



20. Januar 2020

Baustein "Geologie"

Variantenevaluation Mitholz

Désirée Föry, Generalsekretariat VBS, Raum und Umwelt VBS

Baustein "Geologie"

Inhalt

1	Ausprägungen Baustein "Geologie"	3
1.1	Ausprägung GeoA1: Baugrundmodell.....	3
1.1.1	GeoA1a Flue.....	3
1.1.2	GeoA1b Dreispitz.....	3
1.1.3	GeoA1c Trümmerzone Explosionsschutt	4
1.1.4	GeoA1d Lockergesteinsfüllung/ Talfüllung	4
1.1.5	GeoA1e Hydrogeologie.....	5
1.2	Ausprägung GeoA2: Naturgefahren	5
1.2.1	GeoA2a Steinschlag	5
1.2.2	GeoA2b Murgang/ Hochwasser	6
1.2.3	GeoA2c Lawine	6
1.2.4	GeoA2d Erdbeben	7
1.3	Ausprägung GeoA3: Abbaubarkeit, Stabilisierung, Sicherung Lockergesteine	7
1.3.1	GeoA3a Tagbau im Lockergestein.....	7
1.3.2	GeoA3b Bergmännischer Abbau im Lockergestein	8
1.4	Ausprägung GeoA4: Abbaubarkeit, Stabilisierung, Sicherung versackter Fels	9
1.4.1	GeoA4a Tagbau im versackten Fels	9
1.4.2	GeoA4b Bergmännische Arbeiten im versackten Fels	9
1.5	Ausprägung GeoA5: Gesamtstabilität	9
1.5.1	GeoA5a Stabilität Böschung	10
1.5.2	GeoA5b Einwirkung von Abtragung	10
2	Relevanz der Ausprägungen für die Varianten	11
3	Abtragung Dreispitz.....	12
4	Rechtliche Aspekte	12
5	Weitere Machbarkeitsrisiken/ Realisierungshindernisse	13
6	Anhang	15

1 Ausprägungen Baustein "Geologie"

1.1 Ausprägung GeoA1: Baugrundmodell

Die Geologie des Baugrundes beeinflusst massgeblich die Arbeiten am ehemaligen Munitionslager Mitholz. Dabei sind die folgenden geologischen Elemente zu unterscheiden:

1.1.1 GeoA1a Flue

Der kompakte, massig-dickbankige Gebirgskörper der Flue besteht aus Kalkstein und ist gegen oben stark geklüftet. Das Gebirge der Flue wird von diagonal zur Kavernenanlage aber auch von parallel zur Fluekante verlaufenden, steilstehenden Störungszonen durchzogen. Diese Mitholz-Störung begrenzt die Flue im Westen und stellt die bedeutendste Störungszone in diesem Gebirgskörper dar. Talseitig des Bahnstollens ist zudem mindestens eine durchgehende Felsspalte anzunehmen. Diese Spalte West sowie die Mitholz-Störung und deren Seitenäste verlaufen auch unterhalb des Bahnstollens.

Die bis einige Meter breite Störungszone ist teilweise mit einer fein-mittelkörnigen Matrix mit darin eingestreuten Steinen und Blöcken gefüllt. Die Steine und Blöcke stecken lose darin oder sind gegeneinander verkeilt.

Meilensteine/ Etappen: Zur Klärung, ob parallel zur Flue verlaufende und allenfalls instabile Felslamellen vorliegen, empfehlen die Geologen 12 schräge Bohrungen von insgesamt 1'500 Bohrmeter inklusive Bohrlochscans, Laboruntersuchungen und Messungen mittels Extensometer.

Machbarkeitsrisiken: Die Bohrarbeiten können nur ausserhalb der Lawinensaison durchgeführt werden. Im Falle von breiten Störzonen können Bohrungen jedoch nicht bis zur Endtiefe realisiert werden. Die gewünschten Informationen könnten in diesem Fall nicht gewonnen werden.

Umsetzung [Jahre]	Organisation	Kosten [Mio. CHF]	Ressourcen personell [h]	Ressourcen infrastrukturell
1	VBS, Geologen, Externe Bohrlochvermessungen, Externe Felslabor	2	3000	4 Bohrplätze à 3 Schrägbohrungen zwischen 120 und 150 m Länge auf der Flue

Tabelle 1 Rahmenbedingungen Ausprägung GeoA1a Flue

1.1.2 GeoA1b Dreispitz

Der Dreispitz besteht infolge der Einwirkung durch die Explosion 1947 aus versacktem Fels. Er ist gegenüber dem Gebirge der Flue in seinem Schichtverband gestört und weist schlechtere Gebirgseigenschaften als die Flue auf. Es ist anzunehmen, dass die Trennflächen der Schichtung und die Klüfte aufgrund der Explosionswirkung geweitet sind und reduzierte Schereigenschaften haben, was sich auf die Stabilität auswirken kann. Zudem könnte der Fels westlich des Bahnstollens durch die unmittelbare Explosionseinwirkung zusätzlich geschwächt sein.

Bergseitig wird der Gebirgskörper des Dreispitzes durch die Mitholz-Störung und deren Seitenäste begrenzt. Die Füllung der Störungszone hat sich teilweise bereits entleert.

Es liegen Hinweise in Form von frisch gespaltenen Felsblöcken vor, dass der Firstbereich des heute noch zugänglichen Bahnstollens unter dem Dreispitz wegen fehlender Einspannung nicht selbsttragend ist. Der Dreispitz lehnt sich gegen Osten bergseitig an die Flue an und weist im Westen ein Widerlager durch den Explosionsschutt auf.

Meilensteine/ Etappen: Zur Klärung von horizontalen Ablöseflächen über dem Bahnstollen im Bereich des Dreispitzes empfehlen die Geologen vier vertikale Bohrungen zwischen 60 und 70 m Länge (insgesamt ca. 260 Bohrmeter). Die Installation der dafür benötigten Gerüste auf dem Dreispitz müsste von einem spezialisierten Gerüstbauer per Helikopter erfolgen.

Machbarkeitsrisiken: Die Bohrarbeiten würden exponiert auf Gerüsten im Felsen des Dreispitzes erfolgen. Die Arbeiten können nur ausserhalb der Lawinensaison durchgeführt werden. Zudem müssen Fluchtwege für die Bohrmannschaft bei Gewitter garantiert sein.

Umsetzung [Jahre]	Organisation	Kosten [Mio. CHF]	Ressourcen personell [h]	Ressourcen infrastrukturell
0.5	VBS, Geologen, Gerüstbauer (extern), Bohrmannschaft (extern), Messspezialisten (extern)	0.6	750	4 Bohrplätze auf dem Dreispitz, Gerüste, Helikopter

Tabelle 2 Rahmenbedingungen Ausprägung GeoA1b Dreispitz

1.1.3 GeoA1c Trümmerzone Explosionsschutt

Dieses spezielle Lockergestein grenzt südlich und nördlich des Dreispitz entlang des verstürzten Bahntrasses an den Fuss der Flue. Die Trümmerzone weist von der Westwand der Flue eine Breite von rund 150 m und eine maximale Höhe von rund 30 m auf. Dieser Schutt lagerte sich nach der Explosion auf dem Ausbruchmaterial der Kavernenanlage oder direkt auf den obersten Ablagerungen der Talfüllung (Hangschutt, Bachschutt, Bergsturzmaterial) ab. Die Basisfläche des Explosionsschuttes dürfte generell ca. auf Kote 980 m ü. M. liegen.

Der Explosionsschutt ist blockig bis grobblockig. Die Blöcke sind ungeregelt übereinandergestapelt und gegenseitig verkeilt. Es ist mit Hohlräumen aber auch mit Verfüllungen grob-, mittel- und feinkörniger Zusammensetzung zu rechnen.

Durch den Explosionsschutt ist es zu einem Grundbruch gekommen, der bis zur damaligen Kantonsstrasse gereicht hat. Der genaue Tiefenverlauf dieser Bewegungsfläche ist nicht bekannt, kann aber einen geschätzten Versatz der Basisfläche von bis zu 10 m bewirkt haben.

Im Norden an den Dreispitz angrenzend lagert über dem Explosionsschutt Felsausbruchmaterial. Dieses wurde im Zuge von Bauarbeiten für einen Abluftstollen über einen Fensterstollen in der Flue auf den Explosionsschutt geschüttet. Das lose geschüttete Ausbruchmaterial weist aufgrund der Schüttneigung einen niedrigeren inneren Reibungswinkel (ca. 35° bis 40°) auf als der Explosionsschutt (ca. 45°).

Meilensteine/ Etappen: Eine Gesamtschau aller verfügbaren geologischen Unterlagen zur Beschaffenheit und Zusammensetzung des Explosionsschuttes ist zu erstellen.

Machbarkeitsrisiken: Die Unterlagen müssen in einem ersten Schritt zusammengetragen und anschliessend gesichtet, sortiert und digitalisiert werden. Die Kosten dazu werden in Tabelle 3 nicht ausgewiesen. Der Endtermin des Meilensteins ist von der Dokumentensichtung abhängig.

Umsetzung [Jahre]	Organisation	Kosten [Mio. CHF]	Ressourcen personell [h]	Ressourcen infrastrukturell
1	VBS (Beschaffung Unterlagen), Geologen (Sichtung, Dokumentation, Befund)	0.15	500	Vorliegen Dokumente (physisch und digital)

Tabelle 3 Rahmenbedingungen Ausprägung GeoA1c Trümmerzone Explosionsschutt

1.1.4 GeoA1d Lockergesteinsfüllung/ Talfüllung

Es handelt sich um Bachschutt (Stägenbach, Bruchgräbli), Talalluvionen der Kander und Bergsturzmaterial des grossen nacheiszeitlichen Bergsturzes von Kandersteg. Das Material ist kiesig, steinig bis blockig mit einer fein- bis mittelkörnigen Matrix als Füllung zwischen den Grobkomponenten.

Meilensteine/ Etappen: Hinweise auf Schichtverläufe und die Zusammensetzung des Lockergesteins liegen bereits vor. Die Geologen empfehlen geophysikalische und geoelektrische Messungen, die den Untergrund genauer abbilden können. Dazu sollen insgesamt sechs Profilmesslinien mittels hochauflösender Refraktion, Reflexionsseismik und geoelektrischer Tomographie inklusive vorgängiger Radarmessungen erstellt werden.

Machbarkeitsrisiken: Zur Abklärung der Profilsuren soll ein Georadar eingesetzt werden. Entscheidet man sich für derartige Untersuchungen muss zwingend abgeklärt werden, welchen Einfluss die geophysikalischen und geoelektrischen Ströme auf die Munitionsrückstände haben können. Weiter könnte die Verwendung von Geräten, die Erschütterungen erzeugen (seismische Geräte, Rammgeräte), kritisch sein.

Umsetzung [Jahre]	Organisation	Kosten [Mio. CHF]	Ressourcen personell [h]	Ressourcen infrastrukturell
0.5	VBS, Geologen	0.3	750	Felsmessungen, evtl. lokale forstliche Auslichtungsarbeiten

Tabelle 4 Rahmenbedingungen Ausprägung GeoA1d Lockergesteinsfüllung/ Talfüllung

1.1.5 GeoA1e Hydrogeologie

Der Grundwasserspiegel im Kandertal liegt im Lockergestein und auf einer Höhe von ca. 950 m ü. M. (im Bereich der Zufahrt zur Anlage) bis ca. 975 m ü. M. (im Bereich Stägenbach). Bergseitig sind im östlichsten Teil des ehemaligen Munitionslagers Mitholz Bergwasserzutritte bekannt. Diese hatten nach der Explosion 1947 den Verbindungstollen zwischen den Munitionslagerungskammern teilweise geflutet.

Es liegt die Vermutung nah, dass im Bereich des Bahnstollens wassergängige Klüfte durch die Mitholz-Störung bis unter das Talgrundwasserniveau reichen. Entlang dieser talrandparallel verlaufenden Zonen könnte Grundwasser im Sinne eines hydrogeologischen Bypasses zirkulieren.

Durch die grossporige Zusammensetzung des Explosionsschuttes und des Dreispitzes ist bei Starkniederschlägen, Schneeschmelze oder lang andauernden Niederschlagsperioden temporär oder saisonal mit lokal versickerndem Meteorwasser zu rechnen.

Die Hydrogeologie wird im Rahmen des Bausteins "Wasser/ Boden" eingehend bearbeitet.

1.2 Ausprägung GeoA2: Naturgefahren

1.2.1 GeoA2a Steinschlag

Von der Flue und vom Dreispitz ist mit Steinschlag zu rechnen. Eine entsprechende Fachbeurteilung¹ liegt vor. Insbesondere der Dreispitz stellt aufgrund seiner geologischen Instabilität ein Risiko dar. Um dieses zu senken, wird die Abtragung dieser Felsformation vor der eigentlichen Räumung der Munitionsrückstände in Erwägung gezogen (vgl. auch Kapitel 2).

Meilensteine/ Etappen: Die Geologen empfehlen grundsätzlich zur Gewährleistung der Arbeitssicherheit im übertägigen Bereich der Anlage Felsräumungen und die Installation von Schutznetzen.

Machbarkeitsrisiken: keine

¹ Mitholz WE 1051 Geologie und Felsräumung, Geologischer Bericht Naturgefahren, CSD, 2019

Umsetzung [Jahre]	Organisation	Kosten [Mio. CHF]	Ressourcen personell [h]	Ressourcen infrastrukturell
1	VBS, Monitron	0.5	500	Feldarbeiten

Tabelle 5 Rahmenbedingungen Ausprägung GeoA2a Steinschlag

1.2.2 GeoA2b Murgang/ Hochwasser

Im Süden der Anlage befindet sich der im Bereich des ehemaligen Bahnstollens stark murgangfähige Stägenbach. Er verläuft entlang einer grossen Rutschungs- und Sackungsmasse. Dieses Gebiet liefert bei Niederschlägen das Schuttmateriale für Murgänge. Extremereignisse können den Bereich um das Südende des Bahnstollens beeinträchtigen. Der Stägenbach ist aufgrund seines Potenzials massiv verbaut.

Nördlich des aktuellen Zugangs in das ehemalige Munitionslager Mitholz verläuft das ebenfalls murgangfähige Bruchgräbli.

Das Hochwasserereignis der Kander im Jahr 2011 überflutete das Gebiet westlich der Anlage. Das ehemalige Munitionslager selbst wurde dadurch nicht direkt beeinträchtigt.

Meilensteine/ Etappen: Durch die Installation von entsprechenden Alarmvorrichtungen und der Einbezug dieser ins Alarmdispositiv des VBS zum ehemaligen Munitionslager Mitholz soll eine frühzeitige Alarmierung bei einem Murgang oder einem Hochwasser ermöglichen.

Machbarkeitsrisiken: Der Stägenbach und das Bruchgräbli sind murgangfähig und können den Aussenbereich im Süden und den aktuellen Zugangsweg zur Anlage beeinträchtigen. Es ist ein Sicherheitsdispositiv für kritische Witterungsbedingungen zu erstellen.

Umsetzung [Jahre]	Organisation	Kosten [Mio. CHF]	Ressourcen personell [h]	Ressourcen infrastrukturell
0.5	VBS, Monitron	0.1	500	Feldarbeiten, IT-Arbeiten

Tabelle 6 Rahmenbedingungen Ausprägung GeoA2b Murgang/ Hochwasser

1.2.3 GeoA2c Lawine

Nach der Gefahrenkarte des Kantons Bern befindet sich das ehemalige Munitionslager Mitholz im gelben Gefahrenbereich von Lawinen.

Meilensteine/ Etappen: Zur frühzeitigen Alarmierung bei einem Lawinenabgang soll die Lawinenwarnung der zuständigen Behörden ins Überwachungs- und Alarmierungsdispositiv des VBS zum ehemaligen Munitionslager Mitholz integriert werden.

Machbarkeitsrisiken: keine

Umsetzung [Jahre]	Organisation	Kosten [Mio. CHF]	Ressourcen personell [h]	Ressourcen infrastrukturell
0.2	VBS, Monitron	0.02	100	Administrative Arbeiten, IT-Arbeiten

Tabelle 7 Rahmenbedingungen Ausprägung GeoA2c Lawine

1.2.4 GeoA2d Erdbeben

Da Erdbeben ein wesentlicher Risikofaktor für das ehemalige Munitionslager Mitholz und dessen Umgebung ist, wurde die Stabilität der Anlage – insbesondere des verstürzten Bahnstollens – bei Erdbeben verschiedener Stärken vertieft untersucht². Die Stabilität hängt dabei massgeblich von der geologischen Struktur und Festigkeit der Felsmassen rund um die Kaverne ab. Die Simulationen von Erdbeben verschiedener Stärken brachten folgende Erkenntnisse:

- Ein Kollaps der verstürzten Kaverne ist bei einer gewissen Erschütterung (maximale Beschleunigung (Peak Ground Acceleration, PGA) von >0.2 g oder maximale Geschwindigkeit (Peak Ground Velocity, PGV) von >200 mm/s) möglich. Zu Niederbrüchen oder teilweisem Verstürzen kann es bereits bei PGA >0.1 g oder PGV >60 mm/s kommen. Bei diesen Szenarien ist die Arbeitssicherheit nicht gegeben.
- Lokale Niederbrüche aus der Mitholzstörung und ein teilweises Verstürzen des Bahnstollens können mit einer Wahrscheinlichkeit von 0.002 pro Jahr (Unsicherheiten 0.3^{-3} bis 5^{-3}) auftreten. Die Wahrscheinlichkeit für grosse Niederbrüche bis zum Kollaps liegt bei 4.0^{-4} pro Jahr (Unsicherheiten 0.6^{-4} bis 1.3^{-3}). Dies entspricht in etwa der Einschätzung in der Risikoanalyse des VBS vom 27. September 2018³.
- Die Experten empfehlen, die Erdbebengefährdung aktuell und bei zukünftigen Räumungsarbeiten mit Gefährdungsstufen und entsprechenden Massnahmen zu definieren.
- Gemäss Experten soll die Einschätzung der Gefährdungsstufe nicht alleine auf das lokale Überwachungssystem abgestützt werden, sondern zusätzlich die Erdbebeninformationen (Magnitude und Intensitäten) des Schweizerischen Erdbebendienstes (SED) in die Gefährdungsbeurteilung einbezogen werden.

Meilensteine/ Etappen: Zur frühzeitigen Alarmierung bei einem Erdbeben soll die Erdbebenwarnung der zuständigen Behörden ins Überwachungs- und Alarmierungsdispositiv des VBS zum ehemaligen Munitionslager Mitholz integriert werden

Machbarkeitsrisiken: keine

Umsetzung [Jahre]	Organisation	Kosten [Mio. CHF]	Ressourcen personell [h]	Ressourcen infrastrukturell
0.2	VBS, Monitron	0.02	100	Administrative Arbeiten, IT-Arbeiten

Tabelle 8 Rahmenbedingungen Ausprägung GeoA2d Erdbeben

1.3 Ausprägung GeoA3: Abbaubarkeit, Stabilisierung, Sicherung Lockergesteine

1.3.1 GeoA3a Tagbau im Lockergestein

Beim Lockergestein handelt es sich weitgehend um blockigen Explosionsschutt. Im Tagbau ist er mit schwerem Gerät und gegebenenfalls ferngesteuert mittels Sonderbaumaschinen abbaubar. Grossblöcke sind mittels Lockerungssprengungen, Quellsprengstoffen oder hydraulischen Spaltgeräten zu fraktionieren, damit sie kontrolliert abgebaut werden können.

Meilensteine/ Etappen: Mit Voreinschnitten (20 bis 50 m) im oberflächlichen Lockergestein kann der bergmännische Vortrieb beginnen.

Machbarkeitsrisiken: Stellt sich heraus, dass die Sicherung des instabilen Lockergesteins aufwendiger ist, als zunächst geplant, würde dies zu Zeitverzögerungen führen. Felslamellen in der bergseitigen Flue könnten trotz Sicherungsmassnahmen in Bewegung geraten. Als

² Mitholz WE1051: Auswirkungen von Erdbeben auf die felsmechanische Stabilität, CSD, Entwurf vom 29. November 2019

³ 1051/AA, Risikoanalyse, Schlussbericht, 27. September 2018

Konsequenz müssten die Arbeiten eingestellt und Schutzmassnahmen ergriffen werden. Allfällige Kosten für die Entwicklung von Spezialgeräten sind in der Kostenschätzung nicht enthalten.

Umsetzung [Jahre]	Organisation	Kosten [Mio. CHF]	Ressourcen personell [h]	Ressourcen infrastrukturell
2	VBS (Koordination), Externe	10	20000	Grossbaustelle (evtl. Einsatz Spezialgeräte)

Tabelle 9 Rahmenbedingungen Ausprägung GeoA3a Tagbau

1.3.2 GeoA3b Bergmännischer Abbau im Lockergestein

Analog zum Tagbau sind auch hierbei Spezialgeräte einzusetzen. Der bergmännische Abbau des Explosionsschuttes wird durch die engen Platzverhältnisse, die benötigte Grösse und Stärke der Baumaschinen sowie die im Untertagebau geltenden Bestimmungen betreffend Sicherheitsmassnahmen und Arbeitsschutz eingeschränkt. Wegen des Risikos von eingestreuter Munition kommt gemäss Geologen im Lockergestein einzig ein maschinell unterstützter Vortrieb (Abbauhammer, Bagger, Reisszahn, Sprengung von Grossblöcken) in Frage. Die üblichen Bauhilfsmassnahmen im Vortrieb wie Spiesse, Rohrschirme, Jetting, Injektionen über Bohrlöcher, Brustanker, etc. kommen hierbei nicht in Frage.

Die mögliche Vortriebslänge beträgt maximal 1 m und bedarf einer unmittelbar nachfolgenden Ausbruchssicherung mittels Stahleinbau und Spritzbeton sowie Ausinjektionen von klaffenden Spalten und Hohlräumen. Entsprechende Massnahmen sind schwer zu realisieren und liegen an der Grenze des Machbaren. Daher ist eine vertiefte fachtechnische Prüfung der Machbarkeit notwendig. Die Realisierung muss auch nach der technischen Machbarkeitsprüfung durch tunnelfachtechnisches Personal eng begleitet werden.

Wegen der geringen Überdeckung und einer nicht garantierten Verzahnung der Trümmerkomponenten ist die Dimensionierung des Sanierungstunnels von verschiedenen geologischen Aspekten (z. B. Auflockerungsdruck) abhängig. Im Falle von feinkörnigen Lockergesteinstaschen oder lokal angehäuften Munitionsrückständen muss der Teilausbruch der Klotte, der Strosse und der Sohle unterteilt vorgenommen werden. Alternativ kann Spritzbeton zur Sicherung eingesetzt werden.

Als Alternative wäre auch ein grossflächiges oberflächliches Abtragen des Explosionsschuttes möglich.

Meilensteine/ Etappen: Das Vorgehen sowie die Etappen und Meilensteine sind mit den übrigen Bausteinen abzustimmen. Insbesondere das Vorgehen bei der Räumung ist massgebend.

Machbarkeitsrisiken: Stellt sicher heraus, dass das Lockergestein weniger tragfähig ist als zunächst eingeschätzt und müssten aufwendigere Sicherungsmassnahmen ergriffen werden. Dadurch würde sich der Vortrieb verlangsamen. Treten Munitionsrückstände häufiger auf und können die Munitionsrückstände unter den engen Platzverhältnissen nur unter grossem Aufwand geborgen werden, würden sich die Vortriebsarbeiten dadurch deutlich verteuern und risikoreicher gestalten. Im Extremfall müssten die Vortriebsarbeiten aus Gründen der Geotechnik bzw. der Sicherheit eingestellt werden. Ein Prozesswechsel hin zum grossflächigen Abtrag des Explosionsschuttes wäre möglich. Allfällige Kosten für die Entwicklung von Spezialgeräten sind in der Kostenschätzung nicht enthalten.

Umsetzung [Jahre]	Organisation	Kosten [Mio. CHF]	Ressourcen personell [h]	Ressourcen infrastrukturell
5 (10 bei Alternative)	VBS (Koordination), Externe	40	100000	Grossbaustelle (evtl. Einsatz Spezialgeräte)

Tabelle 10 Rahmenbedingungen Ausprägung GeoA3b Bergmännischer Abbau

1.4 Ausprägung GeoA4: Abbaubarkeit, Stabilisierung, Sicherung versackter Fels

1.4.1 GeoA4a Tagbau im versackten Fels

Aufgrund der Zielsetzung und der angestrebten Räumung der Munitionsrückstände dürften beim Abbau des versackten Felsens vorwiegend bergmännische Abbaumethoden zum Einsatz kommen. Methoden im Tagbau sind keine vorgesehen.

1.4.2 GeoA4b Bergmännische Arbeiten im versackten Fels

Möglicherweise gibt es auf Bahnstollenniveau südlich, westlich und nördlich des Dreispitzes einen fließenden und nicht klar definierbaren Übergang vom versackten Fels zum Lockergestein des Explosionsschutts. Demnach gelten im Übergangsbereich dieselben Angaben und Hinweise wie beim bergmännischen Abbau im Lockergestein (vgl. 1.3.2 Ausprägung GeoA3b).

Hierbei ist besonders auf die horizontalen Ablöseflächen zu achten, von denen ein Abbruchrisiko ausgeht. Hinweise liegen unter anderem im Bereich des versackten Felsens vor, dass das vorhandene Bahnstollengewölbe im jetzigen Zustand alleine nicht tragfähig ist. Jeder zusätzliche Felsabbau an stützenden Felselementen erhöht lokal die Abbruchgefahr. So dürfen Felsteile, welche einen Beitrag zur Tragfähigkeit des Bahngewölbes leisten, ohne Zusatzmassnahmen nicht abgebaut werden. Massive Verstärkungsmassnahmen (Betonausfachung) müssen weiter auch an den Klüften und Öffnungen entlang der Mitholzstörung vorgenommen werden.

Der Felsabbau sollte mechanisch erfolgen, lokal mittels Seilsägen ergänzt und mit Quellsprengstoff oder hydraulischen Spaltgeräten schonend ausgeführt werden. Die Räumarbeiten sind aus einem gesicherten Hohlraum heraus auszuführen.

Meilensteine/ Etappen: Um die Arbeitssicherheit gewährleisten zu können, müssen mehrere Schritte zur Felskonditionierung erfolgen: Verfüllen von Felsspalten mit Spezialbeton, Anbringen von Grossankern zur kraftschlüssigen Anbindung des Dreispitzes an die Flue und Vorschüttung des Dreispitzes. Die letzten beiden entfallen, falls der Dreispitz vor der eigentlichen Räumung abgetragen wird.

Machbarkeitsrisiken: Sollte sich herausstellen, dass das Gebirge unter dem Dreispitz weniger tragfähig ist als vermutet, müsste es dementsprechend aufwendiger gesichert werden. Zudem könnte die Felskonditionierung nicht die gewünschte Wirkung bringen, die Decke der Anlage könnte sich senken und Gegenmassnahmen wirkungslos sein. Dadurch erforderliche Ersatzmassnahmen (zum Beispiel Betonstützen) würden zu Verzögerungen und höheren Kosten führen. Auch könnte der Abbau im Bahnstollen und von Felsschutt-/blöcken in Etappen sich als aufwendiger erweisen als zunächst eingeschätzt oder höhere Sicherheitsrisiken für das Arbeitspersonal bergen. Allfällige Kosten für die Entwicklung von Spezialgeräten sind in der Kostenschätzung nicht enthalten.

Umsetzung [Jahre]	Organisation	Kosten [Mio. CHF]	Ressourcen personell [h]	Ressourcen infrastrukturell
5 – 10	VBS (Koordination), Externe	70	100000	Untertagebaustelle, Felsspaltenverfüllung, evtl. Grossanker am Dreispitz

Tabelle 11 Rahmenbedingungen Ausprägung GeoA4b Bergmännische Arbeiten

1.5 Ausprägung GeoA5: Gesamtstabilität

Im heutigen Zustand kann davon ausgegangen werden, dass die Flue stabil ist. Im Nachgang zur Explosion im Jahr 1947 wurden aber auch auf der Flue Bodenrisse festgestellt.

Demnach ist in der Felswand bergseitig der Flue von parallel verlaufenden Klüften und Felslamellen auszugehen. Diese werden heute durch den vorgelagerten Dreispitz, durch den Explosionsschutt und durch das aus dem Ausbau stammende Schuttmaterial gestützt. Über das Sicherheitsniveau dieser Felslamellen liegen keine Informationen vor. Im Falle eines grossvolumigen Abtrages des Explosionsschutts ist das Bewegungsverhalten der Flue geodätisch, mittels Radar oder Extensometer zu überwachen.

1.5.1 GeoA5a Stabilität Böschung

Im Rahmen von Bauarbeiten und technischen Untersuchungen ergibt sich die Frage nach der Stabilität von allfälligen Böschungen. Böschungen im Lockergestein im Verhältnis 1:1 (1 m Höhenunterschied auf 1 m horizontale Länge) sind temporär denkbar, müssen aber im Detail abgeklärt werden. Bei tieferen Einschnitten sind horizontale Stücke oder Absätze (Bermen) zwingend einzuplanen. Ungünstig in den Böschungen positionierte Grossblöcke sind provisorisch zu unterfangen, mittels Spritzbeton zu sichern oder kontrolliert auf ein sicheres Mass abzubauen.

Meilensteine/ Etappen: Allfällige Böschungen müssen abgetreppt umgesetzt werden. Erst nach vorgängiger Stabilisierung können bergmännische Portale vorbereitet werden.

Machbarkeitsrisiken: Böschungen können lokal instabil sein. Bei guter Blockverzahnung ist das Risiko gering. Fein- bis mittelkörnige Zwickelfüllungen könnten aber ausfliessen. Eine Sicherung ist nur mittels Spritzbeton oder geschalteten Betonvorlagen möglich. Von Ankern und Nägeln ist wegen der Munitionsrückstände abzusehen. Instabilitäten können zu einer Bauverzögerung von bis zu einem Jahr führen. Die Geologen empfehlen Überlegungen zu einem Tagbautunnel, um Voreinschnitte einzudecken und anschliessend mit bergmännischen Vortriebsarbeiten zu beginnen.

Umsetzung [Jahre]	Organisation	Kosten [Mio. CHF]	Ressourcen personell [h]	Ressourcen infrastrukturell
1	Geologen, Externe	0.1	1000	Grossbaustelle

Tabelle 12 Rahmenbedingungen Ausprägung GeoA5a Stabilität Böschung

1.5.2 GeoA5b Einwirkung von Abtragung

Ein grossflächiges Abtragen des Explosionsschuttes hat Auswirkungen auf die Erdbebenstabilität der Anlage⁴. Auch der Dreispitz hat eine stabilisierende Wirkung: Er wirkt gegenüber der Flue als Widerlager. Wird der Dreispitz entfernt, empfehlen die Geologen umfangreiche Verankerung der Felslamellen an die Flue, um die Stützwirkung des Dreispitzes teilweise zu ersetzen. Ein vollständiger Ersatz ist gemäss den Experten jedoch nicht machbar. Die Verankerungen müssten messtechnisch mittels Extensometern sowie geodätischen und radar-gestützten Systemen überwacht werden.

Meilensteine/ Etappen: Parallel zur Flue verlaufende Einschnitte könnten Felsbewegungen auslösen. Zugänge zum Bahnstollen sollten somit senkrecht zur Felswand und von Westen her erfolgen.

Machbarkeitsrisiken: Instabilitäten könnten zu einer Bauverzögerung von bis zu zwei Jahren führen. Durch neue Zugänge (senkrecht zur Flue von Westen her) können Mehrkosten für den Tagbau und für die bergmännischen Arbeiten im Lockergestein von jeweils mindestens 5 Mio. CHF entstehen.

⁴ Mitholz WE1051: Auswirkungen von Erdbeben auf die felsmechanische Stabilität, Entwurf vom 29. November 2019

Umsetzung [Jahre]	Organisation	Kosten [Mio. CHF]	Ressourcen personell [h]	Ressourcen infrastrukturell
2	VBS, Geologen, Monitor	10 (20 bei zusätzlicher Sicherung)	20000	Grossbaustelle, Extensometer, geodätische und radargestützte Überwachungssysteme

Tabelle 13 Rahmenbedingungen Ausprägung GeoA5b Einwirkung von Abtragung

2 Relevanz der Ausprägungen für die Varianten

In der folgenden Tabelle wird dargestellt, für welche Varianten aus der Phase I die verschiedenen Ausprägungen des Bausteins "Geologie" grundsätzlich relevant sind.

	Grundsätzliche Eignung für Variante						
	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1
GeoA1							
GeoA1a	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
GeoA1b	ja	ja	ja	ja	ja	nein	ja
GeoA1c	ja	ja	ja	ja	ja	nein	nein
GeoA1d	ja	ja	ja	ja	ja	nein	nein
GeoA1e	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
GeoA2							
GeoA2a	ja	ja	ja	ja	ja	nein	nein
GeoA2b	ja	ja	ja	ja	ja	nein	nein
GeoA2c	ja	ja	ja	ja	ja	nein	nein
GeoA2d	ja	ja	ja	ja	ja	nein	nein
GeoA3							
GeoA3a	ja	ja	ja	ja	ja	nein	nein
GeoA3b	ja	ja	ja	ja	ja	nein	nein
GeoA4							
GeoA4a	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein
GeoA4b	ja	ja	ja	ja	ja	nein	nein
GeoA5							
GeoA5a	ja	ja	ja	ja	ja	nein	nein
GeoA5b	ja	ja	ja	ja	ja	nein	nein

Tabelle 14 Grundsätzliche Relevanz der Ausprägungen für die Varianten

Die geologischen Beurteilungen der Varianten zur Räumung bzw. zur Teilräumung (A1, A2, A3, B1 und B2) sind grundsätzlich gleich, da für die Umsetzung dieser Varianten ähnliche Aspekte relevant sind.

Für die Variante B3 ergibt sich aufgrund der Geologie ein Realisierungshindernis. Die geologische Struktur des Untergrundes erschwert unterirdische Bohrarbeiten parallel zur Flue und entlang des Bahnstollens. Die technische Machbarkeit muss angezweifelt werden. Gemäss Expertenaussagen können die Klüfte, die sich bis unter das Niveau des Bahntrasses ziehen, nicht in flachen Winkeln durchbohrt werden und stellen daher für den Tunnelbau ein Realisierungshindernis dar.

Eine Überdeckung des ehemaligen Munitionslagers Mitholz zur Einrichtung einer Sicherheitszone (Variante C1) ist aus geologischer Sicht machbar. Die durch das zusätzliche Gewicht des Überdeckungsmaterials resultierende Senkung des Bodens (Senkungsmulde) könnte jedoch Auswirkungen auf die Gebäude in nächster Umgebung haben. Diese Risiken wären bei der Realisierung der Variante C1 zu berücksichtigen.

3 Abtragung Dreispitz

Der Dreispitz stellt aufgrund seiner geologischen Instabilität ein Risiko dar. Wie eine Machbarkeitsstudie⁵ zeigt, ist das Abtragen dieser Felsformation grundsätzlich technisch möglich, hat aber unbedingt kontrolliert, so erschütterungsarm wie nur möglich und messtechnisch überwacht zu erfolgen. Vorgängig müssten Hohlräume entlang der Mitholzstörung und anderen Spaltensystemen ausgefüllt und gesichert werden. Anschliessend könnte der Dreispitz von Süden her vertikal und kontrolliert schichtweise entlang des Bahnstollens bis zu einer noch zu definierenden Felsrestüberdeckung abgetragen werden.

Der Dreispitz wirkt gegenüber der Flue als Widerlager. Wird dieses entfernt muss mittels umfangreicher Verankerung deren Stützwirkung teilweise ersetzt werden. Die Verankerungen müssten messtechnisch mittels Extensometern sowie geodätischen und radargestützten Systemen überwacht werden.

Der Arbeitsbereich ist gegen Sturzereignisse von der Flue durch wiederholte Felsreinigungen, Überwachungen und Schutznetze allzeit zu garantieren.

Bautechnisch kritisch sind folgende Punkte:

- Zur Gewährleistung der Gewölbestabilität im heute noch zugänglichen Bahnsollen im Bereich der Kammern 8 bis 12 (neue Bezeichnung) müssen Hohlräume entlang der Mitholzstörung und anderen klaffenden Spalten mittels Beton verfüllt und gesichert werden. Erst danach kann der vertikale Dreispitzabbau bis zu einer noch genau zu definierenden Felsrestüberdeckung ausgeführt werden. Der Fels des Dreispitzes würde von Süden her entlang des Bahnstollens in noch zu definierenden Lagen kontrolliert und schichtweise abgebaut werden.
- Hinter der Steilwand der Flue und östlich hinter der Mitholzstörung ziehen sich steil stehende, parallel verlaufende Störungszonen durch den Felsen und trennen Felslammellen über die gesamte Höhe der Flue vom bergseitigen Gebirge ab. Diese Felslammellen müssten je nach geometrischem Verlauf zusammen mit dem Dreispitz abgetragen werden. Die so frei gelegte Flue ist mit einer systematischen Verankerung synchron zum Dreispitzabbau in definierten Lagen zu sichern.

Die technische Machbarkeit des Abbaus muss in einer nächsten Phase mit robusten Daten hinterlegt werden. Dies bedingt eine umfangreiche Erkundung betreffend Felsqualität (Trennflächen, Felsfragmentierung, Störungszonen, Rohstoffabklärungen, etc.) auf der Flue und dem Gebirgskörper des Dreispitzes. Die messtechnische Überwachung soll weitergeführt und wenn nötig ausgebaut werden.

4 Rechtliche Aspekte

In der Folge werden besondere für die Umsetzung der einzelnen Ausprägungen des Bausteins "Geologie" zu berücksichtigende rechtliche Aspekte dargestellt.

Arbeitssicherheit:

- Bundesverfassung⁶
- Bundesgesetz über die Unfallversicherung (UVG)⁷
- Verordnung über die Unfallversicherung (UVV)⁸
- Verordnung über die Verhütung von Unfällen und Berufskrankheiten (Verordnung über die Unfallverhütung, VUV)⁹

⁵ Machbarkeitsstudie Abtrag Dreispitz, CSD, Entwurf vom 20. Januar 2020

⁶ [Bundesverfassung, Art. 110](#)

⁷ [Bundesgesetz über die Unfallversicherung \(UVG\), Art. 82 ff](#)

⁸ [Verordnung über die Unfallversicherung \(UVV\)](#)

⁹ [Verordnung über die Verhütung von Unfällen und Berufskrankheiten \(Verordnung über die Unfallverhütung, VUV\)](#)

- Bundesgesetz über die Arbeit in Industrie, Gewerbe und Handel (Arbeitsgesetz, ArG)¹⁰
- Obligationenrecht¹¹
- Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz (Gesundheitsvorsorge, ArGV 3)¹²
- EKAS-Richtlinie Nr. 6508 über den Beizug von Arbeitsärzten und anderen Spezialisten der Arbeitssicherheit

Naturgefahren:

- Bundesgesetz über den Wasserbau¹³
- Verordnung über den Wasserbau (Wasserbauverordnung, WBV)¹⁴
- Bundesgesetz über den Wald (Waldgesetz, WaG)¹⁵
- Verordnung über den Wald (Waldverordnung, WaV)¹⁶
- Verordnung über die Warnung, die Alarmierung und das Sicherheitsfunknetz der Schweiz (Alarmierungs- und Sicherheitsfunkverordnung, VWAS)¹⁷
- Weisungen zum Erdbebenschutz bei Mitgliedern der Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren (KBOB)

Boden:

- Umweltschutzgesetz (USG), Art. 33 – 35¹⁸
- Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo)¹⁹
- Verordnung über die Sanierung von belasteten Standorten (Altlasten-Verordnung, AltIV)²⁰
- Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (Abfallverordnung, VVEA)²¹

Gewässer:

- Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz, GSchG)²²
- Gewässerschutzverordnung (GSchV)
- Wegleitung Grundwasserschutz des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)²³
- Leitfaden Grundwasserschutzzonen des Kantons Bern²⁴

5 Weitere Machbarkeitsrisiken/ Realisierungshindernisse

Neben den im Rahmen der Beschreibungen der Ausprägungen erwähnten Machbarkeitsrisiken und Realisierungshindernissen, sind weitere zu beachten:

Räumungsarbeiten: Die zur Räumung der Munitionsrückstände notwendigen Arbeiten können zum Ausschluss gewisser Massnahmen zur Sicherung der geologischen Stabilität (z. B. Verfüllung von Hohlräumen) und zur Gewährleistung der Arbeitssicherheit im Stollen (z. B.

¹⁰ [Bundesgesetz über die Arbeit in Industrie, Gewerbe und Handel \(Arbeitsgesetz, ArG\)](#)

¹¹ [Obligationenrecht, Art. 328](#)

¹² [Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz \(Gesundheitsschutz, ArGV 3\), Art. 2 ff](#)

¹³ [Bundesgesetz über den Wasserbau](#)

¹⁴ [Verordnung über den Wasserbau \(Wasserbauverordnung WBV\)](#)

¹⁵ [Bundesgesetz über den Wald \(Waldgesetz, WaG\)](#)

¹⁶ [Verordnung über den Wald \(Waldverordnung, WaV\)](#)

¹⁷ [Verordnung über die Warnung, die Alarmierung und das Sicherheitsfunknetz der Schweiz \(Alarmierungs- und Sicherheitsfunkverordnung, VWAS\)](#)

¹⁸ [Umweltschutzgesetz \(USG\)](#)

¹⁹ [Verordnung über Belastungen des Bodens \(VBBo\)](#)

²⁰ [Verordnung über die Sanierung von belasteten Standorten \(Altlasten-Verordnung, AltIV\)](#)

²¹ [Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen \(Abfallverordnung, VVEA\)](#)

²² [Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer \(Gewässerschutzgesetz, GSchG\)](#)

²³ Wegleitung Grundwasserschutz, BAFU, 2004

²⁴ [Leitfaden Grundwasserschutzzonen, Kanton Bern, 2009](#)

Ausbringen von Dämpfungsmaterial am Boden des Stollens) und somit zu zusätzlichen Gefährdungssituationen führen.

Explosion: Je nach Explosionsausmass kann die Stabilität beeinträchtigt werden.

Sturzprozesse:

- Böschungen: Grossblöcke können bei schlechter Einbindung aus einer Böschung kippen. Die potenziell gefährlichen Blöcke müssen temporär unterfangen oder schonend abgebaut werden.
- Sturzblöcke aus der Flue und vom Dreispitz: Die Risikozone betrifft lediglich den Nahbereich der Flue und des Dreispitzes sowie die aktuelle Portalzone zur Anlage Mitholz. Schutzmassnahmen wie Schutznetze direkt an der Flue oder innerhalb des Prozessbereichs sind möglich.
- Sturzblöcke innerhalb des verstürzten Bahnstollens: Grossblöcke ohne genügend Einbindung stellen eine potenzielle Gefahr dar. Sie machen lokale Ausbruchsicherungen notwendig. Zudem sind die Vortriebsart und Abschlagslängen so zu wählen, dass Einzellasten durch den Ausbau gehalten werden können. Mittels Felsreinigung, Blocksicherung oder Schutznetze innerhalb der Anlage kann das Risiko zusätzlich gesenkt werden.

Ausfluss Lockergestein: Fein- und mittelkörniges Material kann aus dem Explosionsschutt fließen. Dies würde zu einem weiteren Hohlraum über dem Sanierungstunnel und somit zu einer erhöhten Instabilität führen. Der Hohlraum müsste dann mittels Injektionen verfüllt werden.

Ausfluss Kluftfüllung aus versacktem Fels: Fliesst im Bereich des Dreispitzes im Rahmen von Sanierungsarbeiten vermehrt Kluftfüllung aus, könnten Schuttmaterial, Steine und Blöcke abbrechen. Die Kluft müsste dann zur Stabilisierung mit Beton verfüllt werden.

Abbruch Felsplatte aus versacktem Fels: Eine Felsplatte löst sich entlang der horizontal verlaufenden Schichtfugen über dem First im Sanierungstunnels. Diesem Risiko muss im Rahmen des Mess- und Alarmierungssystems besonders Rechnung getragen werden. Die eingeleitete messtechnische Überwachungsmassnahme (Extensometer und Definition von Grenz- und Alarmierungswerten) ist unbedingt beizubehalten.

Hohlräume beeinträchtigen Gewölbestabilität: Offene Spalten entlang der Mitholz-Störung oder Hohlräume im stark versackten Fels im Übergang zum Explosionsschutt beeinträchtigen eine kraftschlüssige Gewölbewirkung des Sanierungstunnels. Die Klüfte und Hohlräume müssen verfüllt werden, um den benötigten Kraftschluss zu erreichen.



6 Anhang

GeoA1 Baugrundmodell								
Ausprägung	Name	Realisierungs- dauer [Jahre]	Meilensteine (Etappen)	Organisation (für Umsetzung)	Kosten > +/- 20% [Mio. CHF]	Ressourcen > +/- 20% personell [Stunden]	infrastrukturell	Machbarkeitsrisiken/ Realisie- rungshindernisse
GeoA1a	Flue	1	Klärung mittels Bohrun- gen ob parallel zur Flue verlaufende allen- falls instabile Felslamel- len vorliegen	Beschaffung über Geologen resp. VBS von 12 schrägen Kernbohrungen (1500 Bohr- meter; inkl. Bohrlochscans; Felslabor, Extensometer)	2	3000	4 Bohrplätze à 3 Schrägb Bohrungen zwi- schen 120 - 150 m Länge auf der Flue inkl. externe spezialisierte Firmen für Bohrlochvermessungen, Felslabor, etc.	Bohrarbeiten können nur ausserhalb der Lawinensaison durchgeführt wer- den. Im Falle von breiten Störzonen können Bohrungen jedoch nicht bis zur Endtiefe realisiert werden. Die ge- wünschten Informationen könnten in diesem Fall nicht gewonnen werden.
GeoA1b	Dreispietz	0.5	Zur Klärung von horizon- talen Ablöseflächen über dem Bahnstollen auf dem Fels des Dreispitz vier vertikale Bohrungen zwi- schen 60 - 70 m Länge	Beschaffung über Geologen resp. VBS von 4 vertikalen destruktiven Sondierbohrun- gen (260 Bohrmeter; inkl. Bohrlochscan, Extensometer)	0.6	750	4 Bohrstellen, auf Gerüs- ten auf der Felsformation des Dreispitz; Installation mit Helikopter; speziali- sierter Gerüstbauer inkl. Zugang Bohrmannschaft; Messspezialisten.	Die Bohrarbeiten würden exponiert auf Gerüsten im Felsen des Dreispitz erfolgen. Die Arbei-ten können nur ausserhalb der Lawinensaison durch- geführt werden. Zudem müssen Flucht-wege für die Bohrmannschaft bei Gewitter garantiert sein.
GeoA1c	Trümmerzone Explosi- onsschutt	1	Sichten aller Unterlagen zur Beschaffenheit / Zu- sammensetzung Explosi- onsschutt	Beschaffung Unterlagen über VBS, Projektverfasser und Sichtung der Akten und Do- kumentation Befund daraus	0.15	500	Akten liegen für Beurtei- lung des Geologen phy- sisch in Papier oder voll- ständig als Pdf vor	Die Unterlagen müssen in einem ers- ten Schritt zusammengetragen und anschliessend gesichtet, sortiert und digitalisiert werden. Die Kosten dazu sind in der Kostenschätzung nicht ent- halten. Der Endtermin des Meilen- steins ist von der Dokumentensich- tung abhängig.
GeoA1d	Lockergestein/ Talfül- lung	0.5	Geophysikalische und geoelektrische Messun- gen bilden den Unter- grund "indirekt" ab. Hin- weise auf Schichtverläufe und Zusammensetzung der Lockergesteine lie- gen vor.	Beschaffung über Geologe resp. VBS von 6 Profilmessli- nien hochauflösende Refrak- tion / reflexionsseismik und geoelektrische Tomographie inkl. vorgängige Radarmes- sungen zur Detektion oberflä- chennahe Munitionsnester.	0.3	750	Feldmessungen ev. lo- kale forstliche Auslich- tungsarbeiten.	Zur Abklärung der Profilsuren soll ein Georadar eingesetzt werden. Ent- scheidet man sich für derartige Unter- suchungen muss zwingend abgeklärt werden, welchen Einfluss die geo- physi-kalischen und geoelektrischen Ströme auf die Munitionsrückstände

								haben können. Weiter könnte die Verwendung von seismischen Geräten und Rammgeräten kritisch sein.
GeoA2 Naturgefahren								
Ausprägung	Name	Realisierungsdauer [Jahre]	Meilensteine (Etappen)	Organisation (für Umsetzung)	Kosten > +/- 20% [Mio. CHF]	Ressourcen > +/- 20% personell [Stunden]	infrastrukturell	Machbarkeitsrisiken/ Realisierungshindernisse
GeoA2a	Steinschlag	1	Felsräumungen und Installieren von Schutznetzen zur Gewährleistung der Arbeitssicherheit im übertägigen Bereich.	Beschaffung über Monitron resp. VBS (Felsreinigung, Installation von Schutznetzen)	0.5	500	Nur Feldarbeiten.	keine
GeoA2b	Murgang/ Hochwasser	0.5	Alarmvorrichtung installieren und Einbezug ins Überwachungsdispositiv)	Beschaffung über Monitron resp. VBS	0.1	500	Nur Feldarbeiten inkl. IT-Arbeiten	Der Stägenbach und das Bruchgräbli sind murgangfähig und können den Aussenbereich im Süden und den aktuellen Zugangsweg zur Anlage beeinträchtigen. Es ist ein Sicherheitsdispositiv für kritische Witterungsbedingungen zu erstellen.
GeoA2c	Lawine	0.2	Lawinenwarnungen der zuständigen Behörden werden ins Überwachungs-/Alarmierungsdispositiv Mitholz integriert.	Beschaffung/Implementierung über Monitron resp. VBS	0.02	100	Nur "administrative" resp. IT-Arbeiten	keine
GeoA2d	Erdbeben	0.2	Erdbebenwarnungen der zuständigen Behörden werden ins Überwachungs-/Alarmierungsdispositiv Mitholz integriert.	Beschaffung/Implementierung über Monitron resp. VBS	0.02	100	Nur "administrative" resp. IT-Arbeiten	keine

GeoA3 Abbau, Stabilisierung, Sicherung Lockergestein								
Ausprägung	Name	Realisierungsdauer [Jahre]	Meilensteine (Etappen)	Organisation (für Umsetzung)	Kosten > +/- 20% [Mio. CHF]	Ressourcen > +/- 20% personell [Stunden]	infrastrukturell	Machbarkeitsrisiken/ Realisierungshindernisse
GeoA3a	Tagbau	2	Voreinschnitte (20 - 50 m) liegen vor; bergmännischer Vortrieb kann beginnen	Beschaffung von Planer und Geologe und ausführende UN, Koordination via VBS mit Baufirma; Einsatz von Spezialgeräten; Deponierung von sauberem Aushub auf Areal Mitholz	10	20000	Grossbaustelle	Das Lockergestein ist instabil und muss aufwendiger gesichert werden, als geplant. Felslamellen in der bergseitigen Flue können in Bewegung geraten. Als Konsequenz müssten die Arbeiten eingestellt und Schutzmassnahmen ergriffen werden. Allfällige Kosten für die Entwicklung von Spezialgeräten sind in der Kostenschätzung nicht enthalten.
GeoA3b	Bergmännischer Abbau Lockergestein (alternativer Abbau durch grossflächigen Abtrag Explosionsschutt)	5 (10)	Vorgehen, Etappen und Meilensteine mit übrigen Bausteinen abzustimmen. Insbesondere Vorgehen bei Räumung ist massgebend.	Beschaffung von Planer und Geologe und ausführende UN, Koordination via VBS mit Baufirma; Einsatz von Spezialgeräten; Deponierung von sauberem Aushub auf Areal Mitholz	40	100000	Grossbaustelle	Lockergestein ist weniger tragfähig als vermutet und muss aufwendiger gesichert werden. Vortrieb verlangsamt sich stark. Eingestreute Munition(snesten) treten häufiger auf und die Munition kann unter den engen Platzverhältnissen nur unter grossem Aufwand geborgen werden. Vortrieb und Munitionssanierung wird teurer oder zu riskant. Ev. muss Vortrieb/Sanierung aus geotechnischen resp. bergungstechnischen resp. Sicherheitsgründen eingestellt werden. Wechsel auf grossflächigen Abtrag Explosionsschutt ist möglich. Allfällige Kosten für die Entwicklung von Spezialgeräten sind in der Kostenschätzung nicht enthalten.

GeoA4 Abbau, Stabilisierung, Sicherung versackter Fels								
Ausprägung	Name	Realisierungsdauer [Jahre]	Meilensteine (Etappen)	Organisation (für Umsetzung)	Kosten > +/- 20% [Mio. CHF]	Ressourcen > +/- 20% personell [Stunden]	infrastrukturell	Machbarkeitsrisiken/ Realisierungshindernisse
GeoA4a	Tagbau	-	kein Tagbau	-	-	-	-	-
GeoA4b	Bergmännische Bergung Munition im Bahnstollen (Dreispietz)	5 - 10	Felskonditionierung: Verfüllen von Felsspalten mit Spezialbeton, Anbringen von Grossankern zur kraftschlüssigen Anbindung des Dreispitzes an die Flue und Vorschüttung des Dreispitzes. (Die letzten beiden entfallen, falls Abtragung des Dreispitzes vor eigentlichen Räumung erfolgt.)	Beschaffung von Planer und Geologe und ausführende UN, Koordination via VBS mit Baufirma; Einsatz von Spezialgeräten; Deponierung von sauberem Aushub auf Areal Mitholz	70	100000	Untertagebaustelle, Felsspaltenverfüllung, Grossanker an Dreispitz, Anbindung an Flue	Gebirge unter dem Dreispitz könnte weniger tragfähig sein, als vermutet und müsste dementsprechend aufwendiger gesichert werden. Die Felskonditionierung könnte nicht die gewünschte Wirkung erzielen. Die Decke der Anlage könnte sich senken und Gegenmassnahmen wirkungslos sein. Ersatzmassnahmen (zum Beispiel Betonstützen) würden zu Verzögerungen und höheren Kosten führen. Der Abbau im Bahnstollen und von Felsschutt-/blöcken in Etappen könnte sich als aufwendiger erweisen als zunächst eingeschätzt oder höhere Sicherheitsrisiken für das Arbeitspersonal bergen. Allfällige Kosten für die Entwicklung von Spezialgeräten sind in der Kostenschätzung nicht enthalten.

GeoA5 Gesamtstabilität								
Ausprägung	Name	Realisierungsdauer [Jahre]	Meilensteine (Etappen)	Organisation (für Umsetzung)	Kosten > +/- 20% [Mio. CHF]	Ressourcen > +/- 20% personell [Stunden]	infrastrukturell	Machbarkeitsrisiken/ Realisierungshindernisse
GeoA5a	Stabilität Böschung	1	Böschungen abgetrept sind stabilisiert und bergmännisches Portal vorbereitet	Überwachung Baugruben während Bau durch UN und Planer.	0.1	1000	Grossbaustelle	Instabilitäten können zu einer Bauverzögerung von bis zu einem Jahr führen. Die Geologen empfehlen Überlegungen zu einem Tagbautunnel, um Voreinschnitte einzudecken und anschliessend mit bergmännischen Vortriebsarbeiten zu beginnen.
GeoA5b	Einwirkung von Abtragung	2	Die parallel zur Flue verlaufenden Einschnitte lösen Felsbewegungen in der Flue aus. Zugänge zum Bahnstollen sollten somit senkrecht zur Felswand und von Westen her erfolgen. Überwachung Felswand mittels Extensometer. Bei zunehmender Spaltenöffnung ist Tagbau einzustellen (und ggf. die ablösende Flue mittels Grossanker zu sichern).	VBS (Koordination), Geologen, Monitron	10 (20 bei zusätzlicher Sicherung)	20000	Grossbaustelle, Ex-tensometer, geodätische und radargestützte Überwachungssysteme	Instabilitäten könnten zu einer Bauverzögerung von bis zu zwei Jahren führen. Durch neue Zugänge (senkrecht zur Flue von Westen her) können Mehrkosten für den Tagbau und für die bergmännischen Arbeiten im Lockergestein von jeweils mindestens 5 Mio. CHF entstehen.