# Unterirdische Verzweigungskavernen im Tunnel Eyholz der Nationalstrasse A9, Umfahrung Visp (VS)

Alex Schneider

Rothpletz, Lienhard + Cie AG

# Unterirdische Verzweigungskavernen im Tunnel Eyholz der Nationalstrasse A9, Umfahrung Visp (VS)

A. Schneider, Dr. sc. techn., Rothpletz Lienhard + Cie AG, Projektierende Bauingenieure SIA, Olten

## 1. Einleitung

Die Umfahrung Visp stellt ein wichtiges Teilstück der zukünftig von Lausanne bis Brig-Glis durchgehenden Nationalstrasse A9 im Kanton Wallis dar. Die A9 umfährt Visp im Süden und entlastet die mitten durch das Zentrum führende Kantonsstrasse T9. Die heutige Linienführung des rund 8.8 km langen Teilstücks der A9 basiert auf dem Auflageprojekt von 1999 und verläuft zu rund 7 km in Tunnelbauwerken (Fig. 1). Talaufwärts betrachtet führt die Strasse vom Anschluss Visp West zuerst durch den Tunnel Visp von «Schwarzer Graben» nach «Chatzuhüs», überquert die Vispa im Bereich «Staldbach» und führt schliesslich durch den Tunnel Eyholz bis hin zum Dreiviertel-Anschluss Visp Ost beim «Grosshüs».

Der seit 1996 in Betrieb stehende Vispertaltunnel, der Visp West mit den Vispertälern verbindet, wird zur Südröhre des Tunnels Visp ausgebaut. Der westliche Halbanschluss der A9 an das Vispertal (von und nach Sion) erfolgt durch zwei unterirdische Verzweigungen und einen Überwurftunnel. Der östliche Halbanschluss (von und nach Brig-Glis) wird durch zwei unterirdische Abzweigungen im Tunnel Eyholz mit je einem Ein- und Ausfahrtstunnel im Bereich Staldbach hergestellt. Insgesamt sind damit für die Umfahrung Visp fünf unterirdische Verzweigungsbauwerke zu erstellen, wobei drei davon komplett neu auszubrechen sind und zwei davon aus einer Ausweitung des bestehenden Vispertaltunnels hervorgehen.

Die nachfolgenden Erläuterungen beschränken sich auf den Tunnel Eyholz und die beiden Verzweigungskavernen.

## 2. Übersicht Tunnel Eyholz

### Geologische Verhältnisse

Beim Bau des Tunnels Eyholz sind komplexe geologische Verhältnisse zu bewältigen. Der Tunnel quert hauptsächlich Kalkglimmerschiefer, in geringerem Masse harte und abrasive Quarzite, Prasinite und Dolomite (Fig. 2). Diese Gesteinsschichten werden zum Teil von geologischen Störungen, wie z.B. der Hotee-Störung, gegeneinander abgegrenzt. Die Felsstrecke zeichnet sich durch einerseits längere Abschnitte in standfestem Fels und anderseits durch zahlreiche kürzere und längere Abschnitte im Bereich von Störungen bzw. Störzonen aus. Einige davon können Wasser führen oder werden sich voraussichtlich in tiefer Lage druckhaft verhalten. Die maximale Überdeckung beträgt 820 m. Die Schichtfolge ist mit dem im Jahr 2000 durchgeschlagenen Sondierstollen entlang des Tunnels gut aufgeschlossen.

Im Staldbach wurden die detaillierten geologischen Verhältnisse in einer erweiterten Erkundungskampagne im Jahre 2006 mittels Bohrungen und einem zusätzlichen Stollen im Bereich

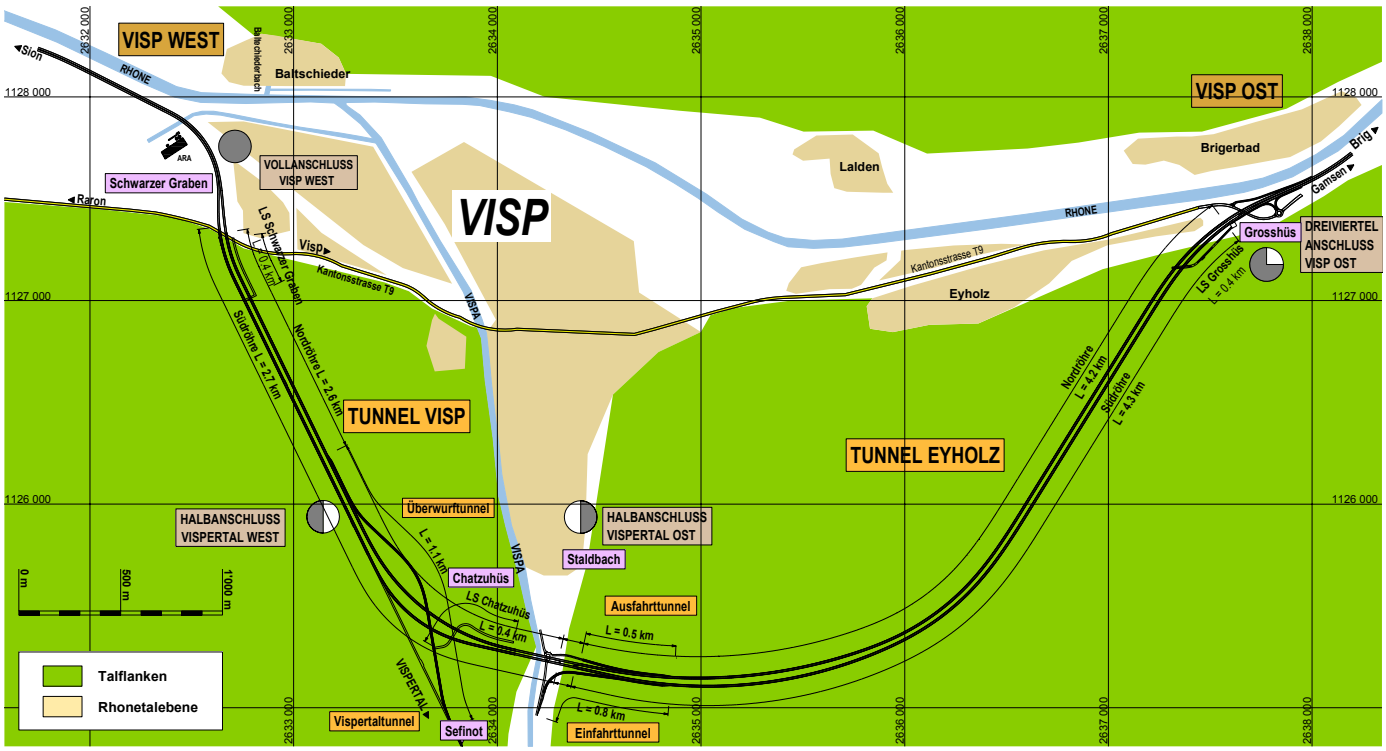


Fig. 1: Umfahrung Visp, Übersicht

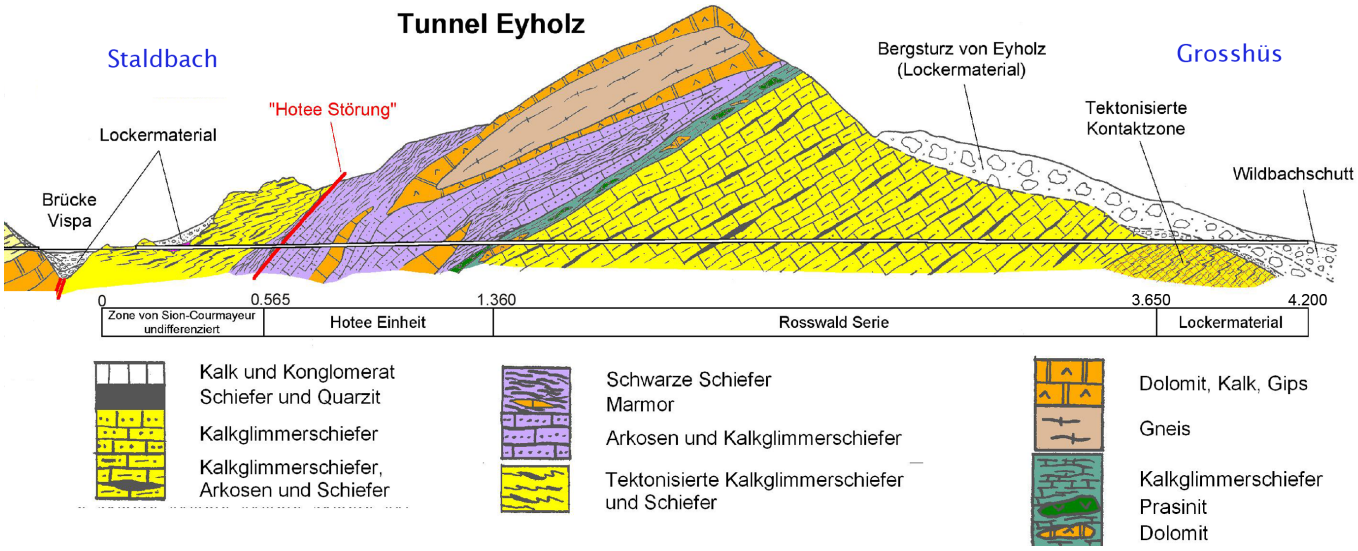


Fig. 2: Geologisches Prognoseprofil Tunnel Eyholz 2007 (NCG VISPA: Norbert SA, Martigny; De Cérenville Géotechnique SA, Ecublens)

der nördlichen Verzweigungskaverne näher aufgeschlossen. Dort sind etwa 100 m östlich des Felsportals ein Teil der Röhren im Lockermaterial (Gehängeschutt) auszuführen. Die Lage des nördlichen Verzweigungsbauwerks wurde dabei aufgrund der umfangreichen Erkundungskampagne im Staldbach derart weit nach Osten verschoben, dass heute davon ausgegangen werden kann, dass dieses vollumfänglich im Fels zu liegen kommt. Das südliche Verzweigungsbauwerk liegt voraussichtlich vollumfänglich im Fels.

Der Ausfahrttunnel liegt entgegen früherer Prognosen vollständig, die Nordröhre teilweise im Lockermaterial. Im Grosshüs durchqueren die beiden Hauptröhren jeweils mehr als 500 m im Lockergestein, das sich aus Wildbachschutt, Bergsturzmaterial sowie Moräne zusammensetzt. Der Übergang zum Felsen verläuft über einer Strecke von mehr als 100 m schleifend.

In den Lockergesteinsabschnitten liegt der Grundwasserspiegel jeweils unterhalb der Tunnelröhren, lediglich beim Übergang vom Fels ins Lockergestein ist mit einem konzentrierten Wasseranfall zu rechnen. Im Fels wird Bergwasser nicht in grossen Mengen erwartet. Es kann sich aber insbesondere gegenüber Beton als aggressiv erweisen, da es aufgrund der in der Nähe liegenden Trias-Schichten einen hohen Sulfatgehalt aufweist. Die Temperatur des Bergwassers wird mit bis zu 28° C angegeben.

## Bautechnische Merkmale

Der Tunnel Eyholz verbindet den Bereich Staldbach mit dem Grosshüs in zwei Hauptröhren, die ungefähr parallel in einem Abstand von ca. 30 m laufen. Zu den Portalen hin nimmt der Abstand der Röhren auf unter 10 m ab. Die Ausbaugeschwindigkeit der Nationalstrasse beträgt 100 km/h. Die Streckenabschnitte in den beiden unterirdischen Verzweigungsbauwerken im Bereich Staldbach betragen jeweils 280 m (Nordröhre) bzw. 445 m (Südröhre). Die unterirdischen Verzweigungen haben eine Spannweite des Ausbruches von bis zu 26 m.

Die Normalprofile der beiden Hauptröhren weisen je nach geologischen Verhältnissen einen Ausbruchsquerschnitt von zwischen ca. 110 und 130 m² auf. Darin besteht Raum für zwei Fahrspuren, einen Lüftungskanal von 13 m² für die Luftabsaugung im Brandfall oberhalb der Zwischendecke sowie einen begehbaren Werkleitungskanal in der Sohle. Die Ein- und Ausfahrtunnel sind

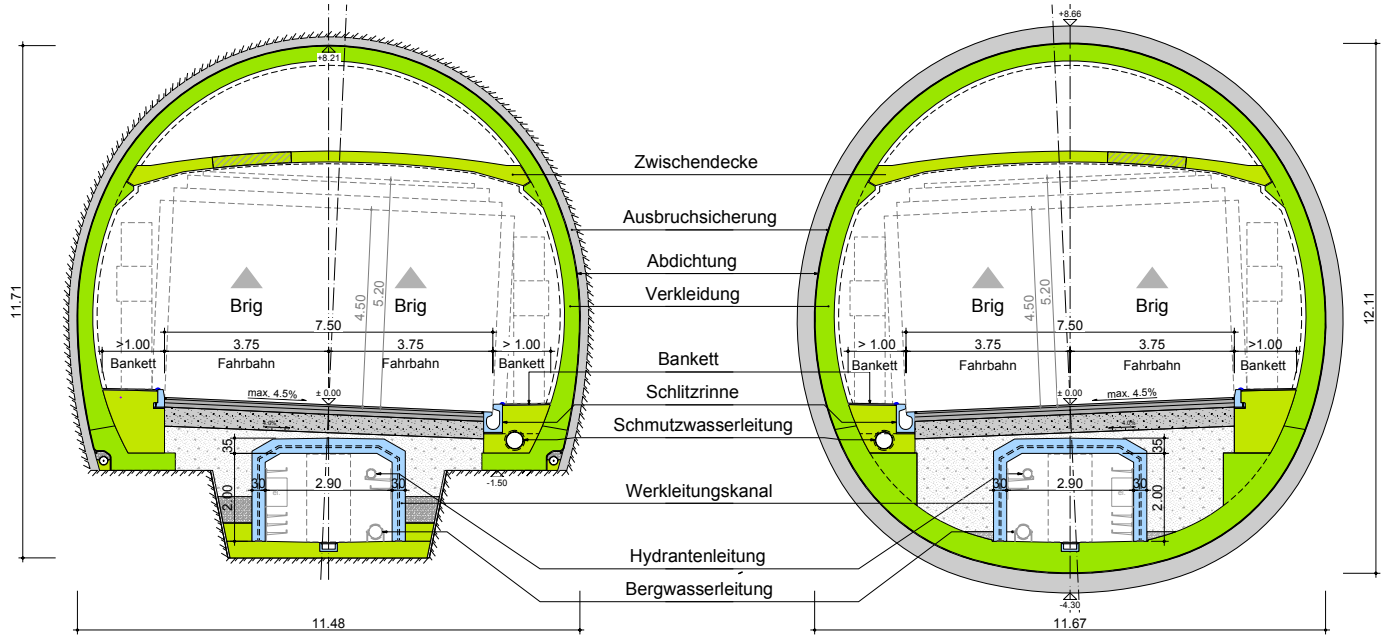


Fig. 3: Normalprofile Hauptröhren Tunnel Eyholz mit Werkleitungskanal:
a. Felsstrecken b. Lockergesteinsstrecken (Grosshüs und Nordröhre Staldbach)

jeweils einspurig mit Standstreifen ausgeführt. Im Normalfall werden die Tunnelquerschnitte in geologisch günstigen Tunnelabschnitten als Hufeisenprofil ausgeführt (Fig. 3a). Im Bereich von längeren Störzonen und in Abschnitten mit druckhaftem Gebirge sowie im Lockergestein wird das Profil zum Ring geschlossen (Fig. 3b: Normalprofil im Lockergestein).

Die Tunnelröhren sind im Normalbetrieb natürlich bzw. durch bei den Portalen angeordnete Stahlventilloren unterstützt belüftet. Für den Ereignisfall (Brandfall) steht eine konzentrierte Luftabsaugung über den Lüftungsquerschnitt oberhalb des Fahrraumes zur Verfügung, die von beiden Lüftungszentralen bei den Portalen betrieben werden. Im Bereich Staldbach werden die beiden Lüftungskanäle aus den Hauptröhren in getrennten Querschnitten oberhalb des Fahrraumes des Ausfahrttunnels zur Zentrale geführt. Beim Grosshüs ist der Anschluss an die Lüftungskanäle via einen rund 370 m langen Lüftungsstollen zur Zentrale gelöst.

### Vortriebe

Das Projekt basiert auf Sprengvortrieben für die Hauptröhren, die Verzweigungsbauwerke und den Einfahrttunnel im Fels. Die Ausbruchssicherung wird mittels Ankern, bewehrtem Spritzbeton und Bögen ausgeführt. Die Chancen und Risiken eines TBM-Vortriebes wurden im Detail abgeklärt. Es zeigten sich für den Bauherrn nicht akzeptierbare Risiken für Termine und Kosten in den vorhandenen Störungen bzw. Störzonen, insbesondere auch im druckhaften Gebirge.

Mit dem Ziel, die Bauzeitrisiken möglichst zu reduzieren, wurden die Lockergesteinsvortriebe Grosshüs in Vorlosen von den Hauptarbeiten im Tunnel Eyholz entkoppelt. Die Vortriebe werden im Vollausbruch mit einem der Ortsbrust rasch folgendem Ringschluss im Schutze einer vorauseilenden Gewölbesicherung (je nach Fall: Rohrschirm, Spiesse) sowie langen Brustankern ausgeführt. Der Anschluss des Lüftungsstollens an die Hauptröhren in einem Abstand von 300 m vom Portal wurde als Zwischenangriff ausgebildet, so dass der Ausbruch der beiden jeweils ca. 500 m langen Röhren in rund 1.5 Jahren abgeschlossen werden kann.

Die Lockergesteinsvortriebe im Staldbach liegen im Bereich des Hangfusses und werden im Vollausbruch mit Jet Grouting Schirmen ausgeführt. Der Ausbruchquerschnitt liegt dabei auf einer Strecke von ca. 100 m teilweise im Fels und im Lockergestein. Die Felsoberfläche schneidet den Querschnitt schleifen.

### Bauprogramm und Kosten

Der Projektsteuerungsplan sieht vor, den Tunnel Eyholz bis zum Jahre 2014 fertig zu stellen. Über eine Teilinbetriebnahme der Umfahrung Visp wird noch entschieden. Die gesamte Umfahrung soll ca. 2016 in Betrieb genommen werden. Die Kosten für den Tunnel Eyholz sind mit ca. CHF 0.7 Mia. veranschlagt (Basis 2007).

## 3. Unterirdische Verzweigungsbauwerke

### Geotechnische Überlegungen, Gefährdungsbilder

Die Figur 4 zeigt in einer schematischen Darstellung die geologischen Verhältnisse der südlichen Verzweigungskaverne in einem Längs- und Horizontalschnitt. Der Hauptteil der Verzweigung kommt im Kalkglimmerschiefer zu liegen, der örtlich von Brüchen, Verwerfungen, kakiritischen Störungen durchquert wird und im Weiteren unregelmässig geklüftet ist. Dies ist auch repräsentativ für die Verzweigung in der Nordröhre.

In der südlichen Verzweigung wird das Bauwerk von einer rund 5 bis 7 m mächtigen «Graphitzone» tangiert, einem Gebirgsbereich mit erhöhtem Graphitgehalt und damit einer geringeren Festigkeit als das umliegende Gebirge. Diese kann beim Vortrieb unzulässige Deformationen des Querschnittes und damit verbunden eine Überbeanspruchung des Ausbaues verursachen.

Für den Ausbruch der Verzweigungsbauwerke lassen sich die wesentlichen Gefährdungsbilder wie folgt beurteilen:

- Entlang der gesamten Strecken ist mit Niederbrüchen zu rechnen, deren Häufigkeit und Ausmass von den Abständen, Raumstellung und Ausbildung der Trennflächen im Fels bzw. der Brüche, Verwerfungen und Störungen abhängig ist. Anhand einer Bruchkörperanalyse auf der Basis des vorhandenen Kenntnisstandes über die Trennflächen wurde die aus einer systematischen Ankerung und einer bewehrten Spritzbetonschale bestehende Ausbruchsicherung festgelegt.

- Mit dem lediglich rund 10 bis 12 m mächtigen Felspfeiler zwischen den beiden mehr als 20 m weit gespannten Kavernen war die gegenseitige Beeinflussung beim Vortrieb hinsichtlich unzulässiger Deformationen oder Beanspruchungen der Ausbruchsicherung zu überprüfen. Felsmechanische Berechnungen mit

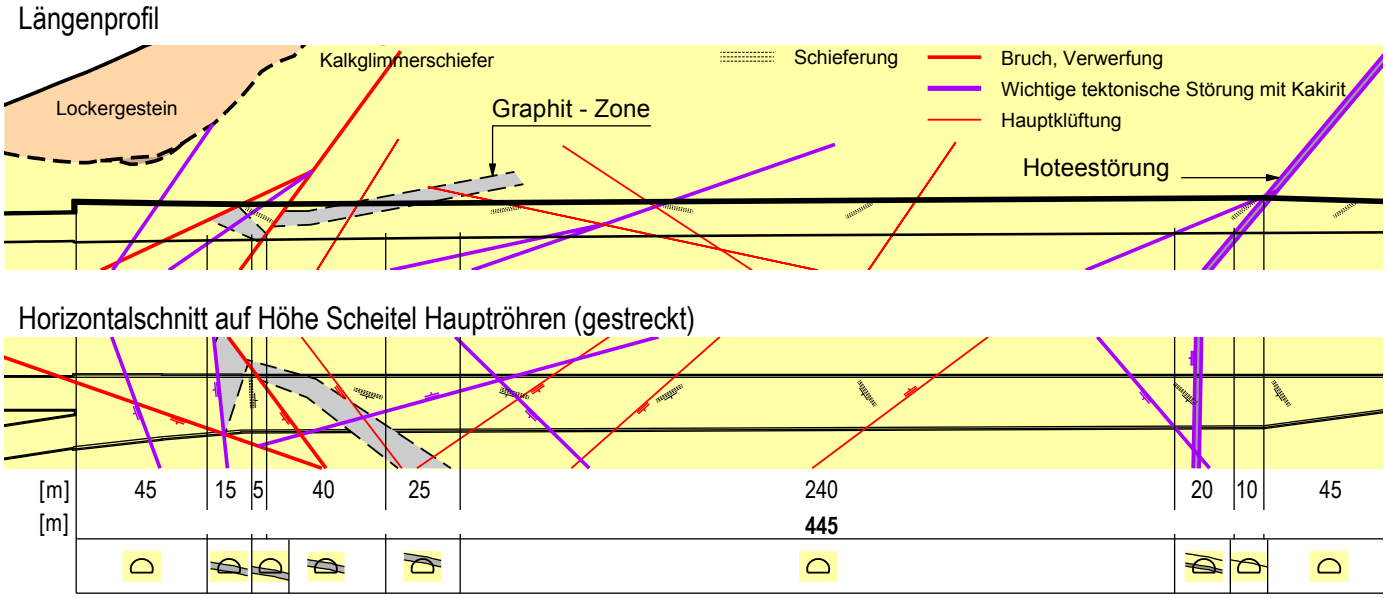


Fig. 4: Geologische Prognose der Verzweigung der Südröhre: Schematisches Längenprofil und Horizontalschnitt (Grundlage: NCG VISPA: Norbert SA, Martigny; De Cérenville Géotechnique SA, Ecublens)

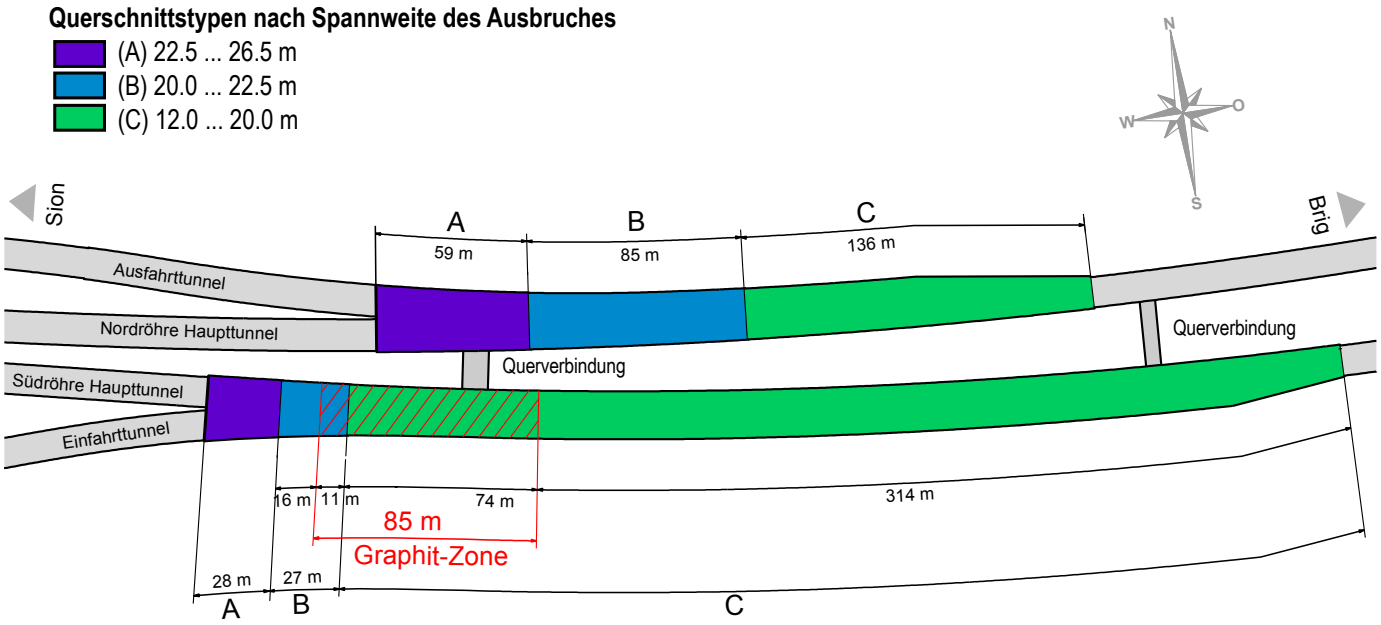


Fig. 5: Situation der beiden unterirdischen Verzweigungskavernen mit Querschnittstypen nach Spannweite sowie Bereich der südlichen Verzweigungskaverne, der vom der Graphitzone betroffen ist

dem Scheibenmodell zeigten, dass - ohne Berücksichtigung von weit erstreckten Störungen - die Beanspruchung des Felspfeilers nicht kritisch ist.

- Die Stärke des Pfeilers zwischen Hauptröhre und abzweigender Röhre am Ende der Verzweigung beträgt jeweils minimal 1 m. Die Beanspruchung des Felsens im Pfeiler wurde untersucht und das Baukonzept ist vom Aufschluss der lokalen Felsverhältnisse abhängig. Bei ungünstigen Felseigenschaften wird der Pfeiler im vordersten Bereich durch Beton ersetzt. Im günstigen Fall wird der Pfeiler mit Ankern gesichert.

- Besonders zu betrachten ist das ungünstige Verschneiden der verhältnismässig weichen und wenig festen Graphitzone mit der südlichen Verzweigung (vgl. Fig. 4 und 5). Die Erkundungsphase 2006 hat u.a. das Ziel, die geometrische Ausdehnung der Zone in der vorliegenden komplexen Geologie zu erfassen. Daraus geht hervor, dass die Graphitzone im Bereich der südlichen Verzweigung verhältnismässig flach einfällt und den Ausbruch auf einer Länge von ca. 85 m tangiert. Gegen Norden hin steigt die Zone rasch an, so dass die nördliche Verzweigungskaverne voraussichtlich nicht betroffen wird. Der Graphitgehalt, und damit die Festigkeit des Materials, sind nach heutigem Kenntnisstand aufgrund der vorhandenen Aufschlüsse als variabel zu beurteilen, weshalb

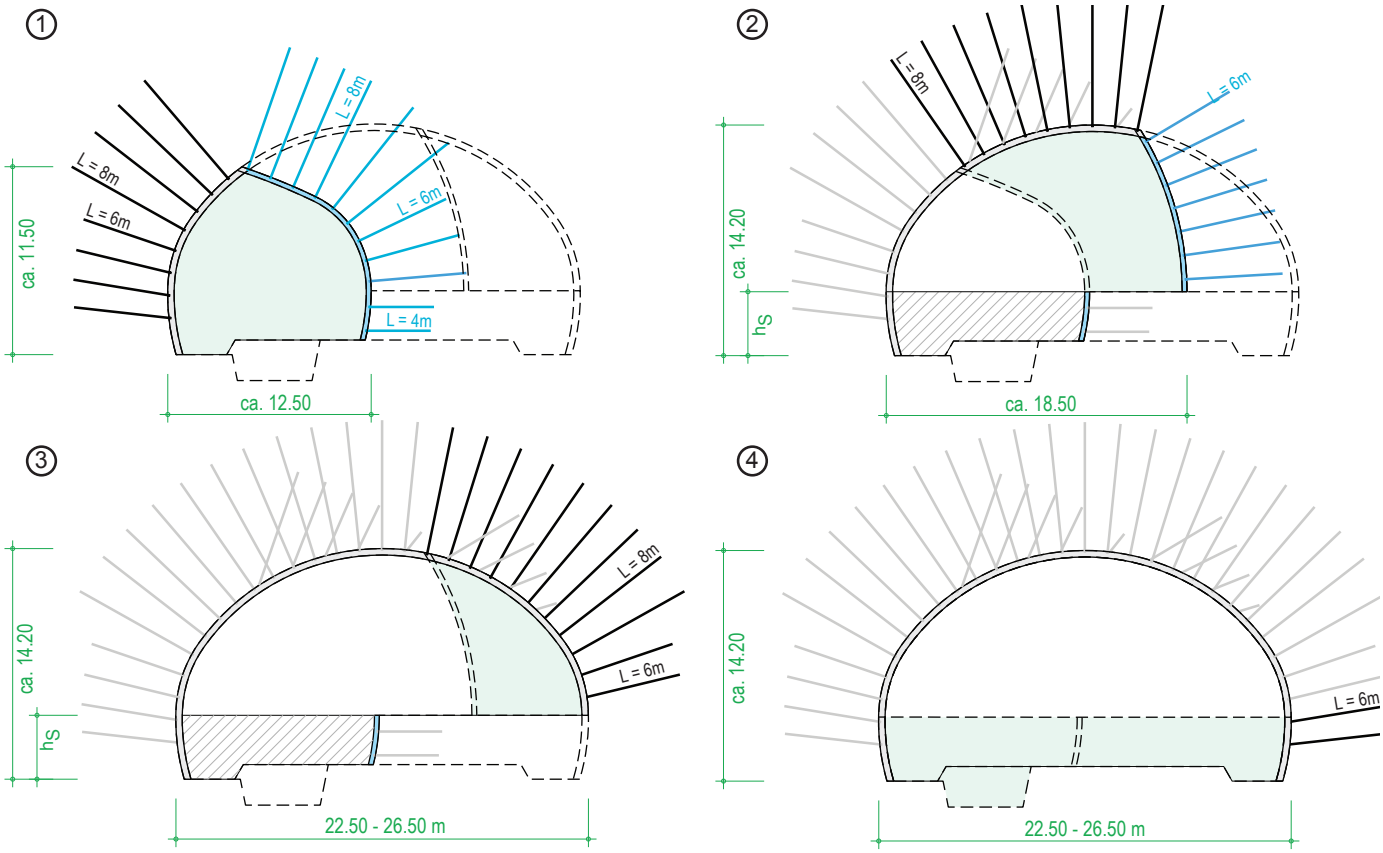


Fig. 6: Ausbruchsschritte und Sicherung der unterirdische Verzweigungskavernen bei Spannweite des Ausbruchs von 22.5 bis 26.5 m

die Massnahmen in diesem Bereich insbesondere auch unter diesem Aspekt zu planen waren.

## Ausbruch- und Sicherungskonzept

Das Ausbruchs- und Sicherungskonzept (Dimension und Anzahl der Sicherungsmittel) wurde ausserhalb der Graphitzone in Abhängigkeit von der Querschnittsgrösse definiert (vgl. Fig. 5).

Der maximale Querschnitt der beiden Verzweigungskavernen hat eine Spannweite des Ausbruches von über 26 m und eine Höhe von rund 14.5 m. Aufgrund geotechnischer und bautechnischer Überlegungen (z.B. Arbeitshöhen) wird dieser in max. vier Teilausbrüche unterteilt (vgl. Fig. 6). Die kleineren Querschnitte B und C mit Spannweiten kleiner als 22.5 m sind entsprechend weniger unterteilt. Die Höhe des Sohlausbruches $h_S$ kann vom Unternehmer aufgrund seines Installationskonzeptes gewählt werden.

Das Sicherungskonzept sieht vor, potentielle Bruchkörper im Querschnitt mit einer systematischen Ankerung ($L_{max}$ = 8 m im Bereich des Scheitels, $L_{max}$ = 6 m im Parament) sowie die lokale Ausbrüche mit einer netzbewehrten Spritzbetonschale von 40 cm Stärke zu sichern. Die Bruchkörperanalyse auf der Basis der prognostizierten Trennflächen zeigte, dass aufgrund des tendenziell eher flachen Fallens der weit erstreckten Trennflächen insbesondere grössere potentielle Gleitkörper in den Paramenten zu erwarten sind.

## Zusatzmassnahmen Graphitzone

Für den rund 85 m langen Bereich der Verzweigung, der von der Graphitzone betroffen ist, wurden Varianten von Massnahmen untersucht. Dies einerseits abhängig von der Lage der Graphitzone bzgl. des Verzweigungsquerschnittes (im Scheitel, im Parament oder im Fundamentbereich), andererseits von der Festigkeit und Verformbarkeit des graphitischen Materials. Zu letzteren lagen verschiedene Hinweise vor. Zum einen konnte an qualitativ besseren Bohrkernen einige Proben entnommen und in triachsialen Druckversuchen im Labor geprüft werden. Zum anderen zeigten lokale Aufschlüsse im Stollen sowie einzelne Abschnitte der Bohrungen wesentlich ungünstigere Festigkeitseigenschaften.

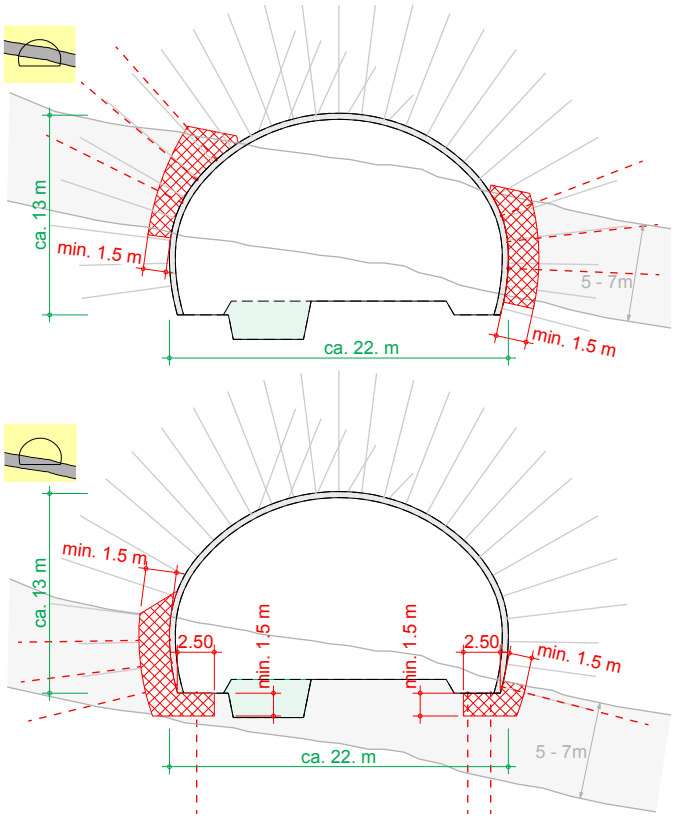


Fig. 7: Zusatzmassnahmen Graphitzone für 2 Szenarien der Lage der Graphitzone: Materialersatz (Beton) in Nischen

Abhängig von dieser Variabilität der möglichen Ausbildung des graphitischen Materials wurden Lösungen untersucht, die von

- einer intensiver, systematischer Ankerung der Graphitzone,
- einem örtlichem Materialersatz in während dem Vortrieb erstellten seitlichen Nischen,
- einem vorauseilendem Materialersatz in seitlich der Verzweigungsquerschnitte angeordneten Stollen,
- bis hin zu einem lokalen Ringschluss des Kavernenausbaues im ungünstigsten Fall

reichten.

Für die vorliegenden Verhältnisse mit der geometrisch relativ klar abgrenzbaren Zone kristallisierte sich der in Nischen nahe der Ortsbrust eingebrachte Materialersatz als beste Lösung heraus. Die Figur 7 zeigt beispielhaft für zwei Fälle der Lage der Graphitzone die Anordnung des Materialersatzes. Der Materialersatz erfolgt mit Beton und wird in der Regel bis in eine Tiefe von ca. 1.5 bis 3 m ausgeführt. Bei örtlich ungünstigeren Gebirgsverhältnissen sind auch grössere Tiefen denkbar.

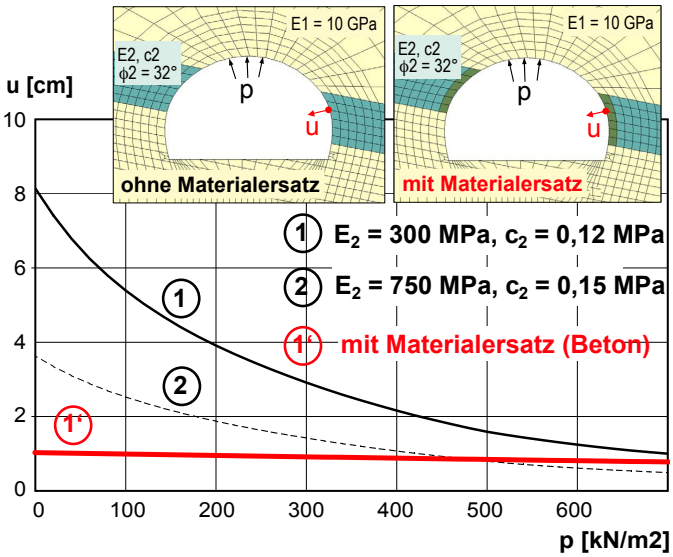


Fig. 8: Wirksamkeit des Materialersatzes, aufgezeigt beispielhaft anhand der Beziehung zwischen Ausbauwiderstand p und der Verschiebung am Ausbruchrand u

Die Wirksamkeit der Massnahme wurde anhand von Berechnungen am Scheibenmodell untersucht. Die Fig. 8 zeigt beispielhaft die Wirksamkeit eines Materialersatzes für den Fall der im Parament angeordneten Graphitzone. Sie zeigt die Beziehung zwischen dem Ausbauwiderstand p und der daraus hervorgehenden Verschiebung u der Ausbruchleibung im Bereich der Graphitzone nach dem Ausbruch von einer Verzweigung. Dargestellt sind die Beziehungen für zwei Fälle der Gebirgseigenschaften des graphitischen Materials (1) und (2). Es wird deutlich, dass mit dem Materialersatz der erforderliche Ausbauwiderstand des Verzweigungsquerschnittes auf ein mit verhältnismässigen Mitteln beherrschbares Mass reduziert werden kann.

## Ausbaukonzept

Im Endzustand ist davon auszugehen, dass die Anker der Ausbruchsicherung langfristig ihre Tragfähigkeit verlieren und der

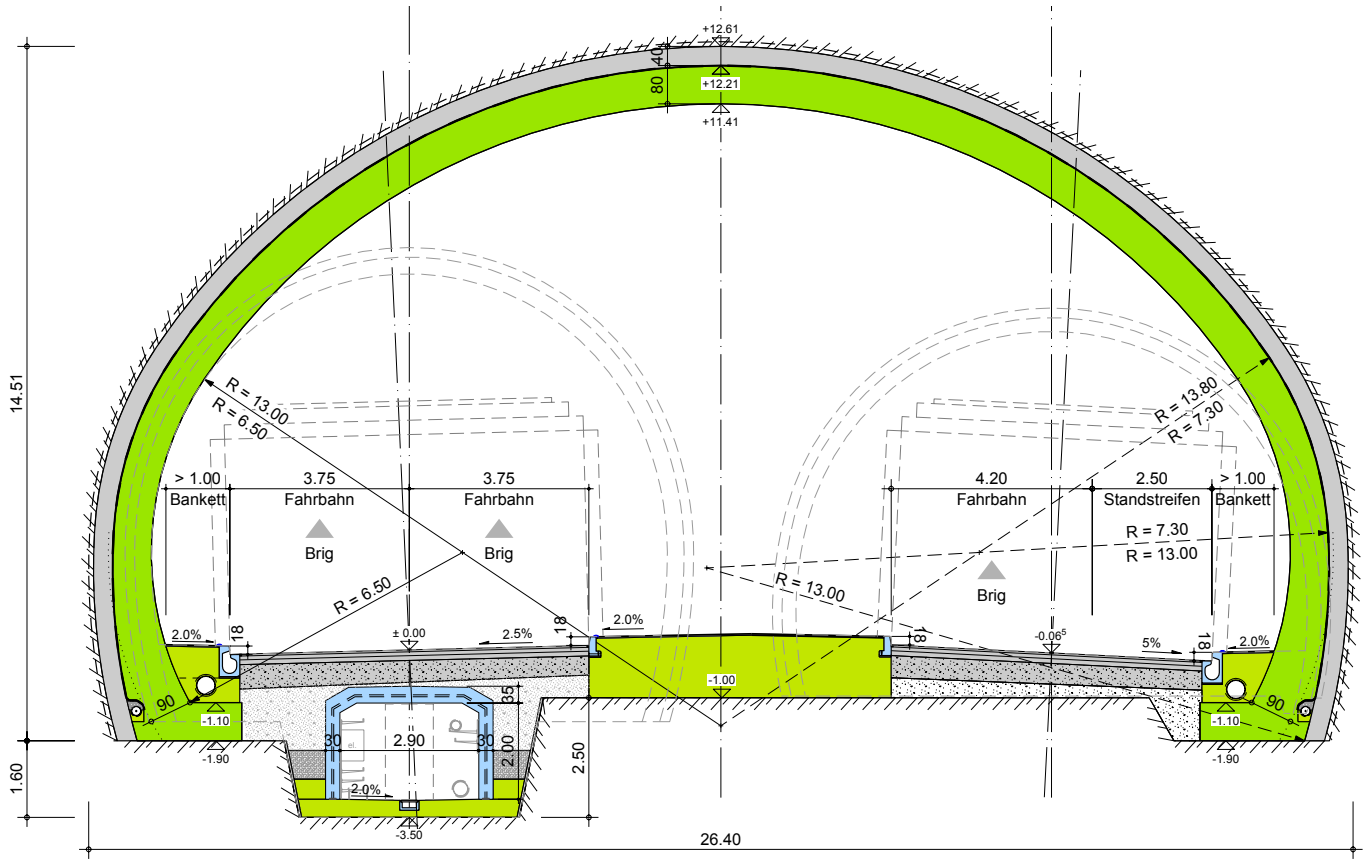


Fig. 9: Definitiver Ausbau der südlichen Verzweigungskaverne bei maximalem Querschnitt (Ausbruch ca. 315 m$^2$)

Gebirgsdruck von der Betonschale (Verkleidung) alleine getragen wird. Mit dem Konzept des Materialersatzes im Bereich der Graphitzone kann der Ausbau über die gesamten Verzweigungen einheitlich mit einem offenen Profil, zweischalig mit einer Abdichtung und Gewölbedrainage ausgeführt werden (Fig. 9). Auf einen Abschnitt mit Ringschluss kann mit hoher Wahrscheinlichkeit verzichtet werden.

Die Verzweigungskavernen sind geometrisch so aufgebaut, dass das Innenprofil bis auf den Radius in der Firste demjenigen der Hauptröhren entspricht. Die Paramente und Gewölbefüsse links und rechts werden der Trassierung entsprechend nach aussen verschoben und der Gewölberadius in der Firste eingepasst. Die Gewölbestärke variiert mit dem Ausbruchdurchmesser und beträgt maximal 80 cm im Scheitel.

## 4. Folgerungen und Ausblick

Der Bau von unterirdischen Verzweigungskavernen zur Gewährleistung von Anschlüssen von Verkehrwegen führt zu einer anspruchsvollen Ingenieuraufgabe. Dies umso mehr, je ungünstiger die Gebirgsverhältnisse, in denen diese Bauwerke zu liegen kommen, sich erweisen. Für den Tunnel Eyholz konnte durch eine umfassende geologische Erkundung und eine systematische Auswertung der Gefährdungsbilder ein geeignetes Ausbruch- und Sicherungskonzept sowie Zusatzmassnahmen derart definiert werden, um die Risiken aus heutiger Sicht auf ein akzeptierbares und überschaubares Mass zu reduzieren.

Zurzeit befinden sich im Tunnel Eyholz die Lockergesteinsvortriebe im Grosshüs in Ausführung. Rund 20 % der Röhren im Grosshüs sind ausgebrochen. Die Vortriebe im Grosshüs werden bis ca. Ende 2008 andauern. Die restlichen Arbeiten beginnen mit dem Vortrieb des Einfahrttunnels und anschliessend dem Ausbruch der Verzweigungen im ersten Quartal 2008. Kurz darauf erfolgt der Baubeginn des Hauptloses mit den Vortrieben der Hauptröhren und dem Ausfahrttunnel ab Staldbach.

Die für das Projekt der beiden Tunnel der Umfahrung Visp verantwortliche Ingenieurgemeinschaft IG VISPA besteht aus den Ingenieurbüros IUB (Bern), Rothpletz, Lienhard + Cie AG (Bern), SPI Schmidhalter + Pfammatter Ingenieure AG (Brig-Glis), Bänziger Partner AG (Zürich), ESM-Ruppen Ingénieurs SA (Monthey) sowie Roten & Dubuis SA (Sion).