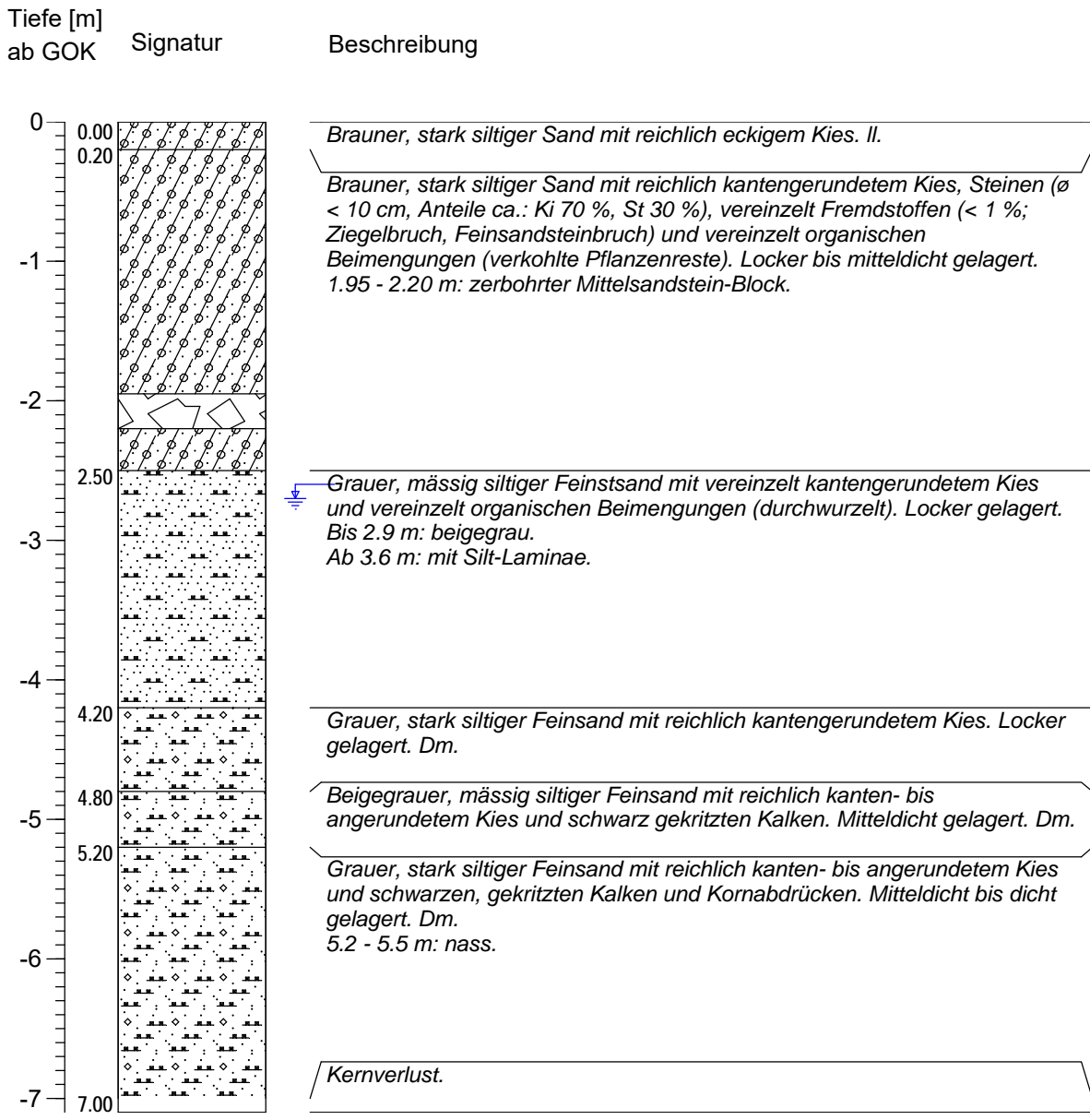
Proben:
 Hydrogeologie: Ab OKT: 1.95 m, (06.02.2023, 13:30)

Bauherr:
 Sondierfirma: UmweltMess GmbH, Lützelfüh-Goldbach BE
 Dossier: **22 6356**

Rammkernsondierung **RKS23-3**

Massstab: **1 : 50**

Profilaufnahme: SB
 Aufnahmedatum: 07.02.2023
 Koordinaten: 2'665'244.3 / 1'212'547.1 Terrainhöhe: 443.9 m.ü.M.



Proben:
 Hydrogeologie: Ab OKT: 2.70 m, (06.02.2023, 11:30)

Bauherr:

Rammkernsondierung RKS23-4

Sondierfirma: UmweltMess GmbH, Lützelfüh-Goldbach BE

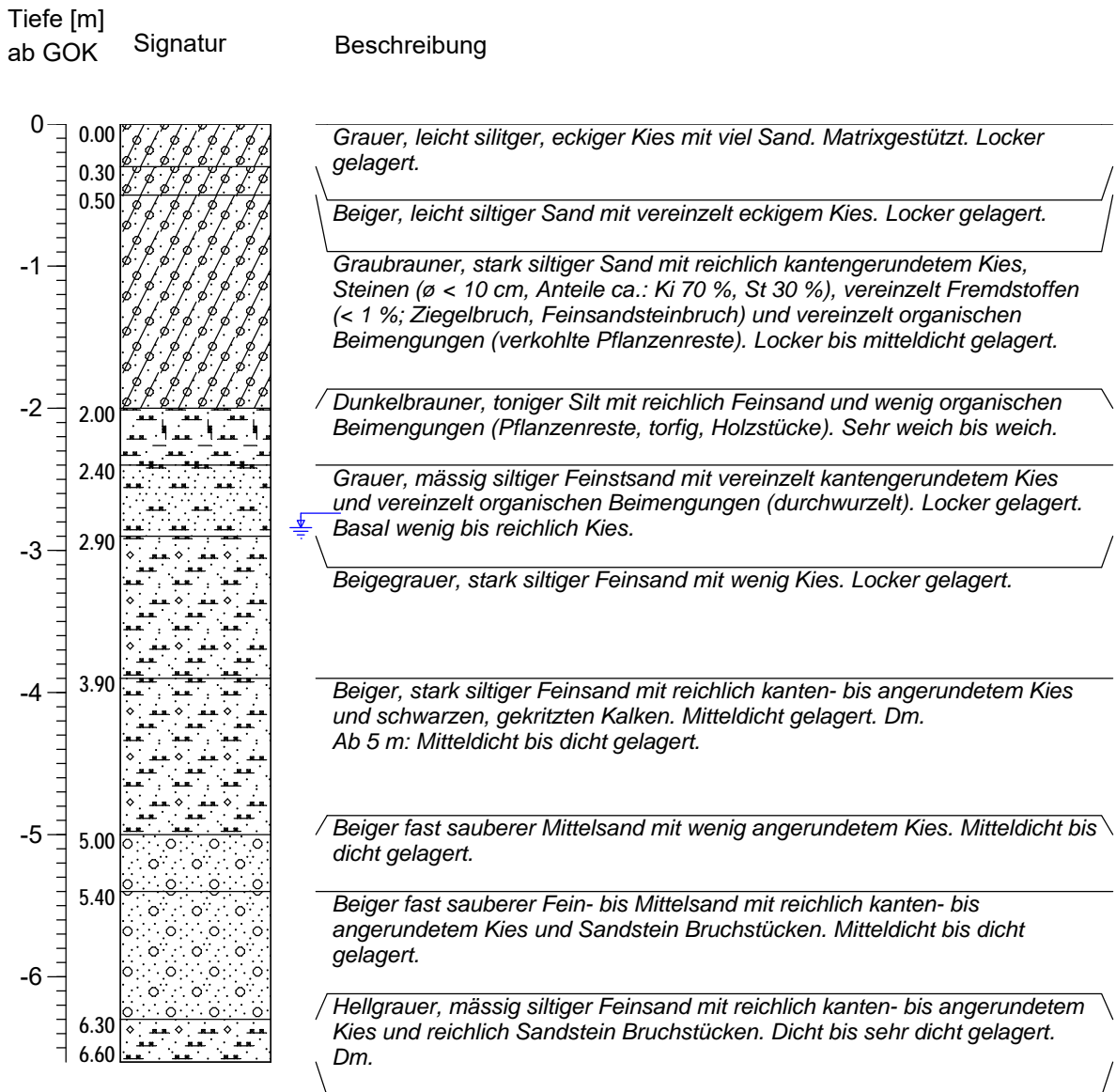
Dossier: 22 6356

Massstab: 1 : 50

Profilaufnahme: SB

Aufnahmedatum: 07.02.2023

Koordinaten: 2'665'269.6 / 1'212'542.4 Terrainhöhe: 443.87 m.ü.M.



Proben:

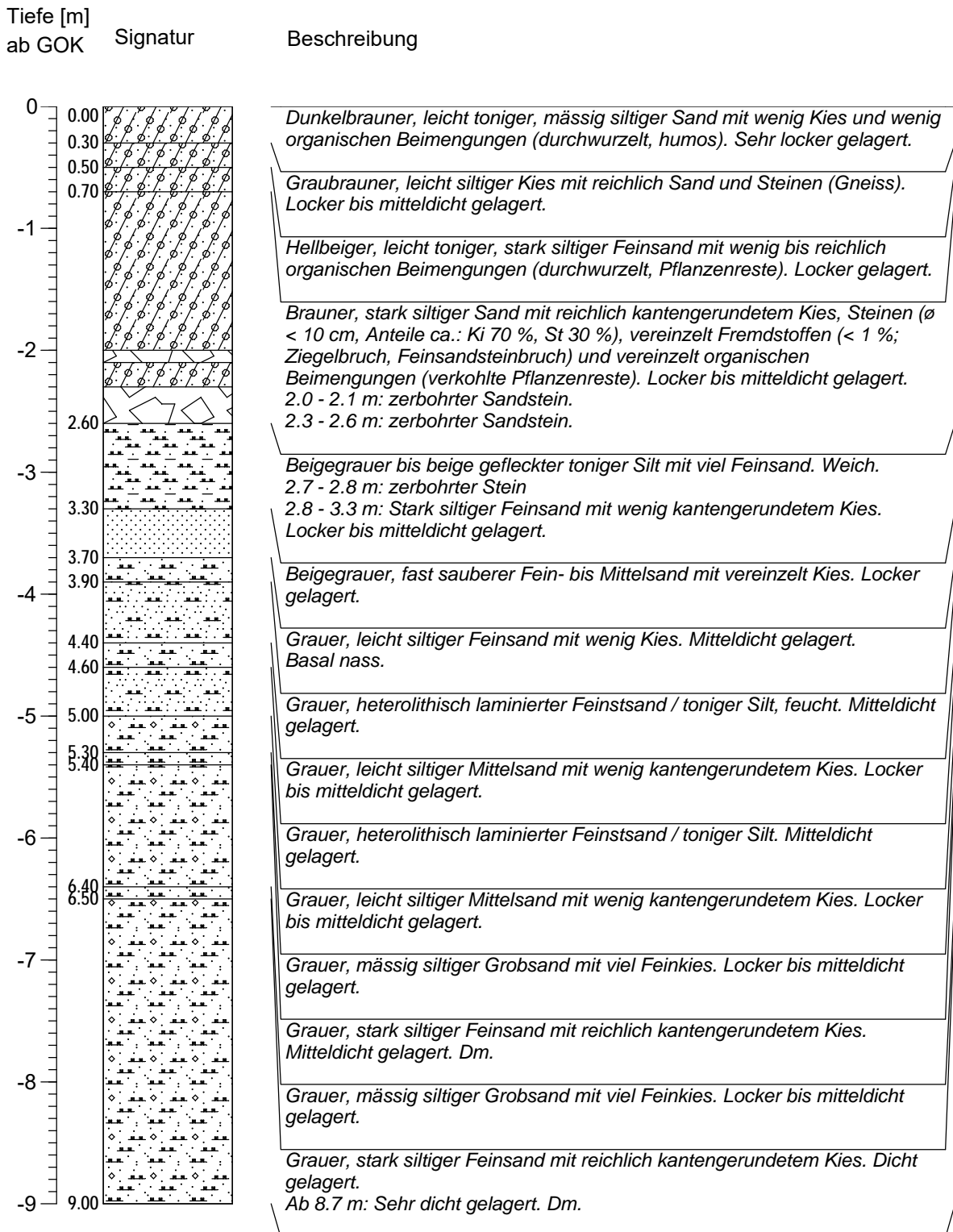
Hydrogeologie: Ab OKT: 2.84 m, (06.02.2023, 14:00)

Bauherr:
 Sondierfirma: UmweltMess GmbH, Lützelfüh-Goldbach BE
 Dossier: **22 6356**

Rammkernsondierung **RKS23-5**

Massstab: **1 : 50**

Profilaufnahme: SB
 Aufnahme datum: 06.02.2023
 Koordinaten: 2'665'299.6 / 1'212'571.5 Terrainhöhe: 443.99 m.ü.M.



Proben:

Hydrogeologie: Keine GW-Messung möglich

Tribschenstr. 61 6005 Luzern E-Mail buero@keller-lorenz.ch Tel 041 310 51 02 Fax 041 312 50 76