

Kavernenprojekt Lüntigen : felsmechanische Aspekte bei der Projektierung

Autor(en): **Weber, Matthias / Zaugg, Alfred / Gugger, Beat**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Swiss bulletin für angewandte Geologie = Swiss bulletin pour la géologie appliquée = Swiss bulletin per la geologia applicata = Swiss bulletin for applied geology**

Band (Jahr): **15 (2010)**

Heft 2

PDF erstellt am: **10.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-227489>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Kavernenprojekt Lüntigen – Felsmechanische Aspekte bei der Projektierung

Matthias Weber¹, Alfred Zaugg², Beat Gugger³, Michael Zilkens³, Stefan Wachter³

Key Words: hard rock deposit, underground mining, cavern, Finite-Element-Method.

Zusammenfassung

Mit dem Kavernenprojekt Lüntigen wird in Zukunft ein Beitrag zur Eigenversorgung der Schweiz mit Hartgesteinen unter Berücksichtigung der naturschutzgesetzlichen Randbedingungen geleistet. In dem Hartgesteinsvorkommen Lüntigen, das im Raum Morschach, Kanton Schwyz, liegt und primär aus Kieselkalk besteht, wird ein unterirdisches Abbauareal mit allen erforderlichen Betriebseinrichtungen geplant. Die Grösse der unterirdischen Anlage, die Nähe zu bestehenden Infrastruktureinrichtungen bzw. deren direkte Querung stellen aus felsmechanischer Sicht anspruchsvolle Ingenieuraufgaben dar, die komplexe Untersuchungen und den Einsatz der Finite-Element-Methode erfordern.

Abstract

For the Swiss self-sufficiency of hard rock the cavern project Lüntigen is developed under the constraints of the laws for natural protection. Lüntigen is located near Morschach, in the canton of Schwyz. The underground mining area, including site development infrastructure, is being planned in the hard rock deposits here, which are made up primarily of siliceous limestones. The dimensions of the underground mining area, the proximity of the new installations to existing infrastructures and the interaction between the two parts represent a challenging engineering task from a rock mechanics point of view and require complex investigations. The Finite-Element-Method is used in this case.

1. Einleitung

Zur Herstellung von Hartsplitt und Hartschotter, wie sie beispielsweise im Infrastrukturbau benötigt werden, eignen sich nur bestimmte Gesteinsvorkommen. Die definierten Anforderungen zum Nachweis der Eignung, zum Beispiel nach SN 670110 (2005) für Gleisschotter, bedingen ein Ausgangsmaterial von hoher Qualität.

Die Eigenversorgung der Schweiz mit derartigem Gestein gilt zum jetzigen Zeitpunkt aufgrund naturschutzgesetzlicher Vorgaben, die zu einem Rückgang von Abbaubewilligungen für Übertagesteinbrüchen führen, als langfristig nicht gegeben. Die bestehenden Steinbrüche vermögen mit den erteilten Abbaubewilligungen den Bedarf bei konstanter Nachfrage bis ins Jahr 2020 zu decken. Der jährliche Hartgesteinsbedarf bei Bahn- und Strassenbau wird auf rund 2 – 2.5 Millio-

¹ Lüntigen Stein AG, Husmatt 29, CH-6443 Morschach

² CSD Ingenieure AG, Zürcherstrasse 34, CH-8501 Frauenfeld, www.csd.ch

³ IUB Ingenieur-Unternehmung AG, Thunstrasse 2, CH-3005 Bern, www.iub-ag.ch

nen Tonnen mit zunehmendem Bedarf bezifert. Die Gesteinsindustrie betreibt daher einen hohen Aufwand zur Erkundung von möglichen Vorkommen und Erlangung von Bewilligungen für die künftigen Gesteinsgewinnungen. Jüngste Beispiele sind die Neuanlage des Steinbruchs Rozloch am Vierwaldstättersee und die Erweiterung des Steinbruchs Zingel am Lauerzer See (Hirstein 2009, Mayer 2010).

Auf der Gemarkung der Gemeinde Morschach im Kanton Schwyz liegt ein mächtiges Hartgesteinsvorkommen, dessen Eignung als entsprechendes Ausgangsmaterial durch Sondierarbeiten und Untersuchungen in den letzten Jahren als nachgewiesen gilt. Nach umfangreichen Planungsvorarbeiten erhielt die Lüntigen Stein AG, die von den Unternehmungen Arnold & Co. AG, A. Käpeli's Söhne AG, KIBAG und Sand AG Neuheim im Jahre 2005 gegründet wurde, 2008 die Konzessions- und Baubewilligung zum untertägigen Abbau des Hartgesteinsvor-

kommens. Durch den Untertageabbau werden die naturschutzgesetzlichen Anforderungen des Bundesinventars der Landschaften und Naturdenkmäler von nationaler Bedeutung eingehalten.

Die IUB Ingenieur-Unternehmung AG ist von der Lüntigen Stein AG mit der Ausarbeitung und Planung der Erschliessungsanlagen beauftragt.

2. Projektübersicht

Das projektierte Abbauareal liegt im Gebiet Lüntigen – Tannen der Gemeinde Morschach. Der Hauptzugang befindet sich unterhalb der Axenstrasse (Nationalstrasse A4) am Urnersee und wird über eine Schiffsanlegestelle erschlossen. Über dem Portalbereich des Zugangsstollens erhebt sich eine Felswand mit anschliessendem Steilhang, der in landwirtschaftlich genutzte Weiden und Wiesen übergeht (Fig. 1).

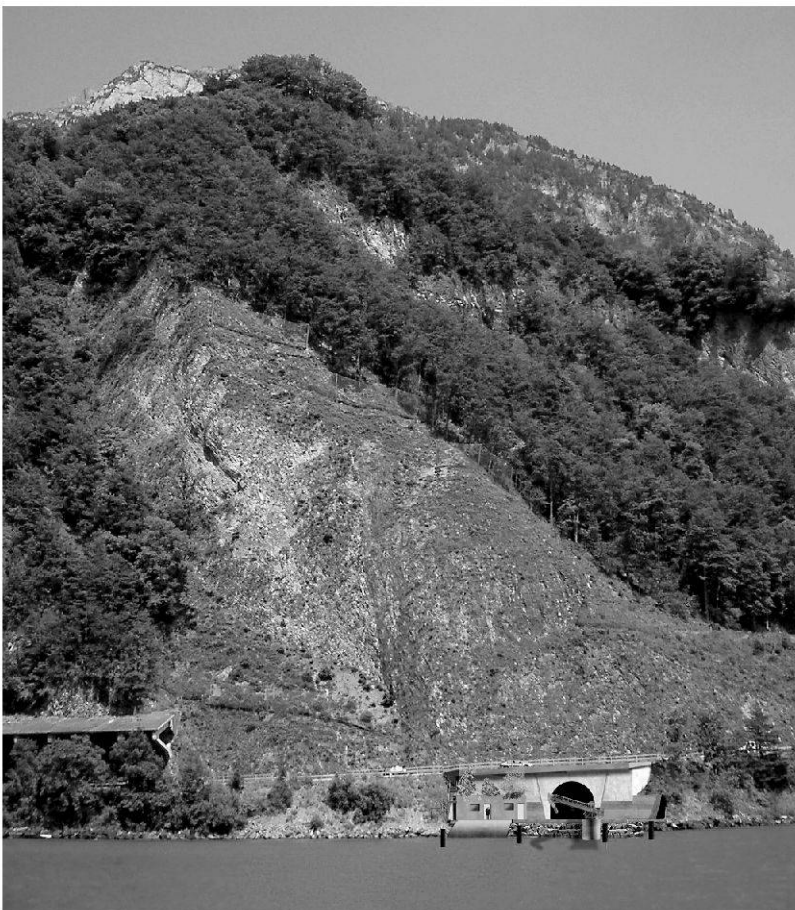


Fig. 1: Hauptzugang und Portalbereich des Erschliessungsstollens mit Schiffsanlegestelle (Fotomontage).

Das Abbaugelände wird von den SBB-Tunnels Oelberg und Fronalp durchquert. Innerhalb des Perimeters befindet sich darüber hinaus die geplante Trasse des Nationalstrassentunnels der Umfahrung Sisikon, mit dessen Bau in naher Zukunft begonnen wird.

Das projektierte Abbaugelände umfasst eine Grundfläche von rund 420 × 720 m und erstreckt sich über maximal 6 Abbauebenen. Zum jetzigen Zeitpunkt wird die Erschliessung der unteren Abbauebenen geprüft und projektiert (Fig. 2).

Das Gesamtgesteinsvolumen des Abbauperimeters beträgt für die oben genannte Grundfläche rund 65 Mio. m³. Davon können über einen Zeitraum von 60 Jahren circa 8.4 Mio. m³ Hartgestein ausgebrochen werden. Die vorliegende Abbaukonzession ist für 35 Jahre erteilt.

Zur Erschliessung und zum Betrieb der ersten zwei Abbauebenen werden verschiedene Stollen mit anschliessenden Nischen, Kavernen und Schächten aufgeföhren (Fig. 2). Als Hauptzugang verbindet der Erschliessungsstollen die bereits erstellte Schiffsanlegestelle mit der Installationskaverne. Der Vortrieb des Erschliessungsstollens beginnt

mit der Unterquerung der Axenstrasse, die als Ausnahmetransportroute des Typs II nach SIA 261 (2003) bzw. SIA 261/1 (2003) einen wichtigen Bestandteil der zentral-schweizerischen Infrastruktur darstellt. Entlang des Erschliessungsstollens sind diverse Nischen zu Lagerzwecken und zur Unterbringung von Infrastruktureinrichtungen angeordnet. Die Installationskaverne ist etwa 60 m lang und weist eine Querschnittsfläche von 140 m² auf. Sie beinhaltet elektrische Anlagen und Werkstätten.

Vom Erschliessungsstollen zweigt der Kehrtunnel zur nächst höher gelegenen Abbauebene B ab. Der befahrbar ausgebildete Kehrtunnel ist ungefähr 410 m lang und steigt um 12% in einer 360° Kehre nach oben an. Vom Ende des Kehrtunnels wird ein Stollen zur Brecherkaverne aufgeföhren, die über der Installationskaverne liegt. Die Brecher- und Installationskaverne sind über einen Versorgungs- und Schutterschacht vertikal miteinander verbunden. Das in der Brecherkaverne vorgebrochene Material gelangt über den Schutterschacht in die Installationskaverne. Von dort wird es auf einem Förderband entlang des Erschliessungsstollens zur Schiffs-

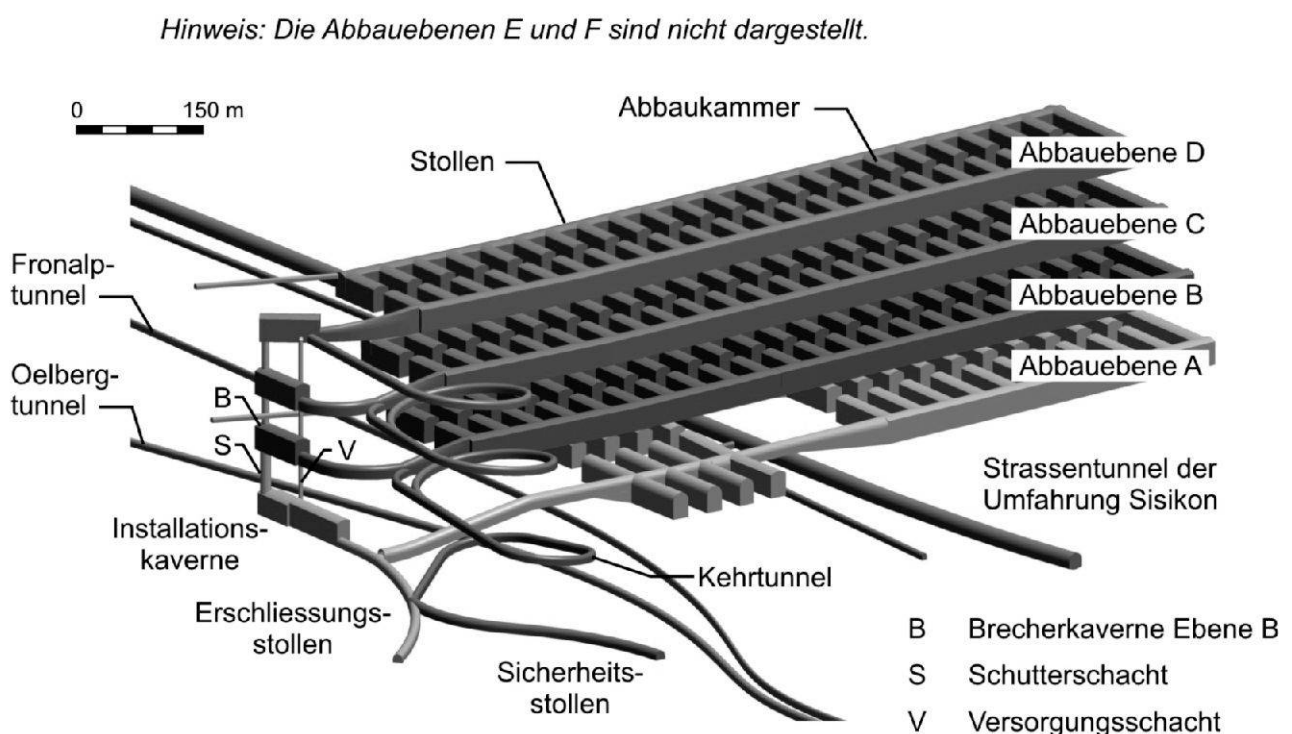


Fig. 2: Schematische Darstellung des Kavernenprojektes Länggöden.

anlegestelle transportiert. Zur Ereignisbewältigung ist zusätzlich ein Sicherheitsstollen vorgesehen, dessen Portal direkt an der Axenstrasse liegt.

3. Geologie

3.1 Gliederung

Das projektierte Hartgesteinsvorkommen gehört zur geologischen Formation des Helvetischen Kieselkalkes (Funk 1969). Die geologischen Verhältnisse im Projektperimeter wurden unter Zuhilfenahme von Erfahrungswerten, Oberflächenaufschlüssen, Kernbohrungen (KB 1, KB 2, SB 3) und seismischen Untersuchungen erkundet.

Der Kieselkalk liegt im Kavernenprojekt Läntigen als überkippter Schenkel der Morschacher Mulde (liegende Falte) vor. Der erkundete Schichtaufbau (Fig. 3) setzt sich, von Süd-südost nach Nordnordwest gesehen, wie folgt zusammen: Zwischen dem Dornibach und

Läntigen stehen oberflächennah rund 40 m dicke mergelige und kalkige Valanginienschichten und der circa 35 m mächtige basale Schiefer des unteren Kieselkalkes an. Es folgen die weiteren Schichten des unteren Kieselkalkes, die zunächst als ungefähr 255 m dicke, dünnbankige Einheit und danach als etwa 120 m mächtiges, dickbankig-massiges Paket anstehen. Zwischen dem unteren und dem oberen Kieselkalk liegen die Lidernenschichten als Leithorizont in Form von Glaukonit führendem Kieselkalk. Im stratigraphischen Sinn folgt darüber der obere Kieselkalk, der sich aus einem etwa 60 m dicken, gebankten Kieselkalk, einem 20 m dicken, knolligen Kieselkalk und einer rund 70 m mächtigen Echinodermenbreccie zusammensetzt. Ausserhalb des Projektperimeters folgen im Kern der Synklinale die Altmann- und Drusbergschichten sowie der Schratzenkalk. Die Sondierbohrung KB 2 hat durchgehend einen wasserungesättigten Fels ergeben. Daher kann im nördlichen Untertageareal von wasserungesättigten Felsverhältnissen

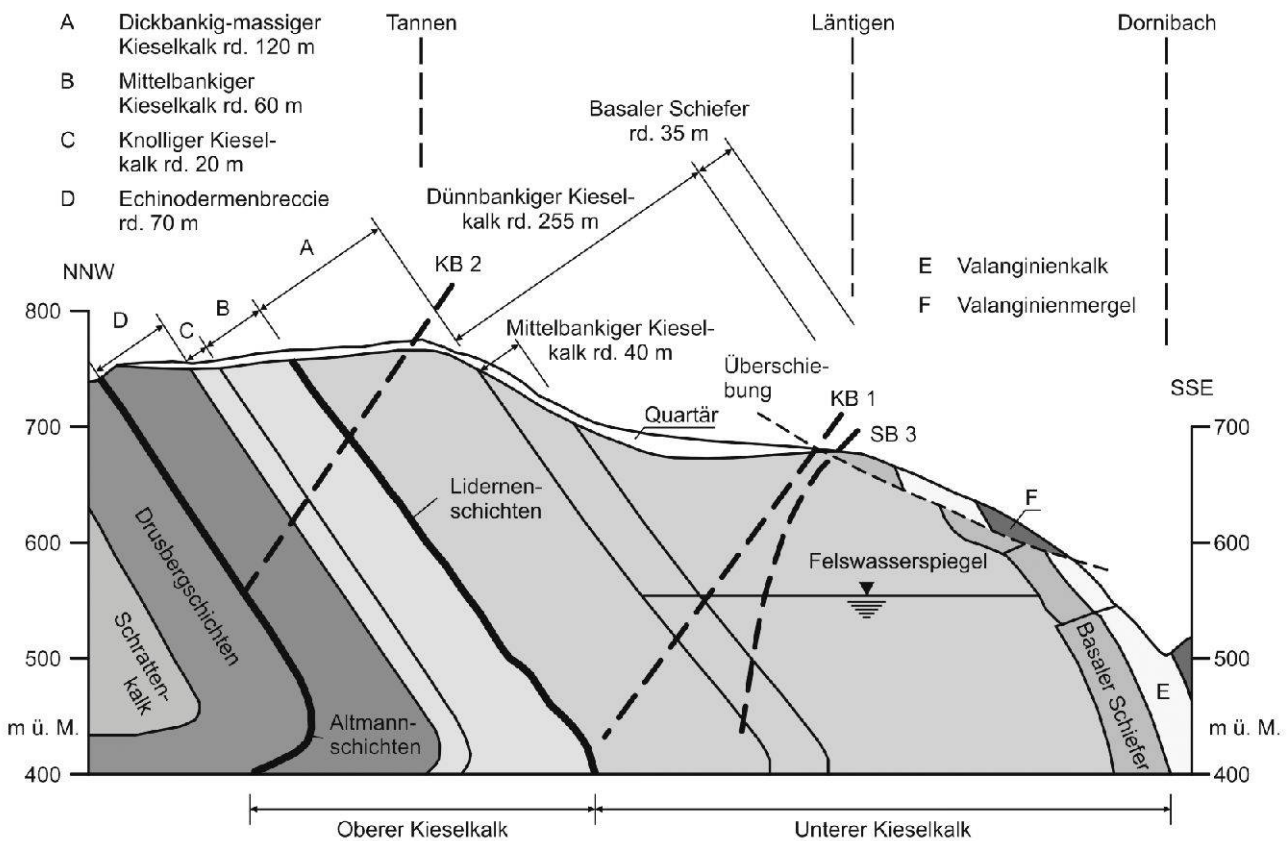


Fig. 3: Schematische Darstellung der Geologie im Kavernenprojekt Läntigen.

ausgegangen werden. Im südlichen Bereich des unteren dünnbankigen Kieselkalkes liegt hingegen entsprechend den Bohrungen KB 1 und SB 3 ein Felswasserspiegel auf einer Höhe von circa 550 m ü. M. vor, der bergseitig ansteigt und seeseitig abfällt.

Die Erkundung des Perimeters und die Beurteilung der felsmechanischen Eigenschaften hinsichtlich Abbaupotenzial und bautechnischer Relevanz erfolgten mittels Kernbohrungen, felsmechanischen Laborversuchen und In-situ-Untersuchungen durch das Büro CSD Ingenieure AG, Frauenfeld (vormals Büchi und Müller AG).

3.2 Felsmechanische Eigenschaften

Die Gebirgseigenschaften im dünnbankigen Kieselkalk sind stark anisotrop und durch die Schichtung massgeblich beeinflusst. Die eingelagerten Schieferzwischenlagen gelten als Weichgestein und stehen in Kontrast zum umgebenden Hartgestein. Durch Schichtgleiten sind die Schieferzwischenlagen glatt ausgebildet und stellen potenzielle Gleit- bzw. Ablöseflächen dar. Zusätzlich werden im dünnbankigen Kieselkalk verschiedene Knick- und Störzonen erwartet. Im mittelbankigen Kieselkalk reduziert sich der Anteil der Schieferzwischenlagen. Die Hartgesteinsanteile prägen das Gebirgsverhalten und bedingen ein günstigeres felsmechanisches Verhalten. Der dickbankig-massige Kieselkalk unterscheidet sich in seinem felsmechanischen Habitus von den gebankten Schichten durch das Fehlen der Schichtung bzw. durch die hohen einaxialen Druckfestigkeiten. Dadurch kann von einer guten Standfestigkeit ausgegangen werden.

Das Trennflächengefüge wird durch eine ausgedehnte Schichtung mit glatter Ausbildung und sieben Kluftsystemen bestimmt, die teilweise offen stehen und weitreichend sind. In lokalen Bereichen gehen die Kluftsysteme in Störzonen mit gebrächem Charakter über. Die Schichtung stellt aufgrund der Tonhäute, der ebenen Ausprägung und der prognostizierten Rutschharnische die mass-

gebende Trennfläche dar. Die Schichtung als Trennfläche tritt primär im dünnbankigen und mittelbankigen Kieselkalk auf. Direkte Scherversuche zur Ermittlung der Scherparameter ergeben im Sinne der SIA 199 (1998) Werte mit kleinem Betrag.

Einaxiale Druckversuche zeigen, dass der Kieselkalk, ob als massig oder dünnbankig ausgeprägt, mittlere bis hohe einaxiale Druckfestigkeiten mit einer Spannweite von $90 \text{ MN/m}^2 \leq q_k \leq 180 \text{ MN/m}^2$ aufweist.

In-situ-Messungen der Gebirgsspannungen ergeben, dass die horizontalen Spannungen gegenüber den vertikalen Spannungen teilweise um den Faktor 2 grösser sind. Infolge dieses Spannungszustandes besteht die Gefahr von Felsabplatzungen in massigen Gebirgsbereichen.

Basierend auf den Ansprachen und Untersuchungen liegt eine Klassifikation des Gebirges nach den Kriterien von Barton et al. (1974) und Bieniawski (1989) vor. Beide Klassifizierungssysteme beruhen auf einem empirischen Ansatz unter Verwendung von Referenzprojekten und erlauben eine grobe Abschätzung der Gebirgseigenschaften sowie entsprechender Sicherungsmassnahmen.

Nach den Kriterien von Barton et al. (1974), auch bekannt als Q-Wert, werden 15% des Perimeters mit guten, 32% mit mittleren, 28% mit schlechten und 25% mit sehr schlechten Eigenschaften hinsichtlich des felsmechanischen Verhaltens prognostiziert. Bei der Methode nach Bienawski (1989), die Felsklassen nach dem RMR-Wert definiert, weist die Zonierung 18% mit einer guten, 53% mit einer mittleren, 25% mit einer schlechten und 4% mit einer sehr schlechten Felsqualität auf. Nur der dickbankig-massige Kieselkalk ausserhalb von Störzonen wird in beiden Methoden als Fels mit überwiegend guten felsmechanischen Eigenschaften klassifiziert.

Bezüglich der Rohstoffqualität ist nach den durchgeführten Untersuchungen davon auszugehen, dass ein hoher Volumenanteil des Gesteinsvorkommens eine Rohstoffqualität

besitzt, die das Gestein als Schotter der Klasse I nach R RTE 21110 (2005) bzw. SN 670110 (2005) ausweist. Der tatsächlich gewinnbare Schotteranteil wird neben der Qualität des Ausgangsmaterials aber auch durch die Klüftigkeit (vgl. die felsmechanischen Eigenschaften), die Abbauart sowie weitere Randbedingungen beeinflusst und dadurch gegenüber dem theoretisch möglichen Anteil erheblich reduziert. Der dickbankig-massige bzw. mittelbankige Kieselkalk wird voraussichtlich die Abbauzone mit den höchsten Verwendungsraten an Hartgesteinsschottern bilden. Der dünnbankige Kieselkalk ist aufgrund der Schieferzwischenlagen, die durch den Brech- und Aufbereitungsvorgang nicht vollständig separiert werden können, nicht als Hartgesteinsrohstoff geeignet.

4. Erschliessungsphase

Die Stollen und die Kavernen der Erschliessungsphase durchfahren alle geologischen Formationen, primär jedoch die felsmechanisch ungünstigen, dünnbankigen Schicht-

folgen. Aufgrund der Trassierung werden die prognostizierten Störzonen unter allen Winkeln zwischen 0 und 360° angeschnitten. Nach der geologischen Prognose ist momentan davon auszugehen, dass die Sicherungsklassen SK 2 bis SK 4 nach SIA 118/198 (2007) erforderlich werden.

Zu Beginn der Erschliessungsarbeiten erfolgt die Unterquerung der Axenstrasse, die als Ausnahmetransportroute des Typs II definiert ist, unter laufendem Verkehr. Die Unterquerung wird zudem durch wichtige Leitungen erschwert, die unterhalb der Strasse verlegt sind. Es ist daher geplant, die Axenstrasse im Schutze eines Rohrschirms und einer massiven Ausbruchsicherung mit einer Überdeckung von rund 1.50 m zu unterfahren (Fig. 4).

Als wesentliches Gefährdungsbild der Erschliessungsphase werden Niederbrüche und Ortsbrustinstabilitäten erachtet. Zur Festlegung der erforderlichen Sicherungsmassnahmen wurden umfangreiche Klufkörperanalysen unter Berücksichtigung der massgebenden Trennflächen, Ausbruchgeometrien und des Tunnelazimuts durchgeführt. Für die Klufkörperanalyse ist eine

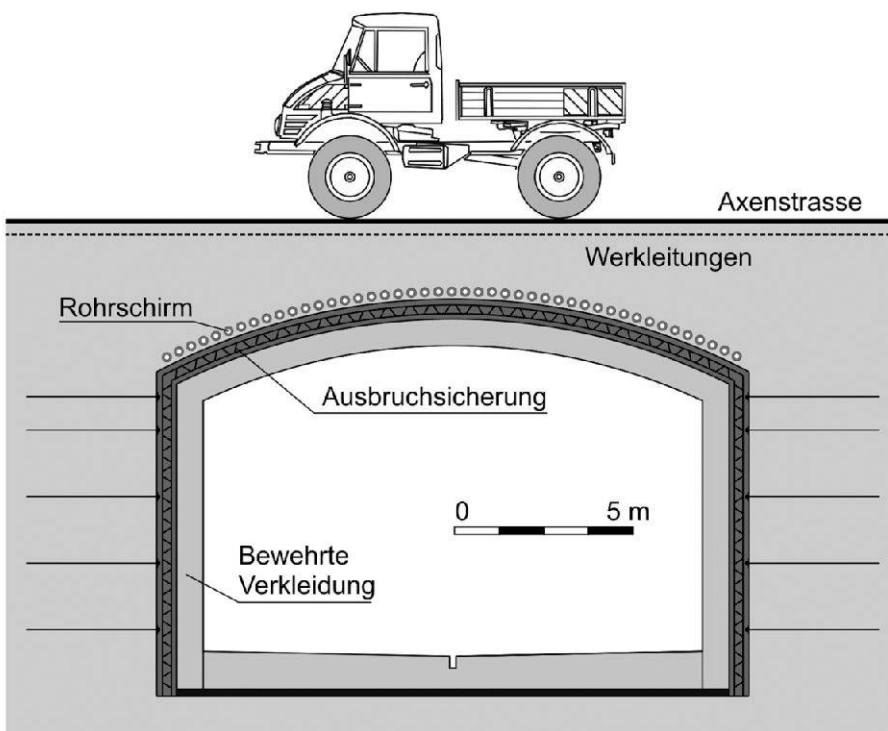


Fig. 4: Schematische Darstellung der Unterquerung der Axenstrasse.

wirklichkeitsnahe Abschätzung der Trennflächenbildung und der daraus resultierenden Scherfestigkeit unerlässlich (Fig. 5). In standfestem Gebirge besteht die Ausbruchsicherung aus Mörtelankern und einer dünnen Spritzbetonschicht. Zur Bewältigung des Vortriebs in Bereichen nicht standfester, gebräucher Felsqualität ist eine Felssicherung bestehend aus Gitterträgern und Spritzbeton bei reduzierter Abschlagslänge vorgesehen. Bei grösseren Querschnitten, zum Beispiel jener der Installationskaverne, wird zusätzlich auf Kalottenausbruch mit nachfolgendem Strossenausbruch umgestellt.

5. Industrieller Rohstoffabbau

Der industrielle Rohstoffabbau liegt in der ersten Abbauphase primär im als standfest eingestuften, dickbankig-massigen und mittelbankigen Gebirge des unteren Helvetischen Kieselkalkes. Zur Förderung wird das

Hartgestein in Abbaukammern in drei Etappen ausgebrochen. Nach Ausbruch der Kalotte werden die Arbeiten in der entsprechenden Kammer planmässig ausgesetzt und in einer nicht angrenzenden Kammer fortgesetzt. Zusätzlich wird die Kammer gesperrt, damit sich die Gebirgsspannungen ohne direkte Bedrohung für Mensch und Maschine umlagern können. Dies ermöglicht, den erforderlichen Sicherungsaufwand zu reduzieren. Später, nach Kontrolle des Gewölbes, werden die zweite und dritte Etappe ausgebrochen. Um einen Wechsel des Abbauortes zu ermöglichen, muss vorgängig ein Stollen aufgefahren werden, der das Abbaugebiet ringförmig umschliesst (Fig. 2). Die Anordnung bzw. Ausrichtung der Kammern folgt den Messergebnissen zu den Hauptspannungen.

Zur Untersuchung des Einflusses des Abbaus auf die Gesamtstabilität des Gebirges und zur Einschätzung der Auswirkungen auf die bestehenden SBB-Tunnels Oelberg

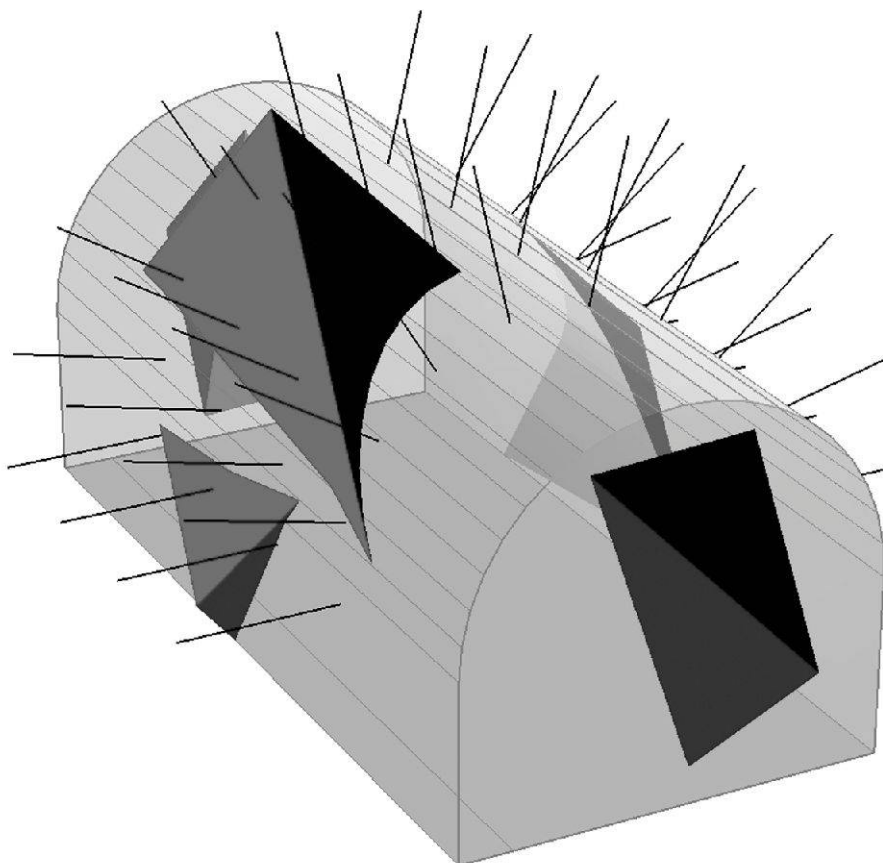


Fig. 5: Beispiel einer Kluftkörperanalyse am Erschliessungsstollen.

bzw. Fronalp werden Berechnungen unter Verwendung der Finite-Element-Methode durchgeführt. Es werden sowohl vereinfachte zweidimensionale, ebene Berechnungsschnitte als auch dreidimensionale Modelle betrachtet (Fig. 6, 7). Dabei werden Symmetrieebenen und weitere Randbedingungen zur Reduktion des Modellierungsumfanges berücksichtigt.

Das ebene Modell in Fig. 6 zeigt einen Gebirgsausschnitt mit fünf Abbauebenen und jeweils drei Abbaukammern. Mit diesem Modell wird die Interaktion zwischen Regelabbau bzw. Ausbruch und Standsicherheit des Gebirges untersucht. Der linke respektive rechte Berechnungsausschnittsrand liegt mittig zwischen zwei Abbaukammern, um Symmetrieeffekte zu nutzen. Die roten Striche in Fig. 6 symbolisieren die mechanischen Lagerungsbedingungen des Rechenmodells. Mit der Oberflächenlast wird ein Teil der Überlagerung abgebildet. Damit lässt sich das Modell bezüglich numerischer Rechenzeit effizienter gestalten.

Mit dem dreidimensionalen Modell in Fig. 7 wird der Übergangsbereich Abbaukammern/Stollen untersucht. In diesem Bereich ist ein zweidimensionales Modell nicht ausreichend, da sich die Spannungsumlagerungen dreidimensional einstellen und die Standsicherheit beeinflussen. Das Modell zeigt zwei Abbauebenen, bestehend aus zwei Abbaukammern und Stollen. Dabei wird berücksichtigt, dass die Ebenen versetzt angeordnet sind.

Die stoffliche Modellierung des als homogenisiert angenommenen Gebirges erfolgt elastisch-plastisch unter Ansatz der Fließbedingung nach Mohr-Coulomb (Chen & Mizuno 1990). Dabei werden die Ergebnisse der Messungen des initialen Spannungszustandes berücksichtigt. Die geometrische Modellierung erfolgt schrittweise zur Erfassung des Abbauprozesses und den damit verbundenen Spannungsumlagerungen. Das bedeutet, dass die Kontinuumselemente der Abbaukammern und Stollen entsprechend des definierten Abbaukonzeptes während

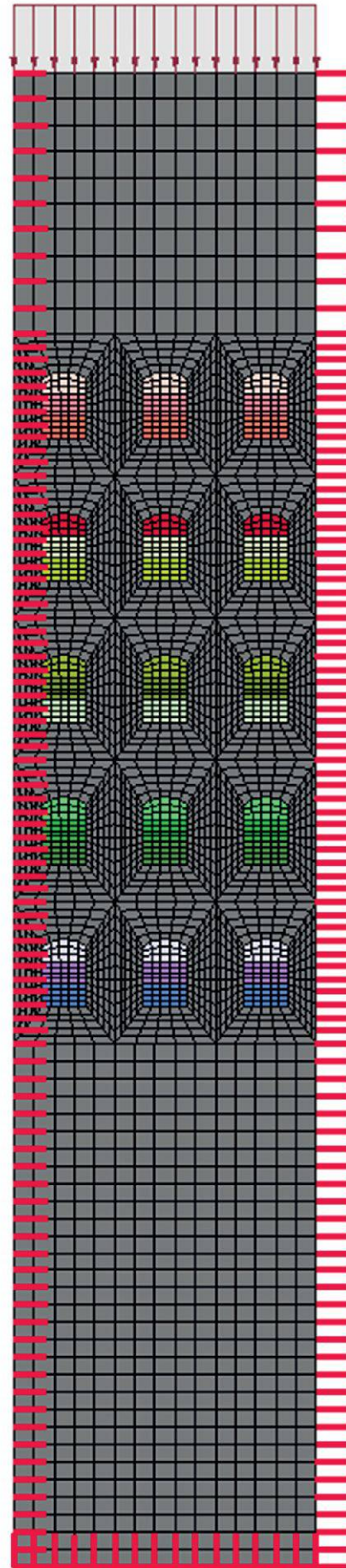


Fig. 6: Zweidimensionales Modell nach der Finite-Element-Methode.

der Modellrechnung zeitlich gestaffelt entnommen werden. Der zeitliche Ablauf bzw. das Abbaukonzept zeigt sich anschaulich in den unterschiedlichen Farben der Elemente der Abbaukammern in Fig. 6. Die Farbtöne korrespondieren zu den Etappen des Abbaus. Für das prognostizierte und entsprechend modellierte Gebirge wurden auf Basis der numerischen Berechnungen eine Dimensionierung der Pfeiler und damit eine Festlegung der Grösse der Abbaukammern vorgenommen sowie ein zugehöriges Abbaukonzept entwickelt. Dabei wird für die Pfeilertragfähigkeit ein zulässiger Grenzwert auf Basis der Gebirgsdruckfestigkeiten angesetzt. Weiterhin wurde für die Ausdehnung des Abbaureals die verträgliche Annähe-

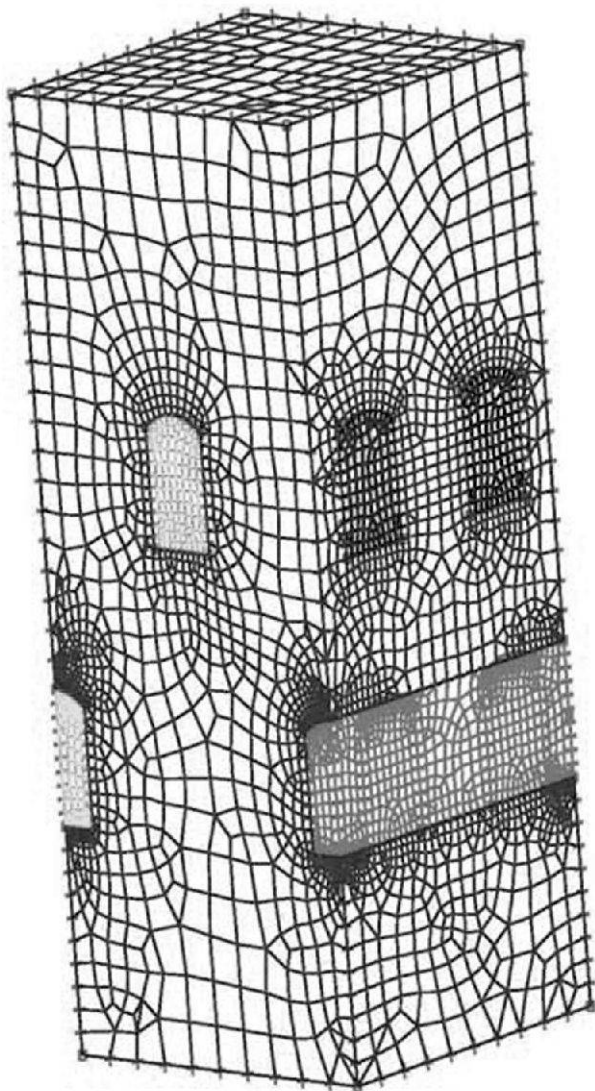


Fig. 7: Dreidimensionales Modell nach der Finite-Element-Methode.

rung an die bestehenden Tunnels analysiert. Als ein wesentliches Ergebnis der Untersuchungen zeigt sich, dass ein Abbau von oben nach unten zu geringeren Beanspruchungen der Felspfeiler, die zwischen den Abbaukammern verbleiben, führt und somit eine höhere Gesamtstabilität des Gebirges vorliegt. Des Weiteren bedingt der nach unten gerichtete Abbau geringere Spannungsumlagerungen in bestehenden Kammern infolge des weiteren Auffahrens. Die Figuren 8 und 9 zeigen beispielhaft die vertikalen Spannungen im Bereich von zwei Abbauebenen infolge eines Abbaus von oben nach unten (Fig. 8) bzw. von unten nach oben (Fig. 9) in einer fokussierten Darstellung des Modells aus Fig. 6. Fig. 8 beschreibt den Spannungszustand für den abgeschlossenen Ausbruch der oberen Abbaukammerreihe und der ersten Abbaukammer der unteren Reihe. Fig. 9 ist dazu komplementär. Hier sind die untere Abbaukammerreihe sowie die erste Abbaukammer der oberen Reihe ausgebrochen. Für die Abbaukammern, die im dickbankig-massigen Kieselkalk liegen, sind für die prognostizierten Gebirgseigenschaften und die mittlere Überdeckung nur geringfügige plastische Verformungen zu erwarten. Die Erkenntnisse aus den Berechnungen ermöglichen eine Optimierung der Kammer- und Pfeilerabmessungen zugunsten der Wirtschaftlichkeit bei gleichbleibendem Sicherheitsniveau gegenüber den Abmessungen aus dem Vorprojekt. Die zukünftigen Erfahrungen aus dem Vortrieb der Erschliessungsphase werden in das Bemessungskonzept der Abbaukammern einfließen. In diesem Zusammenhang bieten sich insbesondere Rückrechnungen von Verformungsmessungen zur Kalibrierung der stofflichen Modellierung an. Ein weiterer wichtiger Erfahrungswert aus dem Vortrieb betrifft die Felsqualität, insbesondere die Ausbildung der Trennflächen, die gegebenenfalls zur weiteren Abschätzung der Pfeilertragfähigkeit und zu einer eventuellen Anpassung der Pfeiler- bzw. Kammerabmessungen unerlässlich ist.

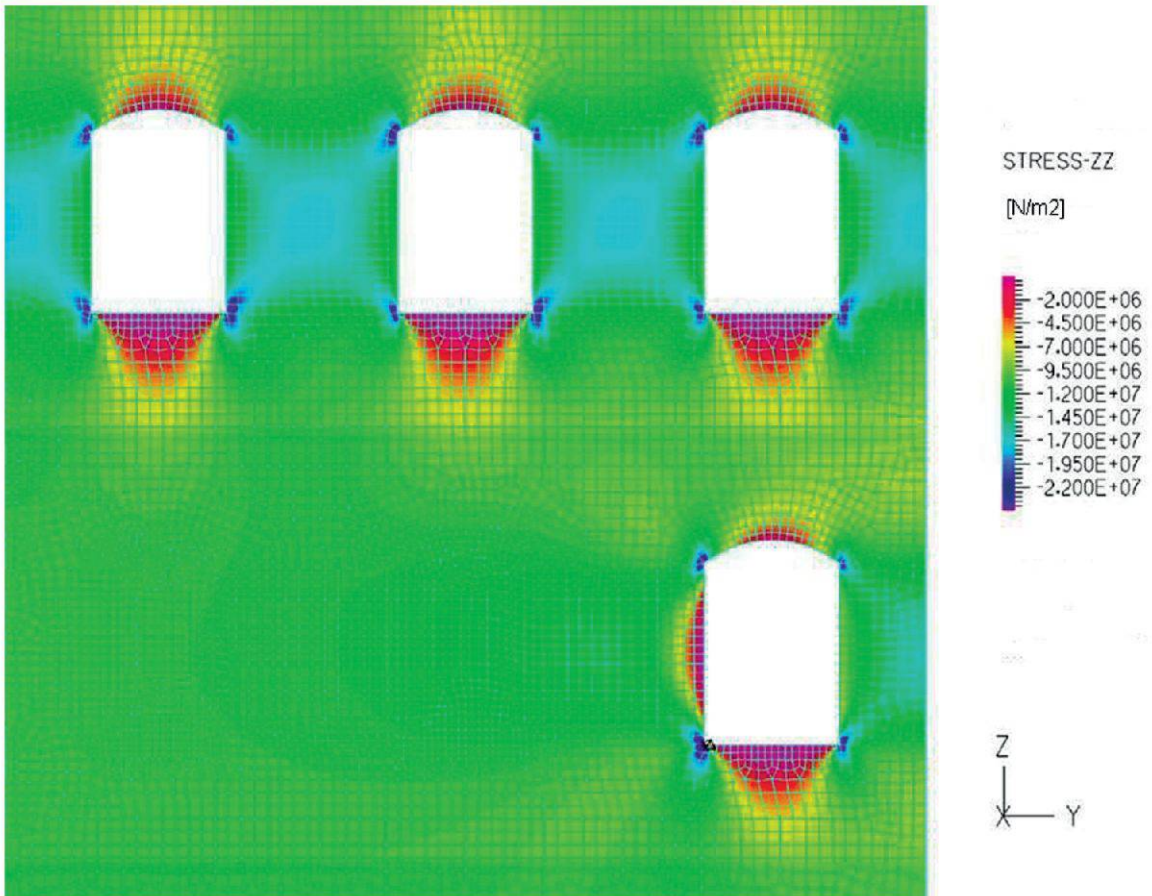


Fig. 8: Vertikale Spannungsverteilung infolge eines Abbaus von oben nach unten.

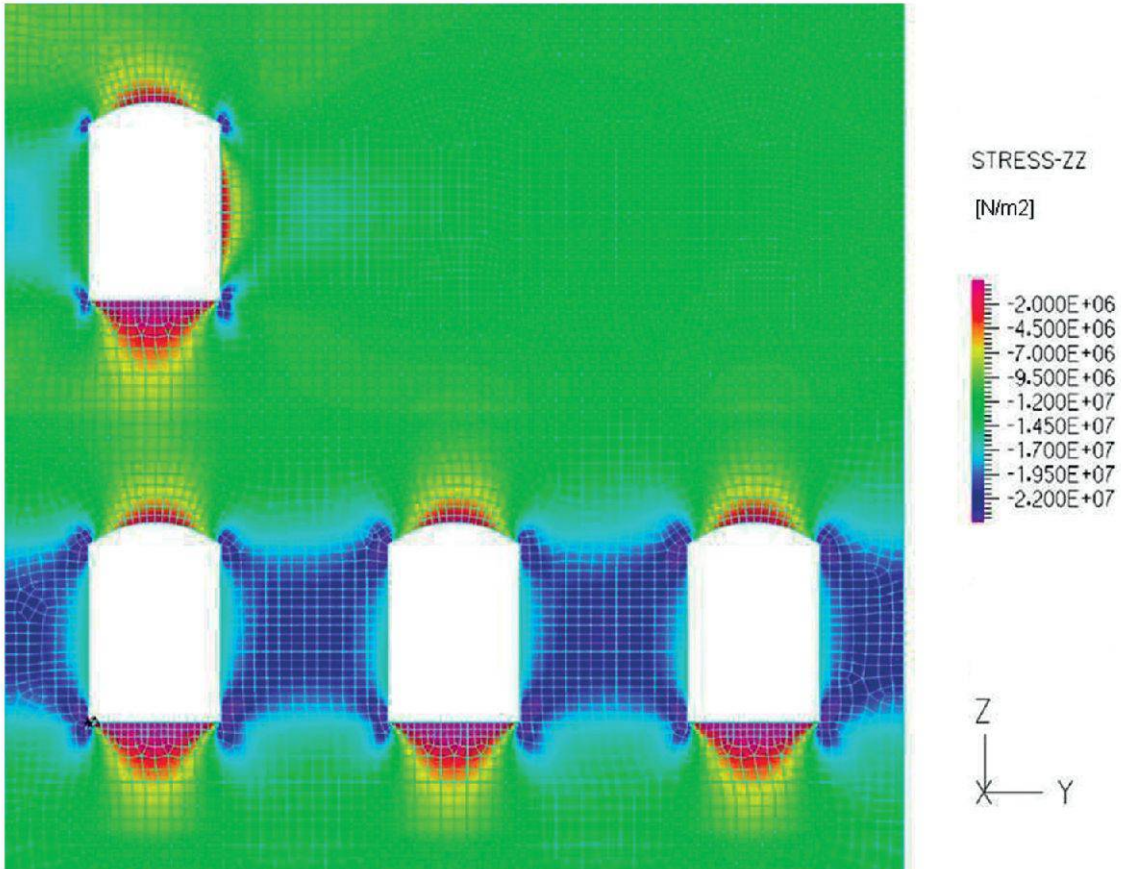


Fig. 9: Vertikale Spannungsverteilung infolge eines Abbaus von unten nach oben.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Das Kavernenprojekt Lüntigen erschliesst als Untertageabbauanlage die Hartgesteinsvorkommen im Raum Morschach. Damit wird ein Beitrag zur Eigenversorgung der Schweiz mit Hartgesteinen für den Infrastrukturbau geleistet.

Aufgrund der Grösse der Anlage und der Nähe zu bestehenden Tunnels werden bei der Projektierung komplexe numerische Untersuchungen mittels der Finite-Element-Methode durchgeführt. Auf Basis der Berechnungen wurde ein Abbaukonzept unter Berücksichtigung der Annäherung an die bestehenden Infrastrukturtunnels entwickelt. Die Erkenntnisse aus den numerischen Berechnungen ermöglichen eine Optimierung der Abmessungen der Abbaukammern bei gleichbleibendem Sicherheitsniveau gegenüber den Abmessungen aus dem Vorprojekt. Die felsmechanischen Untersuchungen werden in den kommenden Jahren durch die Erfahrungen aus dem Auffahren der Erschliessungsbauwerke ergänzt und die Berechnungsmodelle entsprechend kalibriert sowie erweitert.

Literatur

- Barton, N., Lien, R., Lunde, J. 1974: Engineering Classification of Rock Masses for Design of Tunnel Support. *Rock Mechanics*, 6, 189–239.
- Bieniawski, Z. T. 1989: Engineering Rock Mass Classification. Wiley, New York.
- Chen, W. F., Mizuno, E. 1990: Nonlinear Analysis in Soil Mechanics. Elsevier, Amsterdam.
- Funk, H. 1969: Typusprofile der helvetischen Kieselkalk-Formation und der Altmann-Schichten. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, Vol. 62, No 1, 191–203.
- Hirstein, A. 2009: Zu wenig Schotter in der Schweiz. *NZZ am Sonntag*, 15. November 2009, 68.
- Mayer, C. M. 2010: Hartgestein als unverzichtbarer Baustoff. *Schweizer Baujournal Infrastruktur*, 75. Jahrgang, 34.
- R RTE 21110, 2005: Unterbau und Schotter, Normalspur (und Meterspur). Regelwerk Technik Eisenbahn, Hrsg. Verband öffentlicher Verkehr, Bern.
- SIA 118/198, 2007: Allgemeine Bedingungen im Untertagebau. Schweizer Norm, Hrsg. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.
- SIA 199, 1998: Erfassen des Gebirges im Untertagebau. Schweizer Norm, Hrsg. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.
- SIA 261, 2003: Einwirkungen auf Tragwerke. Schweizer Norm, Hrsg. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.
- SIA 261/1, 2003: Einwirkungen auf Tragwerke – Ergänzende Festlegungen. Schweizer Norm, Hrsg. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.
- SN 670110, 2005: Gesteinskörnungen für Gleisschotter. Schweizer Norm, Hrsg. Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), Zürich.



Stump FORATEC AG
Bohr- und Messtechnik
mit Köpfchen.

MONITORING, DAMIT IHNEN KEINE ÜBERRASCHUNGEN BLÜHEN.

Bohrungen bis 1'500 m
Wasserfassung,
Drainage
MIT: Monitoring,
Instrumentation and
Technology

Dienstleistungen
für die Geotechnik
und das Bauwesen:
www.stump.ch



WUNDR.CH

Planung und Ausführung von automatischen Datenerfassungssystemen,
In-situ-Versuchen, Videoaufnahmen in Bohrungen sowie Setzungs- und
Verschiebungsmessungen. Exakte Infos: stump.ch