

# TUNNEL ENGELBERG

Tunnel

## Fotographische Dokumentation

---

2001 - 2009

Auftrags Nr.: 51602	Format: A4	Fläche:	Datum: Dez. 2009
Erstellt: Bus/Fan	Kontrolliert: Tar	Genehmigt: Tar	zb Registratur Code:
A	A	A	
B	B	B	
C	C	C	<b>981.6-R-41</b>
D	D	D	Bericht Nr.: <b>51602-F31</b>

### *BAULEITUNG*

### **INGENIEURGEMEINSCHAFT LSE STEILRAMPE**

---

Lombardi AG	Via R. Simen 19	CH-6648 Minusio	Tel. 041/744 60 30	Fax 041/743 97 37
Henauer Gugler AG	Sonnenplätzli 7	CH-6430 Schwyz	Tel. 041/818 81 41	Fax 041/818 81 51
Gasser & Partner AG	Obseestrasse 11	CH-6078 Lungern	Tel. 041/679 05 15	Fax 041/679 05 16

Bauleitung:  
IG LSE Steilrampe  
c/o Renzo Tarchini Cantieri & Contratti SA  
Via Montarina 19  
6900 Lugano  
Tel. 091 968 29 01 Fax. 091 968 29 16

---

## INHALTSVERZEICHNISS

OBJEKTBESCHRIEB	3
TECHNISCHE DATEN	3
ÜBERSICHT	5
SITUATION UND LÄNGSSCHNITT	6
NORMALPROFILE	7
BAUARBEITEN 2001 - 2007	9 - 99
BAUARBEITEN WINTER 2007 / 2008	101 - 113
BAUARBEITEN 2008 - 2009	115 - 143

# **zb – STEILRAMPE TUNNEL ENGELBERG GRAFENORT – ENGELBERG 2001 - 2009**

<b>Bauherr</b>	zb Zentralbahn AG
<b>Referenzperson</b>	J. Langenegger (Direktor zb)
<b>Erbrachte Leistung</b>	Bauleitung
<b>Zeitraum der Leistung</b>	2001 – 2009
<b>Bauausführung</b>	2001 – 2009 (Rohbau)
<b>Kosten der Bauarbeiten</b>	ca. CHF 100.- Mio.

## Objektbeschreibung

Das bestehende Trasse der Zentralbahn weist zwischen Grafenort und Engelberg eine maximale Steigung von 246‰ auf. Die rund 1'600 m lange Zahnstangenstrecke erlaubt nur geringe Fahrgeschwindigkeiten und die Transportkapazität ist durch die Zughängelast eingeschränkt.

Dank dem Ersatz der heute offenen Steilrampe durch ein Tunnelbauwerk mit geringerer Neigung lassen sich neben der Transporterhöhung zudem hohe Unterhalts- und Betriebskosten senken.

## Technische Daten

Einspurtunnel für Schmalspurbahn, Länge 4'040 m, Längsneigung 105‰. Hufeisenprofil, Ausbruchquerschnitt 27 m<sup>2</sup> (Fels) resp. 31 m<sup>2</sup> (Lockergestein).

- Geologie: Der rund 4 km lange Tunnel Engelberg verläuft grösstenteils in den Schichtserien der Helvetischen Axen-Decke. Einzig die südlichsten rund 220 m durchfahren die Ablagerungen des Bergsturzes von Engelberg.

Vor allem die Quintnerkalke erwiesen sich im Vortrieb als markant weniger massig. Sie waren meist stark geklüftet, tektonisiert und teilweise brecciös. In der rund 300 m langen Quintnerkalkstrecke traf man auf einen in den Sommermonaten anhaltenden Wasserandrang (während der Schneeschmelze Mai/Juni durchschnittlich 500 l/s – max. >1 m<sup>3</sup>/s).

Die Gassituation erwies sich im Tunnelvortrieb als praktisch nicht relevant.

- Nebenbauwerke: Zwei unterirdische zweispurige Kreuzungsstellen, Nutzlänge je 260 m, Ausbruchquerschnitt 53 m<sup>2</sup>.

Verschiedene Nischen und Kammern für Bahnbetrieb.

Vertikalschacht 45 m (im SPV über Kopf ausgebrochen).

Portalbauwerke Süd/Nord und Stützmauern.

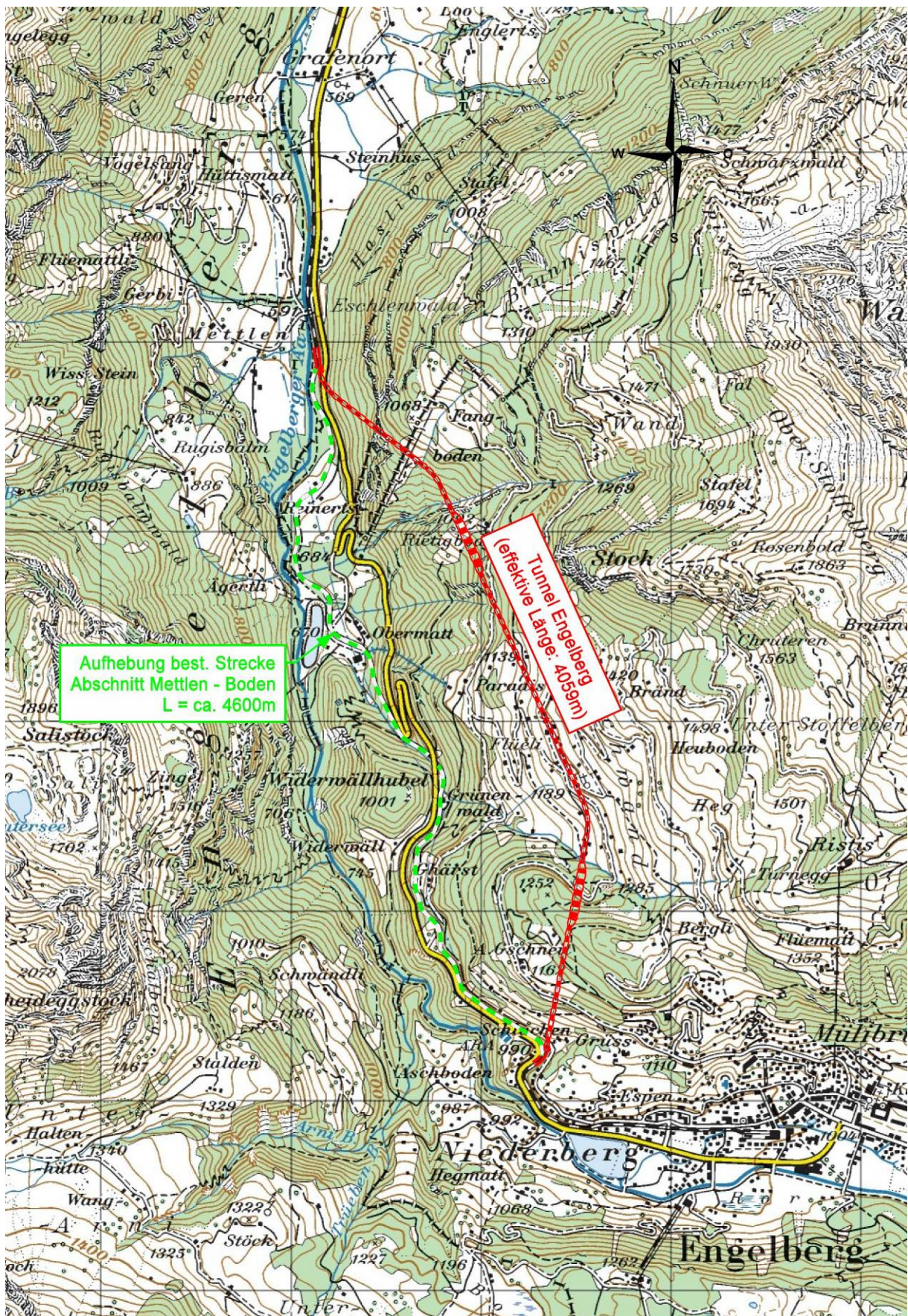
- Baumethode: Felsstrecke: Sprengvortrieb 3'500 m steigend (Vollausbruch)

Lockergestein: Maschinenunterstützter Vortrieb (Baggervortrieb) 500 m fallend im Kalottenausbruch und rückwärtigem Strossenabbau.

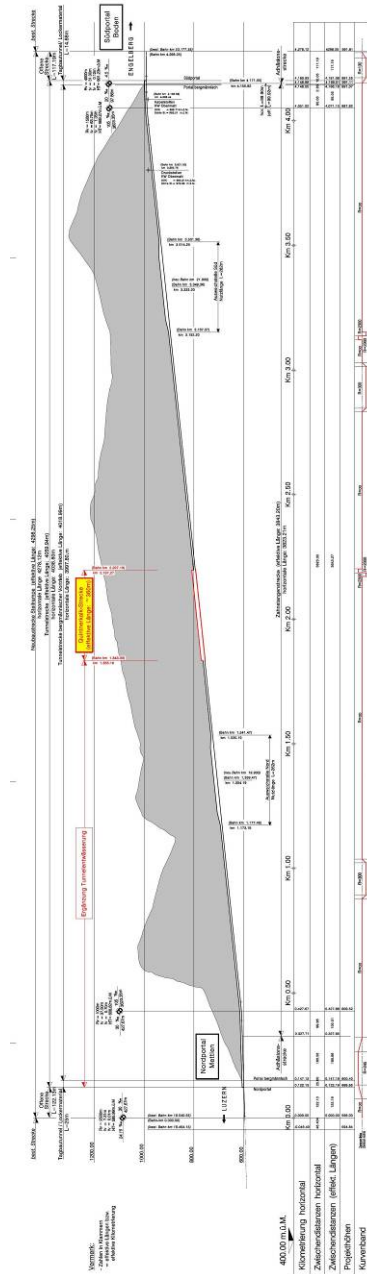
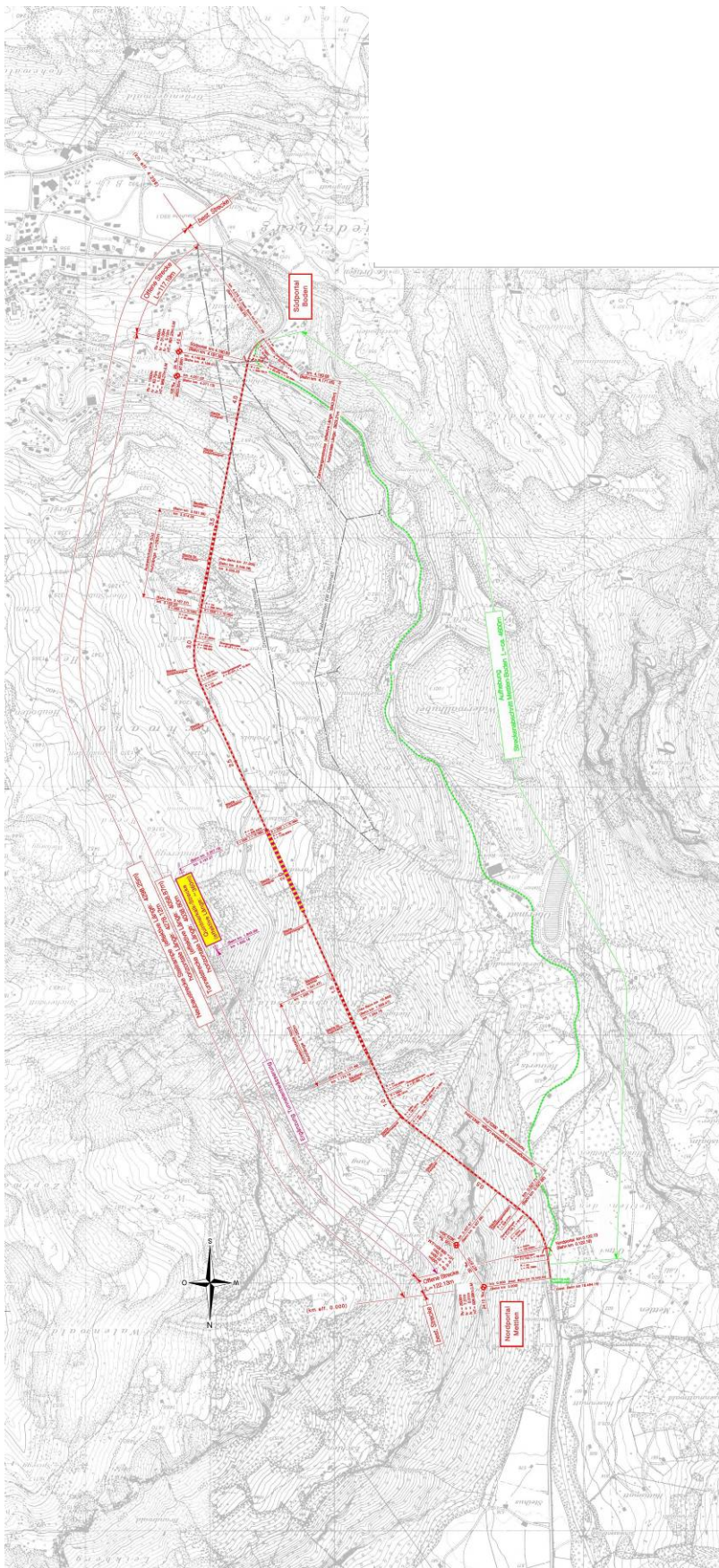
Bauhilfsmassnahmen: Spiessschirm / Stahleinbau / Injektionen.

- Besonderheiten: Beim Anfahren der Quintnerkalkstrecke (2002) wurde eine wasserführende Kluft (ca. 150 l/s, 10-15 bar) angetroffen.  
Mit Einsetzen der Schneeschmelze (2003) wurde eine massive Zunahme der Wassereintritte längs der schon ausgebrochenen Quintnerkalkstrecke (300 m) festgestellt, was bei Tm 1'955 zu einem murgangähnlicher Verbruch mit Austritt von Geröll und Wasser (>1 m<sup>3</sup>/s) führte.  
Massnahmen: Aufweitung Quintnerkalkstrecke auf 57 m<sup>2</sup> und Ausbau mit einem Kreisprofil von 8.50 m Aussendurchmesser und einer Betonstärke von 80 cm in den Winter 2003/2004 bzw. 2004/2005.  
Das Unwetter vom August 2005 verursachte am Gewölbe der Quintnerkalkstrecke Schäden mit erneutem murgangähnlichen Austritt von Geröll und Wasser.  
Sofortmassnahmen: Bau eines Entlastungsbauwerks im Winter 2005/2006 und Verstärkung des Gewölbes mittels Stahleinbau.  
Längerfristige Massnahmen: Definitiver Ausbau der Quintnerkalkstrecke mit einem funktionsfähigen Druckentlastungssystem (armierter Ortbetonring + Drainagebohrungen).

## Übersicht

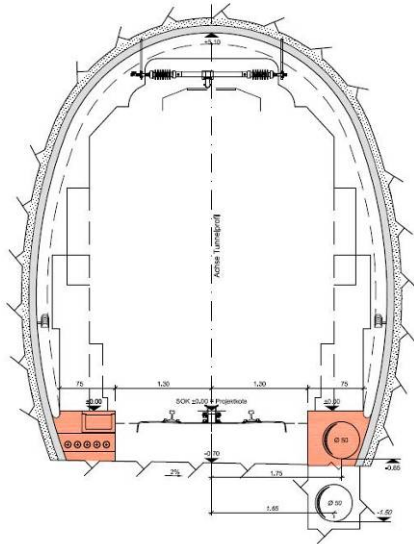


## Situation und Längsschnitt

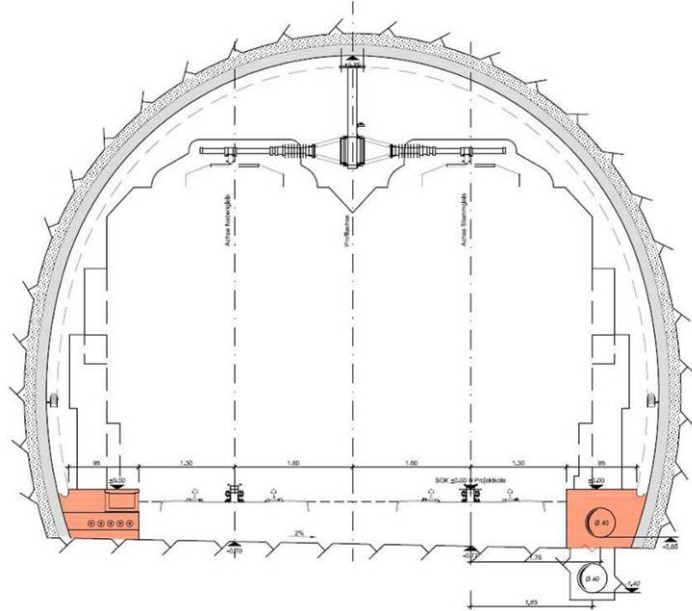


## Normalprofile

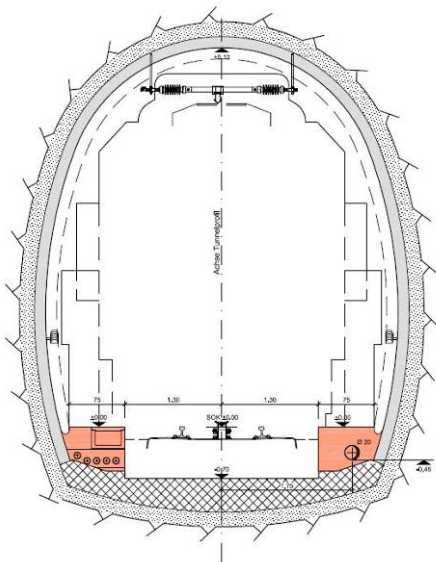
Normalprofil Gerade



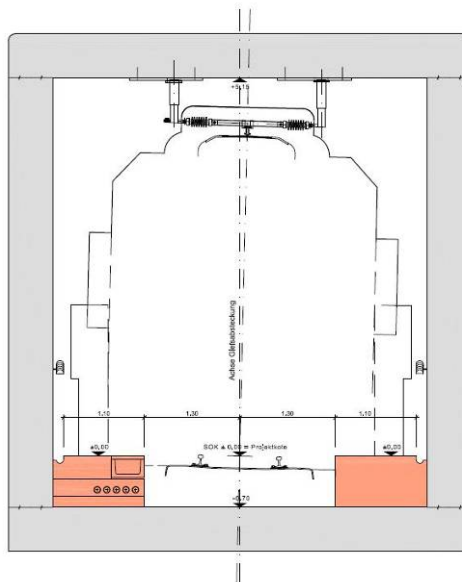
Normalprofil Ausweichstelle



Normalprofil LGV



Normalprofil Tagbautunnel









**BAUARBEITEN 2001 – 2007**

**ARGE ACHERMANN / SWIETELSKY**

**LOS NORD / LOS SÜD  
(Tunnel und Portalbauwerke)**

## **INSTALLATIONSPLATZ GRAFENORT**

Nach dem Spatenstich am 15.03.2001 wurden die Bauarbeiten für die Steilrampe in Angriff genommen.

Die Baustelleninstallation erfolgte hauptsächlich in Grafenort (Portal Nord). Auf einer Fläche von ca. 20'000 m<sup>2</sup> wurden die notwendigen Einrichtungen für den Baubetrieb installiert: Baulager und Aufenthaltsräume für Mannschaft und Kader, Bauleitungsbüro, Werkstätte, Tankstelle, Lagerplatz und Betonmischanlage. Direkt vor dem Portal Nord wurden die Elektroeinrichtungen (Trafo) Ventilationseinrichtung und Abwasseraufbereitungsanlage installiert.

Für den Vortrieb Süd wurden vor dem Portal Boden in Engelberg die folgenden wesentlichen Einrichtungen installiert: Elektroeinrichtungen, Ventilationseinrichtung, Abwasseraufbereitungsanlage, Werkstatt.

- Bild 1: Februar – März 2001: Erstellung Baupiste und Vorbereitung Installationsplatz Grafenort
- Bild 2: April 2001: Abhumisierung und Vorbereitung der Installationsflächen mit Fundamentplatten für Baulager, Unterkunftsräume, Bauleitungsbüro und Werkstatt
- Bild 3: Übersicht Installationsplatz Grafenort mit Baulager, Unterkunftsräume und Bauleitungsbüro



Bild 1



Bild 2



Bild 3

## **BAUSTELLENEINRICHTUNGEN**

Für den Vortrieb des Loses Nord (Sprengvortrieb SPV) kamen hauptsächlich folgende Gerätschaften zum Einsatz:

- Bohr und Sprengarbeiten:
  - Bohrwagen (2-armig) Typ Atlas Copco Rocket Boomer L2C
  - SSE- Fahrzeug Typ Dyno Nobel (Sprengstoffsystem)
- Schutternvorgang:
  - Tunnelbagger mit Ladeband Typ Schaeff ITC 312
  - Radlader Typ CAT 966
  - Grossdumper Typ Kaelble KV 25
- Sicherung:
  - Spritzbetonmanipulator Typ MEYCO Robojet auf Baggerchassis und MEYCO Suprema Spritzbetonpumpe mit integrierter Dosiereinheit für Spritzbetonsicherung und Auskleidung
  - Bohrwagen (2-armig) Typ Atlas Copco Rocket Boomer L2C (für Felsanker)

Für den Vortrieb des Loses Süd (Vortrieb im Lockergestein VLG) kamen hauptsächlich folgende Gerätschaften zum Einsatz:

- Abbau- und Schutternvorgang Kalotte und Strosse:
  - Tunnelbagger (mit Löffel und Abbauhammer) mit Ladeband Typ Schaeff ITC 420
  - Grossdumper Typ Kaelble KV 25
- Sicherung:
  - Bohrwagen (2-armig) Typ Atlas Copco Rocket Boomer 282 (für Spiessschirm und Mikropfähle sowie Anker)
  - Spritzbetonmanipulator Typ MEYCO Robojet auf Baggerchassis und MEYCO Suprema Spritzbetonpumpe mit integrierter Dosiereinheit für Spritzbetonsicherung und Auskleidung

Bild 3: Maschinenpark Los Nord: Grossdumper Typ Kaelble KV 25

Bild 4: Montage der Betonmischanlage Typ Huggler auf dem Installationsplatz Grafenort

Bild 5: Transport von Grossgeräten (Bohrwagen) für den Baubetrieb



Bild 4



Bild 6



Bild 5

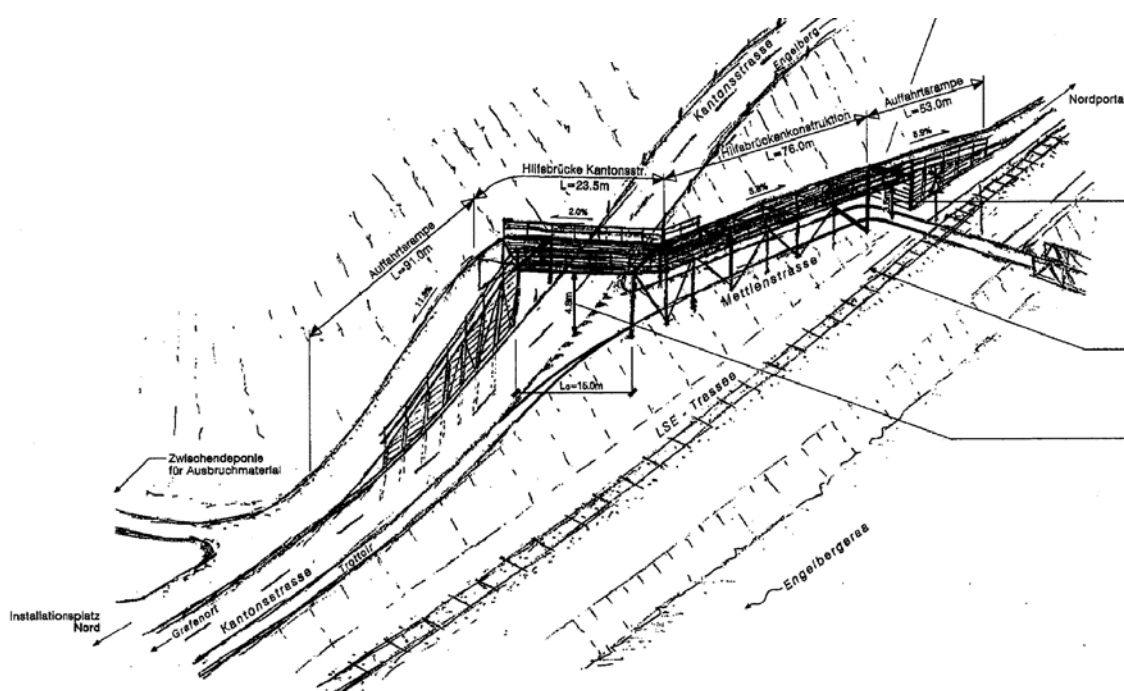
## BAUZUFAHRT BEREICH ÜBERFÜHRUNG KANTONSTRASSE (GRAFENORT)

Mit dem Bau der provisorischen Baubrücke (Juni 2001 – August 2001) wird der Installationsplatz Grafenort über die Kantonsstrasse mit dem Nordportal des Tunnels erschlossen. Die Brücke besteht aus der „Überquerung Kantonsstrasse“ und der parallel zum zb-Trasse verlaufenden „Überquerung Mettlenstrasse“. Nördlich und südlich schliessen Auffahrtsrampen an.

Das Haupttragwerk besteht aus einer Stahlkonstruktion mit einer Fahrbahnplatte aus Holz und Schwarzbelag. Die Fahrbahnplatte ist seitlich mit einer ca. 1.50 m hohen Schutzwand aus Holz versehen.

Das Widerlager ist in Ortbeton erstellt. Die Längsträger liegen als einfache Balken mit Ortbetonpfählen fundierten Querjochrahmen auf.

Die strassenseitige Böschung der Auffahrtrampe Nord ist mit Geogitter gesichert (bewehrte Erde). Die bahnseitige Böschung Süd ist durch eine an vertikalen Stahlstützen aufgelegte Holzausfachung gestützt.



Bauzufahrt Bereich Überführung Kantonsstrasse

Bild 7: Juni 2001: Hilfsbrückenkonstruktion „Überquerung Mettlenstrasse“

Bild 8: Juni 2001: Ausführung der Ortbetonpfähle als Fundamente der Querjochrahmen

Bild 9: August 2001: Erstellung Rampe Nord (bewehrte Erde)



Bild 7



Bild 9



Bild 8



## **AUSSENARBEITEN NORD - VOREINSCHNITT TEMPORÄR RÜCKVERANKERTE SPRITZBETONWAND**

Die temporäre Sicherung des Einschnittes für den Tagbautunnel und die Stützkonstruktion bis zum Bergbauportal, welche rund 50 m lang und bis zu 19 m hoch war, erfolgte im Lockergestein mit Spritzbeton und vorgespannten Bodenankern. Im Fels erfolgte die Sicherung mit Spritzbeton in Kombination mit Felsnägeln. In der Spritzbetonschale wurden Entlastungsrohre für einen ungehinderten Abfluss von Hangwasser eingelassen.

Der Aushub der Baugrube erfolgte etappenweise:

- Voraushub 1.5 m
- Sicherung mit Spritzbeton (15 cm) und Netz
- Versetzen der Anker im Abstand von 2.5 m

Bild 10: April 2001: Übersicht Voreinschnitt unterhalb Kantonstrasse Stans - Engelberg

Bild 11: Juni 2001: Etappenweiser Aushub

Bild 12: Juni 2001: Sicherung der Böschung mit Netz und Spritzbeton



Bild 10



Bild 11



Bild 12

## **AUSSENARBEITEN NORD - VOREINSCHNITT TEMPORÄR RÜCKVERANKERTE SPRITZBETONWAND**

Der Aushub des Voreinschnittes erfolgte grösstenteils im Lockergestein (ca. 5'000 m<sup>3</sup>). Im untersten Teil des Voreinschnittes wurde der Fels mittels Sprengungen abgetragen (ca. 3'000 m<sup>3</sup>).

Für die Sicherung der Spritzbetonwand im Bereich des Lockergesteins wurden insgesamt ca. 80 St Litzenanker (Po 80 t, Lf= 7 bis 16 m) a ca. 760 m versetzt.

Die Sicherung der Spritzbetonwand im Fels erfolgte mit ca. 100 St Felsnägeln (L= 3 m).

Die Kontrolle allfälliger Deformationen der Sicherung erfolgte mittels Spannkraftmessungen an Messankern und Extensometern.

Die Aushub- und Sicherungsarbeiten erfolgten in den Monaten April bis Juli 2001.

Bild 13: Juni 2001: Bohren der Bodenanker mit Kleinbohrgerät

Bild 14: Juli 2001: Spreng- und Aushubarbeiten im Fels

Bild 15: August 2001: Übersicht Voreinschnitt mit Schutzpalisade



Bild 13



Bild 14

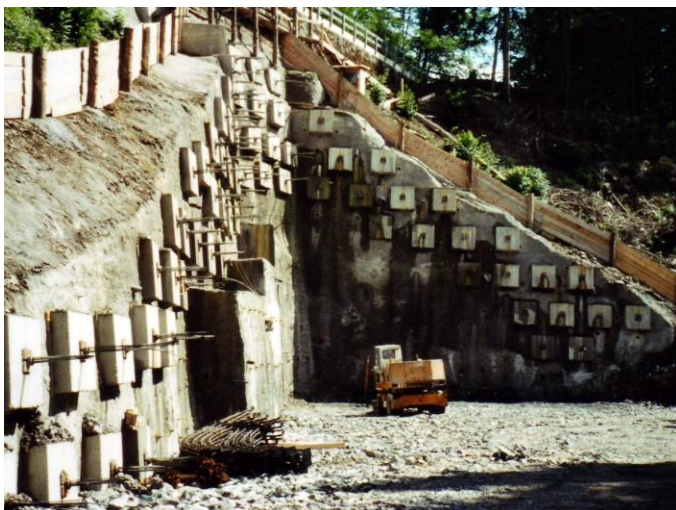


Bild 15

## **LOS NORD - VORTRIEB - ERSTER ABSCHLAG**

Nach Abschluss der umfangreichen Aushub- und Sicherungsarbeiten des Voreinschnittes Nord, konnten am 14.08.2001 die Vortriebsarbeiten beim Portal Nord in Angriff genommen werden.

Die erste Sprengung erfolgte anlässlich der Anschlagsfeier.

Der Tunnel wurde auf den Namen seiner Tunnelpatin Fr. Talamannin Marta Bächler getauft: „Marta Tunnel“.

Bild 16: August 2001: Vorbereitung für die erste Sprengung

Bild 17: August 2001: Bohren der Löcher für die Sprengladungen

Bild 18: August 2001: Anbringen der Sprengladungen



Bild 16



Bild 17



Bild 18

## **LOS NORD - VORTRIEB - ERSTER ABSCHLAG / PORTALBEREICH**

Die Zufahrt zum Portal Nord erfolgte über die provisorisch erstellte Baupiste und Baubrücke. Der Baustellenverkehr (Installationsplatz – Portal) konnte somit unabhängig von öffentlichen Infrastrukturen erfolgen.

Im Bereich des Portals Nord wurden die Einrichtungen für die Versorgung des Vortriebes installiert:

- Lüftung (Ventilator mit Notstromversorgung)
- Elektroeinrichtungen (für Hoch- und Niederspannung, Beleuchtung)
- Kommunikation Untertags (Telefon)
- Brauchwasser (Wassertank und Druckerhöhungsanlage)
- Wasseraufbereitungsanlage (Flockung-, Neutralisationsanlage, Absetzbecken)

Bild 19: August 2001: Sicherung des ersten Abschlags

Bild 20: Übersicht Portal

Bild 21: Übersicht Zufahrt zum Portal



Bild 19



Bild 20

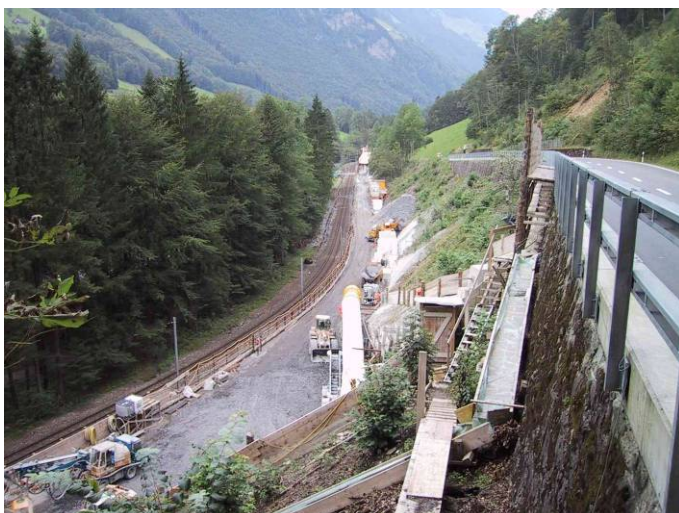


Bild 21



## **LOS NORD - VORTRIEB - Tm 0.00 – Tm 1'700**

Der Vortrieb erfolgte im konventionellen Bohr- und Sprengvortrieb mit systematischer Vorauserkundung.

Der Ausbruchquerschnitt variierte zwischen 26 und 30 m<sup>2</sup>.

Der Bereich der Ausweichstelle Nord (Tm 1'030 – 1390) wurde im Vollausbuch mit 53 m<sup>2</sup> Profilquerschnitt aufgeföhren.

Die Sicherung des ausgebrochenen Holraumes erfolgte mit Ankern (Systemankerung) und Stahlfaser-Spritzbeton. Im Bereich des Portals Nord wurden zusätzlich Gittertröhger eingebaut.

Die Arbeiten erfolgten im Durchlaufbetrieb (7 AT die Woche und 24 h pro Tag).

Der Vortrieb erfolgte auf den ersten ca. 50 m im helvetischen Kieselkalk, anschliessend bis ca. Tm 840 in der Palfries-Formation (Mergelschiefer), danach bis ca. Tm 1'210 wieder im helvetischen Kieselkalk. Ab ca. Tm 1'210 bis ca. Tm 1'700 wechselten sich die Mergelschiefer der Palfries-Formation mit Betliskalk/ Sichelkalk ab.

Eckdaten Vortrieb Tm 0.00 –Tm 1'700:

- Dauer: 1 Jahr (August 2008 – August 2009).
- Ausbruchklassen: AK I: 0%, AK II: 3%, AK III: 90%, AK IV: 7%, AK V: 0%
- Leistung Normalprofil: 3 bis 9 m/AT.
- Leistung Ausweichstelle: 3 bis 6 m/AT.
- Vortrieb: pro Abschlag (L= 3 m), ca. 300 kg Sprengstoff, ca. 100 St Bohrlöhcher.
- Sicherung: ca. 2 m<sup>3</sup> Spritzbeton und ca. 5 St Felsanker pro Tunnelmeter.

Bild 22: Sicherungsarbeiten (Spritzbeton) Ausweichstelle Nord

Bild 23: Bohrarbeiten Ausweichstelle Nord

Bild 24: Sicherungsarbeiten (Spritzbeton) Normalprofil



Bild 22



Bild 23



Bild 24

## **LOS NORD - VORTRIEB - 1. WASSEREINBRUCH Tm 1'700**

Direkt zu Beginn des Vortriebs im Quintnerkalk wurde am 16.08.2002 eine Karstwasser führende Kluft mit einer Abschlagsbohrung ab Tm 1'695 angebohrt. Im Sommer 2002 traten zunächst rasch bis zu 200 l/s in den Tunnel. Anhand der Wurfweite von bis zu ca. 17 m wurde ein Wasserdruck von ca. 20 bar geschätzt. Infolge der erheblichen Wasserzutritte wurde der Vortrieb bis auf weiteres eingestellt.

Die wasserführende Zone wurde im Hinblick auf die Weiterführung der Vortriebsarbeiten mittels TRT-Messungen (Reflexionsmessungen) erkundet.

Beim Portal Nord wurden umgehende umfangreiche Massnahmen zur Wasserhaltung und Ableitung getroffen.

Bild 25: Übersicht Ortsbrust mit Wasserzutritt

Bild 26: Wasserzutritte aus 4 Abschlagsbohrungen Ø 45 mm

Bild 27: Wasserzutritt mit einer Wurfweite bis zu ca. 17 m



Bild 25



Bild 26



Bild 27

## LOS NORD - VORTRIEB - 1. WASSEREINBRUCH Tm 1'700 DRAINAGEBOHRUNGEN

Die Arbeiten im Tunnel wurden bis zum 22.09.2002 eingestellt.

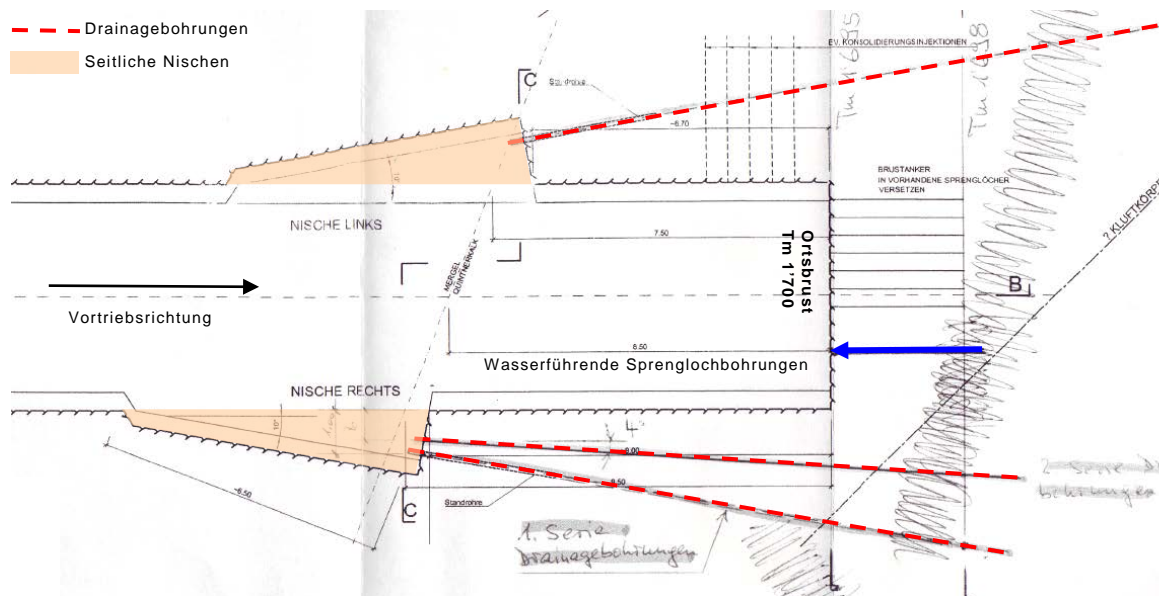
Da die Weiterführung des Vortriebes infolge der anhaltenden Wasserzutritte aus der Ortsbrust Tm 1'700 unmöglich war, wurde ab dem 23.09.2002 bis zum 17.11.2002 die Rigole zwischen Tm 0.00 und Tm 1'700 ausgebrochen (Grabenfräse/Sprengungen) und die Bergwasserleitung PE Ø 400 mm versetzt (Kapazität bis 750 l/s). Zudem wurde die Bachunterquerung unter dem Trasses der zb vergrößert (neu Ø 1000 mm).

Im rückwärtigen Bereich der Ortsbrust Tm 1'700 wurden zwei seitliche Nischen ausgebrochen ab welche Schlagbohrungen (9 St, Ø 100 mm, L= bis 30 m) in den vermuteten Kluftkörper vorgetrieben wurden.

Der wasserführende Kluftkörper wurde jeweils bei einer Bohrtiefe von ca. 12 – 13 m angetroffen.

Das Wasser aus den Drainagebohrungen wurde gefasst und der neu erstellten Bergwasserleitung zugeführt.

Dank der seitlichen Drainagebohrungen konnte ein deutlicher Rückgang des Wasserzutrittes aus der Ortsbrust beobachtet werden.



Schemaskizze Situation Ortsbrust Tm 1'700 mit seitlichen Nischen für Drainagebohrungen

Bild 28: Wasserzutritt aus Drainagebohrungen

Bild 29: Bohrarbeiten (Schlagbohrungen mit Kleinbohrgerät)

Bild 30: Fassung und Ableitung der Wasserzutritte aus Drainagebohrungen



Bild 28



Bild 30



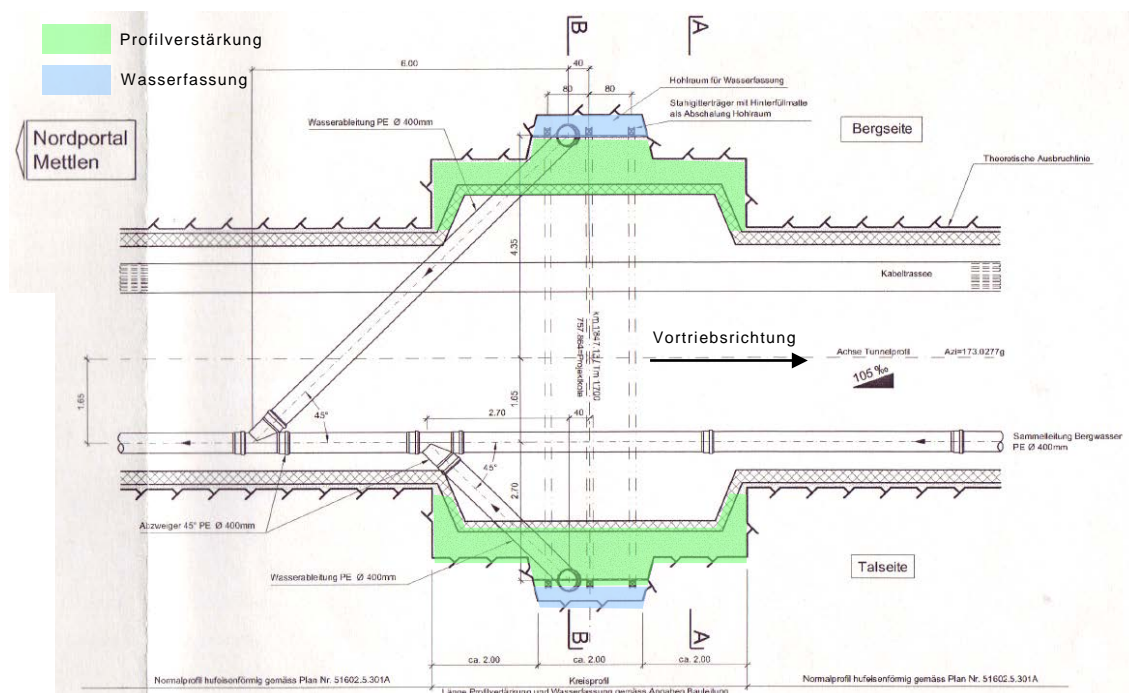
Bild 29

## LOS NORD - VORTRIEB - 1. WASSEREINBRUCH Tm 1'700 PROFILVERSTÄRKUNG IM BEREICH WASSERABLEITUNG Tm 1'700

Am 27.11.2002 konnte der Vortrieb Nord wieder aufgenommen werden. Dieser wurde im Quintnerkalk bis Ende Januar 2003 weiter vorgetrieben.

Vom 27.01.2003 bis zum 08.02.2003 wurde der Bereich der Querung des wasserführenden Kluffkörpers bei Tm 1'700 verstärkt.

Das Normalprofil wurde auf einer Länge von ca. 10 m auf ein ca. 70 m<sup>2</sup> grosses Kreisprofil ausgeweitet. Anschliessend wurde ein bewehrter Spritzbetonring mit einer Stärke von 1 m erstellt. Zwischen dem Felsuntergrund und dem Spritzbetonring wurde ein ca. 40 cm mächtiger Holraum belassen welcher als Ableitung von Bergwasser dient. Die Wasserfassung wurde an der Bergwasserleitung angeschlossen.



Übersicht Profilverstärkung im Bereich Wasserableitung Tm 1'700

Bild 31: Profilaufweitung für die Wasserfassung

Bild 32: Montage der verlorenen Schalung (Gitterträger + Hinterbetoniermatten)

Bild 33: Erstellen des bewehrten Spritzbetonrings



Bild 31



Bild 32



Bild 33



## **LOS NORD - VORTRIEB - Tm 1'700 – Tm 2'100**

Der Vortrieb erfolgte während den Wintermonaten im Quintnerkalk bei trockenen Verhältnissen bis Tm 1'985. Der Kalk wies eine sehr starke Zerklüftung und Zerrüttelung auf. Anschliessend verlief der Vortrieb erneut in der Palfries-Formation. Zur Sicherung des Holraumes mussten zusätzlich Stahlträger HEB 160 mit Sohlspanner eingebaut werden. Die Vortriebsleistung wurde deutlich kleiner (Abschlagslänge auf 1 m begrenzt).

Am 09.03.2003 wurde das talseitige Parament zwischen Tm 1'986 und Tm 2'006, welches bereits mit Spritzbeton und Gitterträger gesichert war, eingedrückt (Verschiebung bis zu ca. 70 cm).

Umfangreiche zusätzliche Sicherungsmassnahmen (IBO- Anker, Gitterträger und Injektionen) wurden umgesetzt. Der Vortrieb musste für ca. 2 Wochen unterbrochen werden.

### **Eckdaten Vortrieb Tm 1'700 –Tm 2'100:**

- Dauer: ca. 4 Monate (Februar 2003 – Mai 2003).
- Ausbruchklassen: AK I: 0%, AK II: 0%, AK III: 35%, AK IV: 43%, AK V: 22%
- Leistung Normalprofil: 2 bis 6 m/AT.
- Vortrieb: Pro Abschlag (L= 3 m), ca. 300 kg Sprengstoff, ca. 100 St Bohrlöcher.
- Sicherung: ca. 2 bis 5 m<sup>3</sup> Spritzbeton und ca. 7 St Felsanker pro Tunnelmeter bzw. Gitter- und Stahlträger (für AK IV und AK V)
- Zusätzliche Verstärkung Tm 1'986 – Tm 2'006 mit IBO-Anker L= 9 m

Bild 34: Vortriebsarbeiten (Abschlagsbohrungen)

Bild 35: Vortriebsarbeiten (Schüttern) im Palfries Mergel

Bild 36: Ortsbrust im Bereich der Quintnerkalke



Bild 34



Bild 35



Bild 36

## **LOS NORD - VORTRIEB - 2. WASSEREINBRUCH Tm 1'955**

Nach Einsetzen der Schneeschmelze Anfang Mai 2003 war, entlang der gesamten Quintnerkalkstrecke zwischen Tm 1'700 – Tm 1'985, von unten (Nord) nach oben (Süd) ein deutlichen Anstieg der Wasserzutritte zu verzeichnen. Verschiedenenorts waren im Spritzbeton Rissbildungen zu verzeichnen, was zusätzliche Anker und Drainagebohrungen erforderten. Die Schüttung aus der Quintnerkalkstrecke stieg bis Ende Mai auf 350 – 400 l/s an.

Am 28.05.2003 ereignete sich aus dem talseitigen Parament bei Tm 1'955 ein Niederbruch von ca. 15 m<sup>3</sup>; aus dem zunächst noch wenig, dann aber fortlaufend grössere Wassermengen austraten. Am 1. Juni 2003 ereignete sich aus diesem Bereich ein weiterer Wassereinbruch mit Durchbrechen der Spritzbetonschale. Der Tunnel wurde für jeglichen Zutritt gesperrt. Als Höhepunkt wurden am 4. Juni 2003 mehrere Murgänge mit Schüttung von bis zu 1 m<sup>3</sup>/s festgestellt, die bis zum Tunnelportal vorstiessen und grosse Schäden im Tunnel verursachten.

Bild 37: Instabiles Parament beim Niederbruch Tm 1'955

Bild 38: Niederbruch Tm 1'955 (ca. 15 m<sup>3</sup>)

Bild 39: Einbruchsstelle (Wassereinbruch)



Bild 37



Bild 38

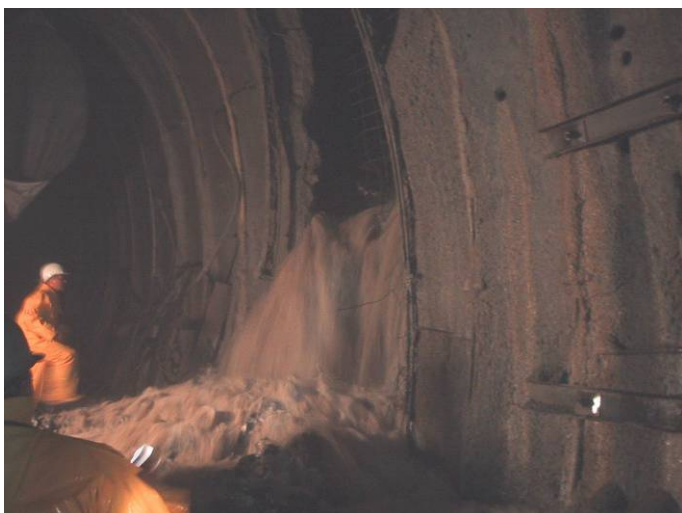


Bild 39

## **LOS NORD - VORTRIEB - 2. WASSEREINBRUCH Tm 1'955 WASSERHALTUNG AM PORTAL**

Infolge des erheblichen Anfalls von Wasser und Geschiebe vom 4. Juni 2003 kam es im Portalbereich zur Überschwemmung.

Dank der eingeleiteten Sofortmassnahme konnte die Situation rasch kontrolliert werden. Das Trasse der zb war jedoch zu keinem Zeitpunkt gefährdet.

Eine durchgehende Wache wurde am Portal Nord organisiert.

Zusätzlich zu den verschiedensten Baumaterialien wurde eine erhebliche Menge Geschiebe (Geröll mit Blöcken bis ca. 0.5 m<sup>3</sup>) entlang des Tunnels angespült und abgelagert.

Die Aufräumungs-, Sicherungs- und Sanierungsarbeiten am Portal Nord sowie entlang des Tunnels und insbesondere bei der Einbruchsstelle, dauerten bis zum 07.08.2003.

Am 21.07.2003, während der Nachtschicht, kam ein Mitarbeiter der ARGE während der Reinigungsarbeiten der Trommel eines Mischwagens am Portal tragischerweise ums Leben.

Bild 40: Situation Wasserhaltung am Portal Nord infolge Wassereinbruch

Bild 41: Ausgeschwemmtes Baumaterial aus dem Tunnel

Bild 42: Situation entlang Baupiste und Trasse zb



Bild 40



Bild 41



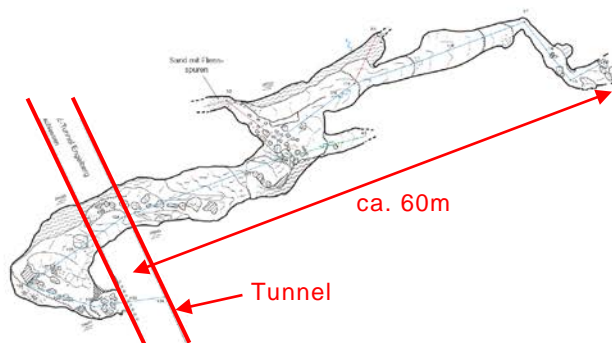
Bild 42

## LOS NORD - VORTRIEB - 2. WASSEREINBRUCH Tm 1'955 KARSTKAVERNE SOMMER 2003

Am 13.08.2003 erfolgte eine Begehung zur Erkundung der entstandenen Hohlraums durch Höhlenforscher (arge magma ag / HGU). Für die Begehung wurde eine Periode mit stabiler Wetterlage abgewartet.

Bei der Begehung wurde ein offenes Kluftsystem (Karstkaverne) mit einer Totallänge von 126 m und einer Höhendifferenz von + 55 m erkundet. Neben dem Hauptgang wurde eine stark erosionsgefährdete Aufwärtsabzweigung und einen Abwärtsgang in Richtung Stollen beobachtet. Das festgestellte Hohlraumssystem ist volumenmässig weitgehend neu entstanden. Beeindruckend sind die Dimensionen der entstandenen Hohlräume: 50 m oberhalb des Eingangs ist insbesondere eine „Verzweigungshalle“ mit Dimensionen von ca. 15 m x 6 m x 6-8 m vorhanden.

### Grundriss



### Abwicklung



Darstellung der Karstkaverne Tm 1'955

Bild 43: Einstieg ab Tunnel (Talseitiges Parament) in die Karstkaverne

Bild 44: Eingangsraum der Karstkaverne

Bild 43: Eingangsraum mit Sicht in den aufsteigenden Gang



Bild 43



Bild 44



Bild 45



## **LOS NORD - VORTRIEB**

### **VORAUSERKUNDUNG INFOLGE WASSEREINBRÜCHE**

Um weitere Überraschungen im Verlauf der nachfolgenden Vortriebsarbeiten zu verhindern, wurde entschlossen, die bereits geplanten Vorauserkundungen (Dreh-schlagbohrungen) mittels Erkundungskernbohrungen zu ergänzen.

Eine erste Erkundungskernbohrung wurde Ende August / Anfangs September 2003 ab der Ortsbrust Tm 2'130 ausgeführt (L= ca. 200m).

Eine zweite erfolgte im November 2003 ab der Ortsbrust Tm 2'300 (L= ca. 340).

Die Bohrungen erfolgten mit Preventer, da jederzeit mit grossen Wasserdrücken zu rechnen war.

Beide Kernbohrungen sind jeweils auf ihrer gesamten Länge in der Palfries- Formation verlaufen. Besondere Störungen oder grössere Wasserzutritte wurden nicht angetroffen.

Bild 46: Übersicht Bohrstelle (Installationsarbeiten)

Bild 47: Bohreinrichtung

Bild 48: Bohrpreventer (Hydraulischer Gestängehalter, Sicherheits- Vollabschluss, Hydraulischer Scherpreventer, Hydraulischer Annularpreventer)



Bild 46



Bild 47

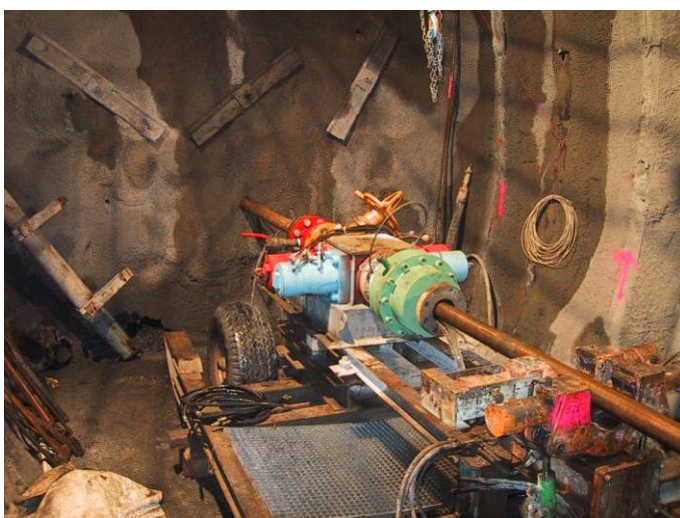


Bild 48

## **LOS NORD - VORTRIEB - Tm 2'100 – Tm 2'300**

Der Vortrieb konnte nach den umfangreichen Aufräumungs- und Sicherungsarbeiten im Rahmen des 2. Wassereinbruches am 07.08.2003 wieder aufgenommen werden.

Während der Ausführung der ersten Erkundungskernbohrung (von Mitte August bis Mitte September 2003), d.h. während des Vortriebsunterbruches, wurde ein Teil der Verkleidung der Ausweichstelle Nord (mit Spritzbeton) ausgeführt.

Bis Tm 2'300 verlief der Vortrieb in der Palfries-Formation (Mergelschiefer). Ein systematischer Stahleinbau erwies sich als nötig.

### **Eckdaten Vortrieb Tm 2'100 –Tm 2'300:**

- Dauer: ca. 3\* Monate (August 2003 – November 2003).
- Ausbruchklassen: AK I: 0%, AK II: 0%, AK III: 37%, AK IV: 0%, AK V: 63%
- Leistung Normalprofil: 2 bis 6 m/AT.
- Vortrieb: Pro Abschlag (L= 1 m), ca. 100 kg Sprengstoff, ca. 100 St Bohrlöcher L= 1 m.
- Sicherung: ca. 5 m<sup>3</sup> Spritzbeton und Stahlträger (für AK V).

\* Die Vortriebsarbeiten wurden für ca. 1 Monat während der Ausführung der Erkundungskernbohrung unterbrochen.

Bild 49: Bohrarbeiten

Bild 50: Sicht Ortsbrust aus Fahrerkabine Bohrwagen

Bild 51: Sicherung Hohlraum (Stahleinbau HEB 160 / Spritzbeton)



Bild 49



Bild 50



Bild 51

## LOS NORD - VORTRIEB - 2. WASSEREINBRUCH Tm 1'955 SANIERUNG WASSEREINTRITT Tm 1'955

Der Vortrieb wurde am 21.11.2003 unterbrochen, um die umfangreichen Sanierungsarbeiten im Bereich des 2. Wassereinbruchs (Tm 1'955) in Angriff zu nehmen.

Für die Sanierung / Sicherung der Karstkaverne (Eingangsbereich) wurden folgende Arbeiten getätigt:

- Aufweitung und Sicherung Hohlraum Eingangsbereich ab dem Tunnel.
- Verlegen von Drainagerohre aus Stahl (6 Ø 150 mm, 1 Ø 300 mm).
- Schichtweise verfüllen des Eingangsbereichs mit Beton.
- Verfüllen des Holraumes mit Rundkies 16-32 mm.

Eckdaten Verfüllung Karstkaverne:

- Dauer: ca. 3 Wochen (Ende November 2003 – Mitte Dezember 2003).
- Betonfüllung: ca. 150 m<sup>3</sup>
- Kiesfüllung: ca. 300 m<sup>3</sup> (mit Super-Sauger in Kaverne ab Tunnel eingeblasen)

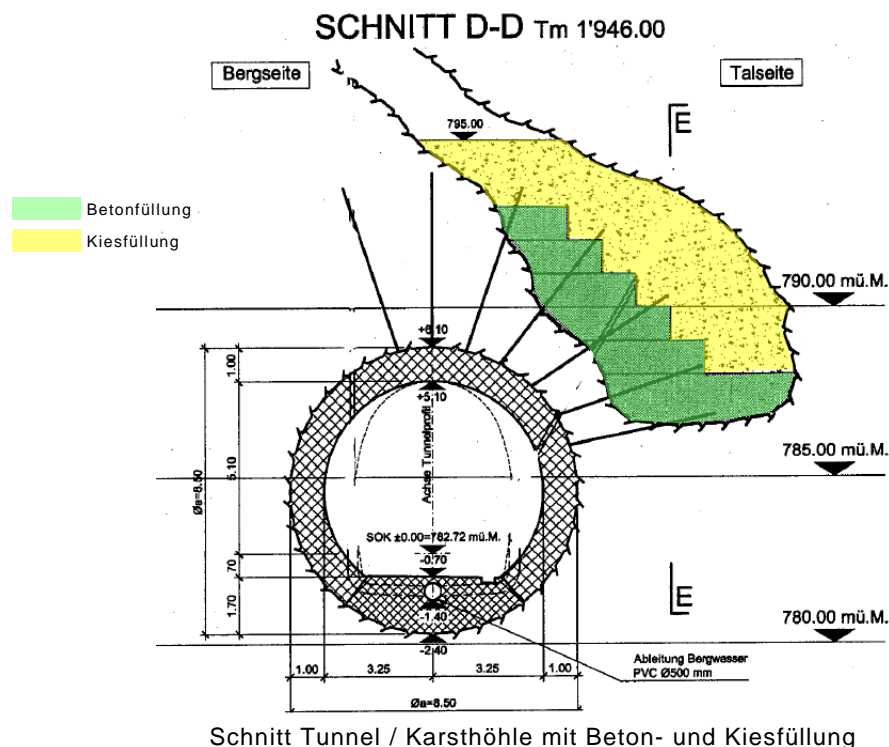


Bild 52: Drainagerohre im Eingangsbereich

Bild 53: Schichtweise Betonverfüllung der Karstkaverne

Bild 54: Verfüllung des Holraumes mit Rundkies / Geschlitzte Aufsätze der Drainagerohren



Bild 52



Bild 53

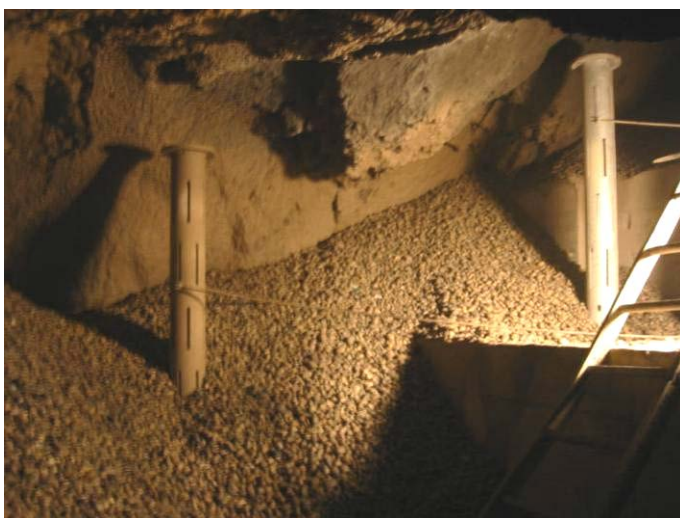


Bild 54

## LOS NORD - VORTRIEB - 2. WASSEREINBRUCH Tm 1'955 PROFILVERSTÄRKUNG Tm 1'920 – Tm 1'965

Nach Abschluss der Sicherungs- und Sanierungsarbeiten der Karstkaverne wurde mit der Aufweitung des Normalprofils auf einer Länge von 45 m begonnen. Das Normalprofil (Hufeisenprofil) musste im Bereich der Einbruchsstelle noch vor Beginn der Schneeschmelze 2004 mit einem Kreisprofil verstärkt und abgedichtet werden.

Die Aufweitung erfolgte zuerst in der Kalotte und anschliessend im Strosse. Das Normalprofil wurde dadurch um ca. 29 m<sup>2</sup> vergrössert.

Die Sicherung des Holraumes erfolgte mit TH-Profile 36 (Glockenprofile) und Spritzbeton.

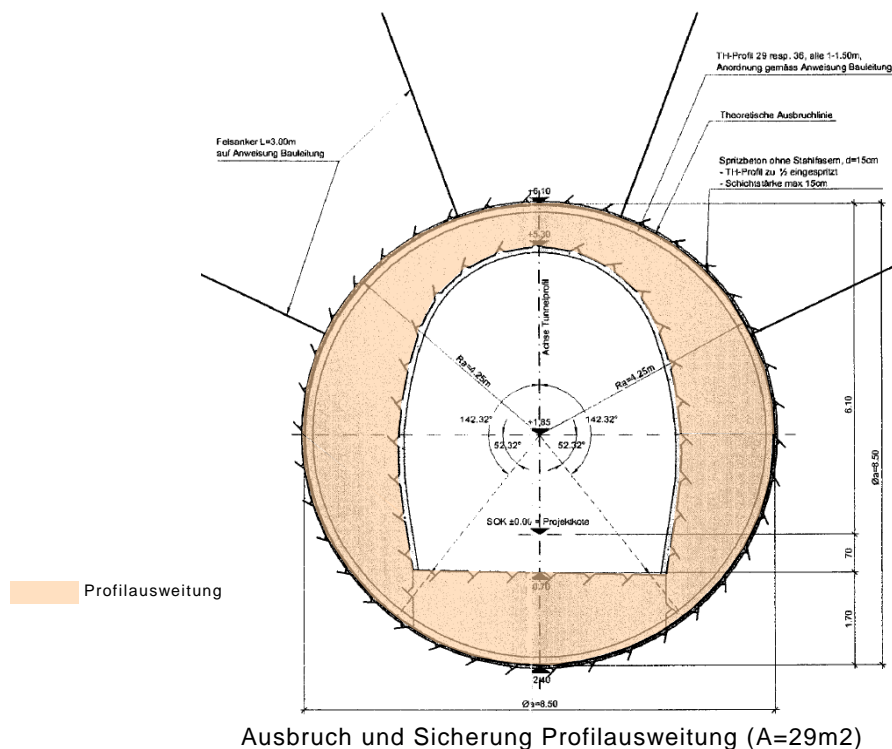


Bild 55: Aufweitung Normalprofil auf Kreisprofil - Schüttern

Bild 56: Übersicht Aufweitung mit bereits ausgebrochenem Normalprofil und Ausweitung auf das Kreisprofil (Kalotte)

Bild 57: Sicherungsarbeiten (Spritzbeton)



Bild 55



Bild 56



Bild 57



## LOS NORD - VORTRIEB - 2. WASSEREINBRUCH Tm 1'955 PROFILVERSTÄRKUNG Tm 1'920 – Tm 1'965

Anschliessend an die Ausbruch- und Sicherungsarbeiten im Abschnitt Tm 1'920 – 1'965 erfolgte der Einbau der Betonsohle in Etappen von 10 m. Die Entwässerungsleitung PVC Ø 500 wurde in der Mitte der Sohle angeordnet.

Die Verstärkung des Profils erfolgte mittels lageweise aufgetragenem Netz- bzw. Stahlfaserbewehrtem Spritzbeton. Die aufgetragene Stärke betrug 40 cm.

Die Sanierungs- und Sicherungsarbeiten der Karstkaverne sowie die Profilverstärkungen konnten Anfangs Februar 2004 abgeschlossen werden und nahmen 2.5 Monaten in Anspruch.

Parallel zu den Arbeiten im Rahmen der Profilverstärkung wurden, entlang der restlichen Quintnerkalkstrecke, ergänzende Felssicherungsmaßnahmen (zusätzliche Systemankerung) und Drainagebohrungen ausgeführt. Zudem wurden die nötigen Wasserhaltung- und Ableitungs- Massnahmen getroffen, um die Vortriebsarbeiten während der Schneeschmelze und den Sommermonaten 2004 weiterführen zu können.

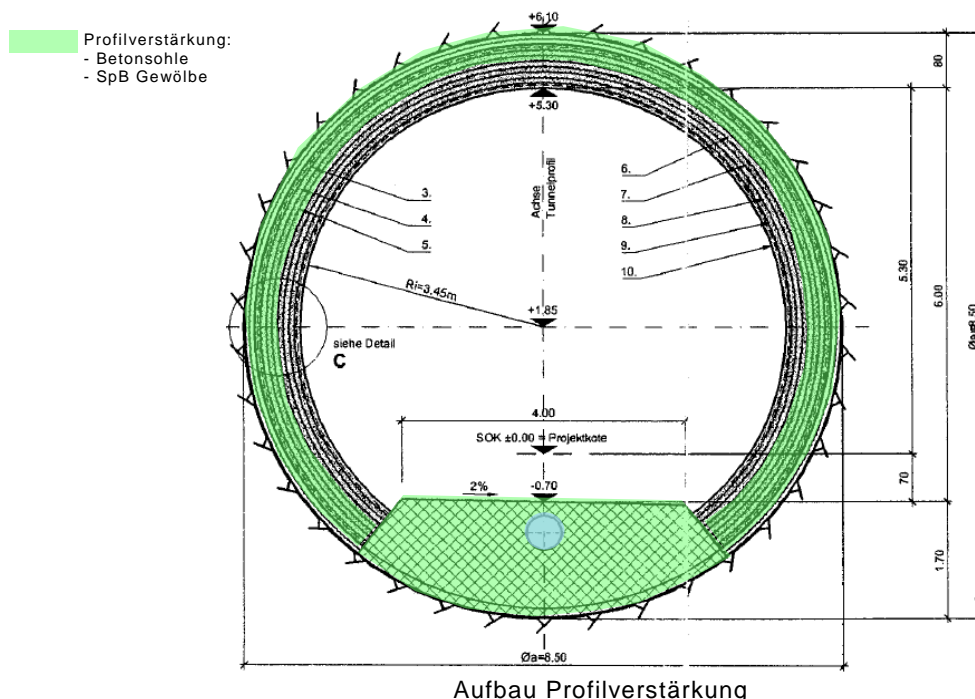


Bild 58: Ausbruchsicherung des Kreisprofils / Einbau Betonsohle

Bild 59: Montage der Netzbewehrung

Bild 60: Montage der Netzbewehrung



Bild 58



Bild 59

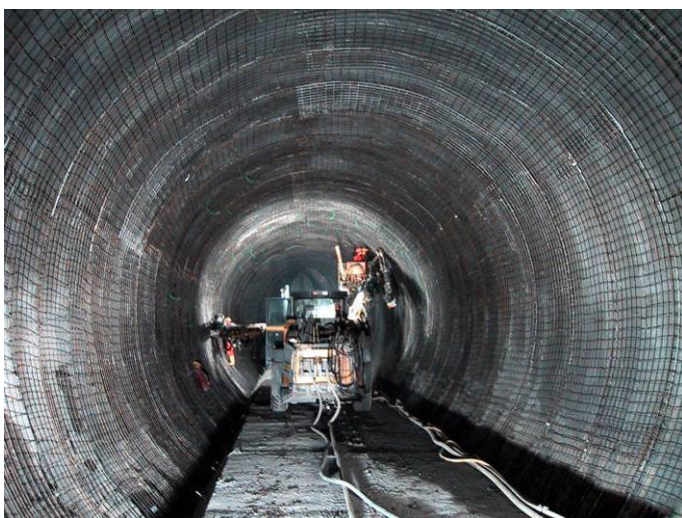


Bild 60

## **LOS NORD - VORTRIEB - Tm 2'300 bis Tm 3'440 (Durchschlag) UNFALL BEIM SCHUTTERVORGANG**

Anfangs Februar 2004 wurden die Vortriebsarbeiten wieder aufgenommen.

Am 05.03.2004 ereignete sich während dem Schuttervorgang ein spektakulärer Unfall mit einem Dumper, welcher (glücklicherweise) nur zu Materialschäden führte.

Eine mit Ausbruchsmaterial beladener Dumper (zu ca. 50%) rollte ungebremst und ohne Fahrer für ca. 150 m talwärts und krachte bei Tm ca. 2'200 in den Fluchtcontainer, welcher in einer Nische stationiert war. Der Fluchtcontainer wurde durch den wuchtigen Aufprall vollständig zerstört. Verschiedene Versorgungsleitungen für den Vortrieb wurden beschädigt.

Bild 61: Umgekipptes Unfallfahrzeug

Bild 62: Umgekipptes Unfallfahrzeug

Bild 63: Durch Aufprall beschädigter Fluchtcontainer



Bild 61



Bild 62



Bild 63

## **LOS NORD - VORTRIEB - Tm 2'300 bis Tm 3'440 (Durchschlag)**

Das angestrebte Ziel war, den Tunnel noch vor dem Winter 2004/2005 durchzuschlagen. Um dieses Ziel zu erreichen wurden alle möglichen Ressourcen eingesetzt.

Der Vortrieb erfolgte weitgehend im schwarzen Mergelschiefer der Palfries-Formation.

Aus zeitlichen Gründen wurde auf den sofortigen Ausbruch der Ausweichstelle Süd während dem Tunnelvortrieb verzichtet.

In regelmässigen Abschnitten von ca. 50 m wurden, parallel zum Vortrieb, die Betonsohle (Ausgleichschicht) und die Bergwasserleitung mitgezogen.

Für die Überwachung allfälliger Deformationen in der Sohle(Quellphänomene im Mergelschiefer) wurden Extensometer versetzt.

Eckdaten Vortrieb Tm 2'300 –Tm 3'440:

- Dauer: ca. 9 Monate (Februar 2004 – Oktober 2004).
- Ausbruchklassen: AK I: 0%, AK II: 0%, AK III: 54%, AK IV: 42%, AK V: 4%
- Leistung Normalprofil: 2 bis 9 m/AT.
- Vortrieb: Pro Abschlag (L= 3 m), ca. 300 kg Sprengstoff, ca. 100 St Bohrlöcher L= 3 m.
- Sicherung: ca. 2 bis 5 m<sup>3</sup> Spritzbeton und ca. 7 St Felsanker pro Tunnelmeter bzw. Gitter- und Stahlträger (für AK IV und AK V).
- Kalottenvortrieb mit Stahleinbau Tm 3'400 – Tm 3'440 (Übergang zur Sa-ckungsmasse).

Bild 64: Übersicht Vortriebsbereich (Ausbruch Ausweichnische Unternehmer)

Bild 65: Sicherungsarbeiten (Bohrlöcher für Felsanker)

Bild 66: Schutternvorgang mit Tunnelbagger Typ Schaeff ITC 312



Bild 64



Bild 65



Bild 66

## LOS NORD - VORTRIEB - Tm 2'300 bis Tm 3'440 (Durchschlag)

Das Gestein der aufgefahrenen Strecke in den Mergelschiefern, bis ca. Tm 2'600, war stark durchfeuchtet und wies viele Tropfstellen und lokale leicht fließende Wasserzutritte auf.

Bei der Erkundungsbohrung ab Tm 2'910 wurde am 16.07.2004 (bei Bohrmeter 10) zunächst Kalkstein und unter hohem Drucke stehendes Wasser angebohrt (ca. 10 l/s, ca. 14 bar).

Um den Vortrieb weiterführen zu können, wurden seitliche Drainagebohrungen ausgeführt.

Der Übergang von den schwarzen Mergelschiefer zum eher grauen (hell) Betliskalk / Sichelkalk war an der Ortsbrust deutlich zu sehen.

Vor dem Durchschlag war noch, als letzte Hürde, die Basis der Sackungsmasse zu durchqueren, welche aus dem Vortrieb Los Süd bereits erkundet wurde.

Die Basis der Sackungsmasse bestand im Wesentlichen aus einer sandig-lehmigen Matrix mit vielen Gesteinsbruchstücken.

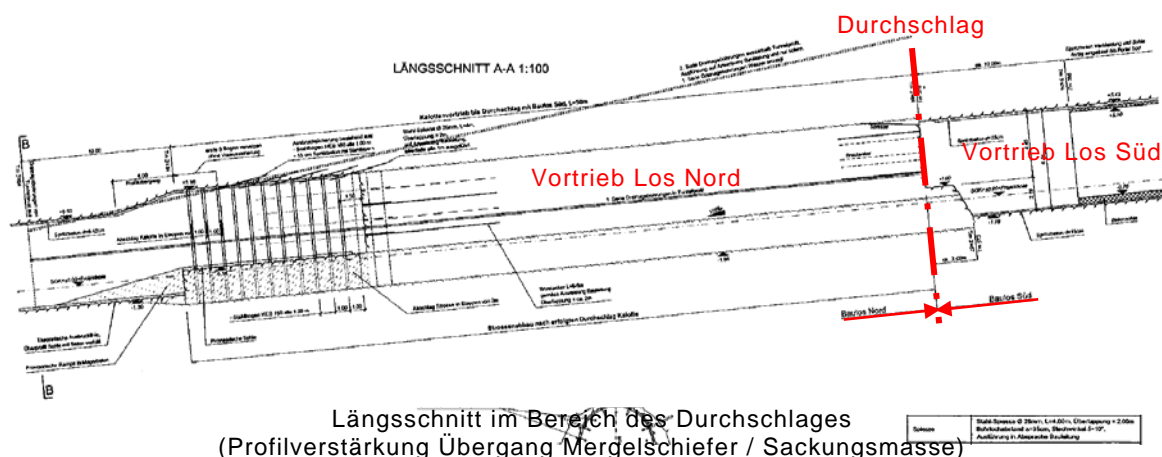


Bild 67: Ortsbrust beim Übergang Mergelschiefer – Betliskalk/Sichelkalk Tm ca. 2'925

Bild 68: Ortsbrust im Bereich der Basis der Sackungsmasse ca. Tm 3'405: sandig-lehmige Matrix mit Gesteinsbruchstücken

Bild 69: Übergang zur Sackungsmasse ca. Tm 3'430: stark zersetzte mergelige Kalke (bereits aus dem Vortrieb Los Süd bekannt)



Bild 67



Bild 68



Bild 69



## LOS NORD - VORTRIEB - DURCHSCHLAG

Der grosse Tag war gekommen. Nach mehr als 3 km Vortrieb und 3 Jahre Bauzeit konnten die Mineure am 27.10.2004 endlich ihr Ziel, „ihren“ Durchschlag feiern.



Bild 70

Bild 70: Mineure nach erreichtem Durchschlag

Bild 71: Durchschlag mit Bohrungen

Bild 72: Letzter Meter bis zum Durchschlag

Bild 73: Durchgang in Tunnelabschnitt des Loses Süd



Bild 71



Bild 72



Bild 73

## **LOS NORD - VORTRIEB - DURCHSCHLAG**

„Gut Ding will Weile haben“ – auch beim Tunnel Engelberg. Am 29.10.2004 um 15:48 Uhr war es aber so weit. Mit Champagner feierten die Mineure den Durchschlag.

Mit einem Jahr Verspätung, infolge der Wassereinbrüche, gab die Tunnelpatin das Signal zum Start des Durchstiches.

In kleiner Verzögerung kam endlich der grosse Moment, welcher sich mit viel Staub angekündigt hatte; aber dann war das Licht einer Stirnlampe am anderen Ende des Tunnel zu sehen welche signalisierte: “Der Durchschlag ist geschafft“.

Bild 74: Vorbereitungen für Durchschlagsfeier (Ortsbrust Los Süd)

Bild 75: Feier des Durchschlags mit Champagner

Bild 76: Empfang im Los Süd der Mineure durch die Tunnelpatin und Behörden



Bild 74

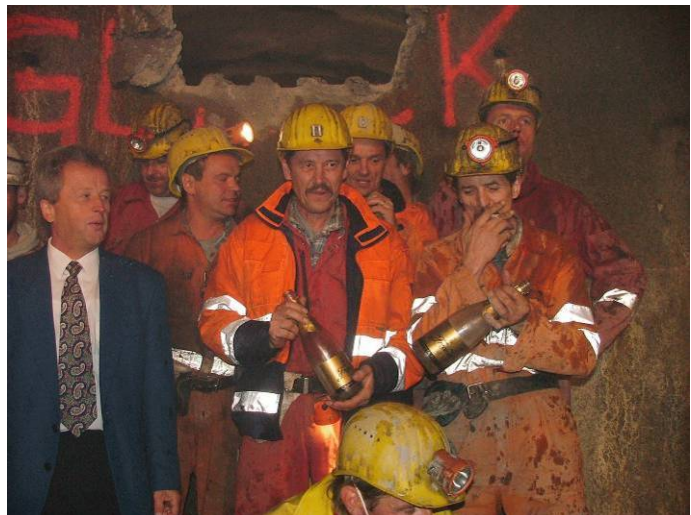


Bild 75



Bild 76

## LOS NORD - DRUCKHALTIGER AUSBAU TM 1'700 – 2'020

Nach der wohl verdienten Durchschlagsfeier wurden am 1. November 2004 die Arbeiten für die Vervollständigung des „Druckhaltigen Ausbaus“, im Bereich der Quintnerkalkstrecke in Angriff genommen.

Wie schon im Winter 2003/2004 (im Bereich Tm 1'920 – 1'965) wurde das Normalprofil (Hufeisenprofil) zwischen Tm 1'700 – 1'920 bzw. 1'965 – 2'020, zuerst in der Kalotte anschliessend im Strosse auf ein Kreisprofil (A= 57 m<sup>2</sup>) aufgeweitet.

Die Sicherung des Holraumes erfolgte mit TH-Profile 29 bzw. 36 (Glockenprofile) und Spritzbeton.

Anschliessend an die Ausbruch- und Sicherungsarbeiten erfolgte der Einbau der Betonsohle in Etappen von 10 m und der Entwässerungsleitung PVC Ø 500.

Die Verstärkung des Profils erfolgte mittels lageweise aufgetragenem Netz- bzw. Stahlfaserbewehrtem Spritzbeton (Endstärke 80 cm).

Infolge Wasserzutritte aus dem Gebirge durch die frühzeitig eingesetzte Schneeschmelze konnte das Gewölbestärke im Abschnitt Tm 1'700 – 1'820 nur zu ca. 50% realisiert werden. Diese Arbeiten wurden gezwungenermassen Ende März 2005 eingestellt.

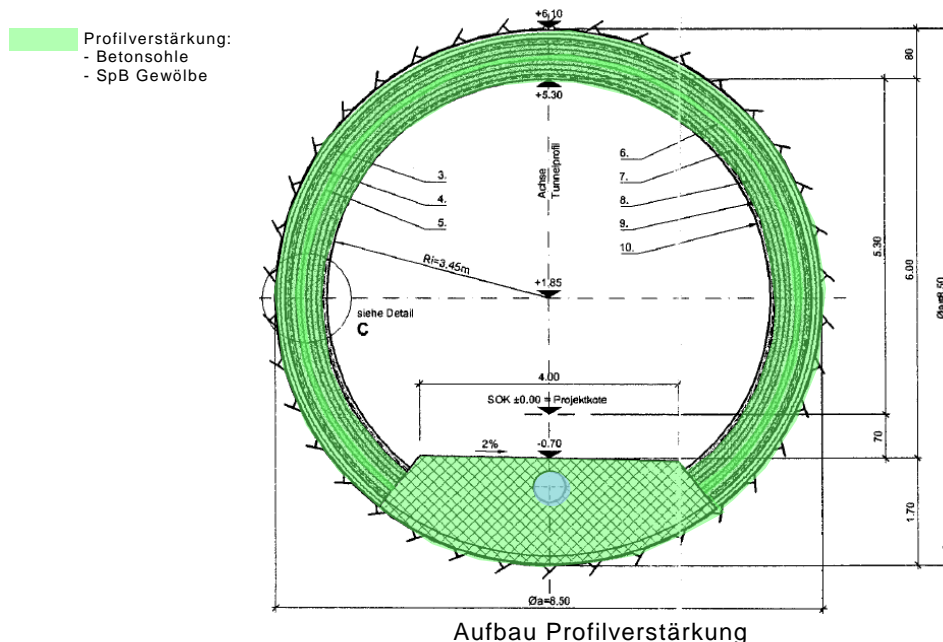


Bild 77: Sicherung des Holraumes mit TH-Profile (Glockenprofile)

Bild 78: Ortsbrust Profilaufweitung

Bild 79: Übersicht Aufweitung Normalprofil aus Kreisprofil



Bild 77

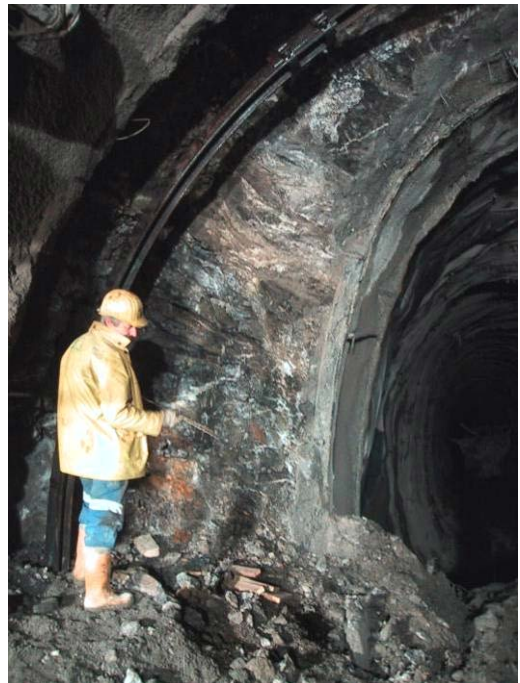


Bild 79

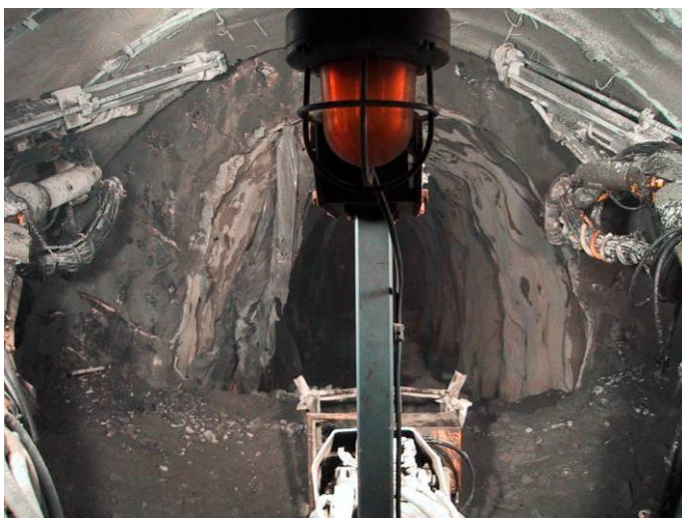


Bild 78

## LOS NORD - AUSKLEIDUNG

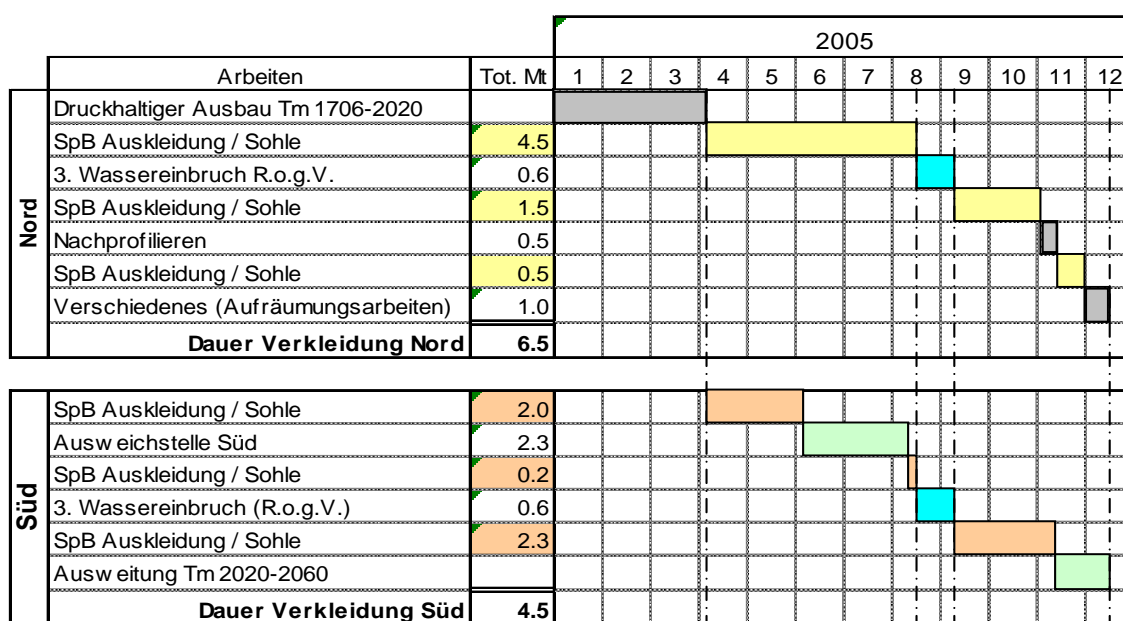
Ab Anfang April 2005 bis Ende November 2005 wurde auf Hochtouren ab beiden Portale (Nord und Süd) an der Verkleidung des Tunnels gearbeitet.

Die Verkleidung des Tunnelgewölbes besteht aus einer bis zu 20 cm starken Spritzbetonschale (abschnittsweise Netz- oder Stahlfasernbewehrt).

Vorgängig wurden die Wasserzutritte aus dem Gebirge mittels Kunststoff- Halbschalen gefasst und abgeleitet.

Die Verkleidungsarbeiten wurden im August/September 2005 durch den 3. Wassereinbruch und insbesondere infolge des Jahrhunderthochwassers für ca. 2 Wochen unterbrochen.

Im Sommer 2005 wurde ab dem Portal Süd die Ausweichstelle Süd ausgebrochen. Die Verkleidung dauerte somit (ohne Unterbrüche) insgesamt ca. 6.5 Monaten (mit zwei Angriffsstellen).



Bauablauf 2005

Bild 80: Spritzbetonarbeiten mit Roboter

Bild 81: Schichtweises Auftragen des Spritzbetons

Bild 82: Vorgängige Montage der Netzbewehrung



Bild 80



Bild 81

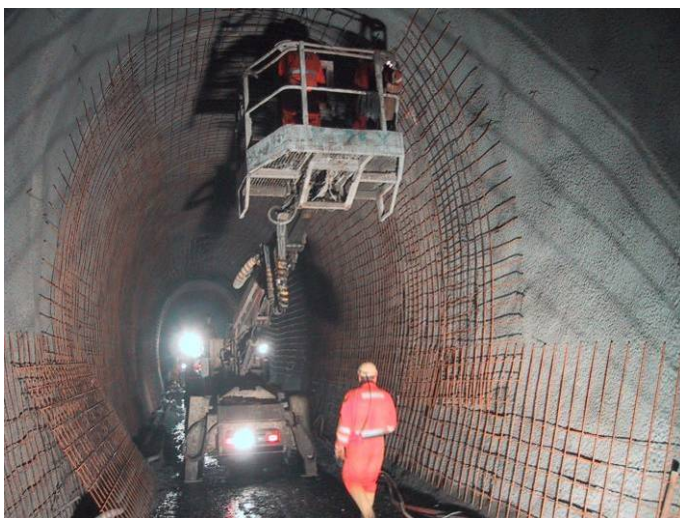


Bild 82



## LOS NORD - AUSKLEIDUNG - AUSWEICHSTELLE SÜD

Die Verkleidungsarbeiten ab dem Portal Süd wurden im Sommer 2005 während ca. 2.5 Monate für den Ausbruch der Ausweichstelle Süd (ca. Tm 3'020 – 3'380) unterbrochen, welche wie bereits erwähnt aus terminlichen Gründen nicht gleichzeitig mit dem Tunnelvortrieb ausgebrochen wurde.

Die Versorgung bzw. die Entsorgung der Baustelle erfolgten ab dem Portal Süd.

Die Ausbruchsicherung erfolgte mittels Spritzbeton, Netze und Felsanker.

Für die Ausführung dieser Arbeiten musste eine gesamte Vortriebeinrichtung (Bohrwagen, Dumper) neu installiert werden.

Anschliessend an diesen Arbeiten wurde die Verkleidung des Tunnels ab dem Portal Süd weitergeführt.

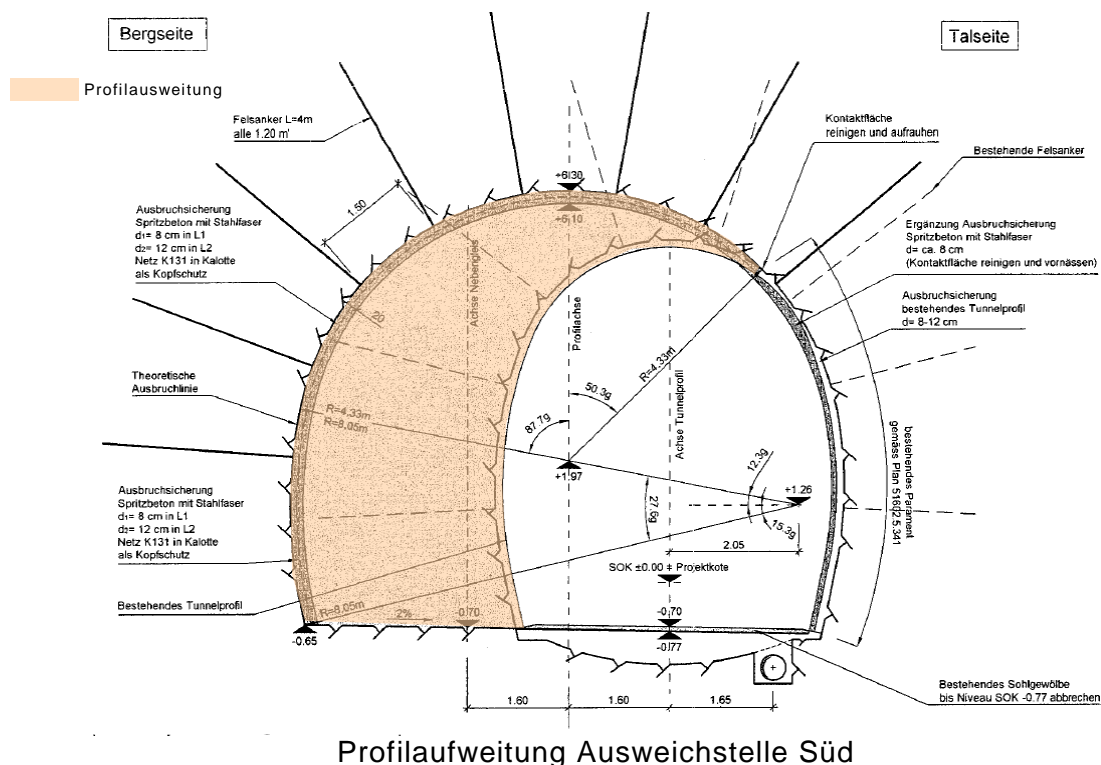


Bild 83: Vortriebsarbeiten

Bild 84: Übersicht Normalprofil bzw. Aufweitung

Bild 85: Sicherungsarbeiten (erstellen Bohrlöcher für Felsanker)



Bild 83

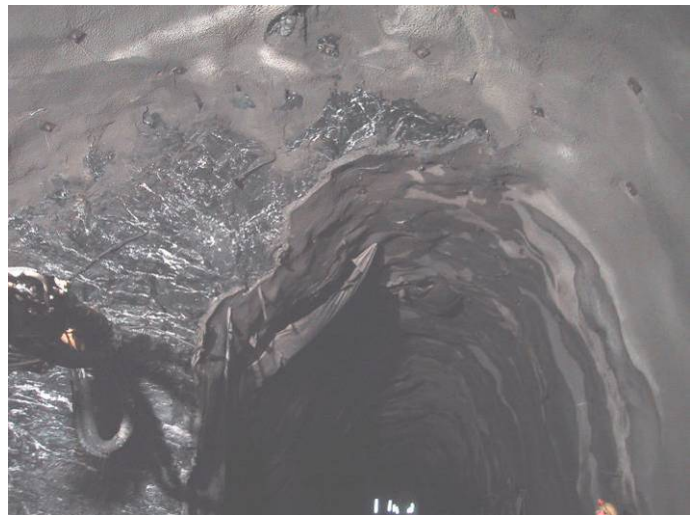


Bild 84

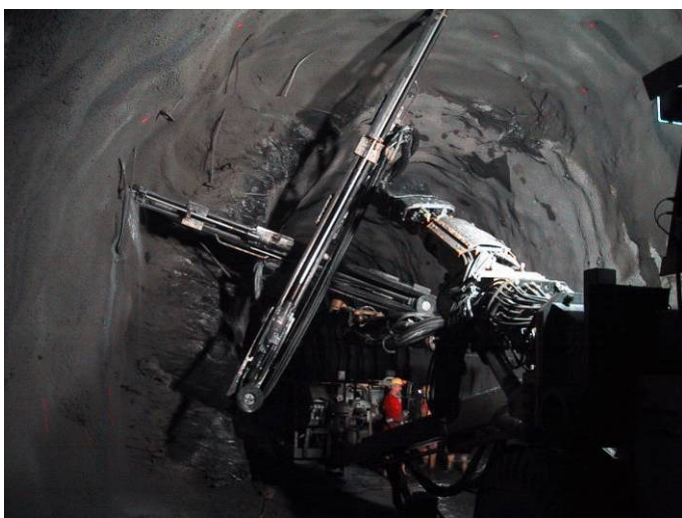


Bild 85

## **LOS NORD - AUSKLEIDUNG - HOCHWASSER AUGUST 2005**

Infolge der anhaltenden Starkniederschläge in der Region, war am 22. August, wegen der Wassermassen, die Zufahrt zur Baustelle nicht mehr passierbar. Einige Tage später musste die gesamte Baustelle evakuiert werden.

Das Jahrhundert Hochwasser hat sowohl den Baustelleneinrichtungen wie auch den Infrastrukturen im Engelbergertal massive Schäden angerichtet (z.B. Unterspülung Trasse zb, Verschüttung der Kantonstrasse durch Erdrutsche, Zerstörung Viadukt in Engelberg, Überflutung des gesamten Talbodens).

Das Hochwasser 2005 hatte alle bisherigen Naturkatastrophen in den Schatten gestellt.

Bild 86: Engelberger Aa im Bereich der Mettlenbrücke am 22.08.2005

Bild 87: Engelberger Aa im Bereich der Mettlenbrücke am 24.08.2005 (Trasse zb unterspült)

Bild 88: Überschwemmung im Bereich Installationsplatz Grafenort am 24.08.2005



Bild 86



Bild 87



Bild 88

## **LOS NORD - AUSKLEIDUNG - HOCHWASSER AUGUST 2005**

### **3. WASSEREINBRUCH**

Das Unwetter von Ende August 2005 hat nicht nur Schäden im Engelbergertal verursacht. Auch der Tunnel wurde in Mitleidenschaft gezogen. An der ungefähr gleichen Stelle wie im 2003 hat sich bei ca. Tm 1'956 eine grosse Menge Wasser in den Tunnel ergossen und massive Schäden angerichtet.

Bei der bestehenden Karstkaverne haben die Wassermassen den bereits fertig gestellten druckhaltigen Ausbau durchbrochen.

Zum Zeitpunkt des Ereignisses (22./23.08.2005) befanden sich keine Arbeiter im Tunnel, da die Baustelle infolge des Hochwassers geräumt werden musste.

Bild 89: Wassermassen aus Einbruchstelle Tm 1'956

Bild 90: Einbruchstelle Tm 1'956

Bild 91: Wasserzutritt aus dem Tunnel am Portal Nord



Bild 89

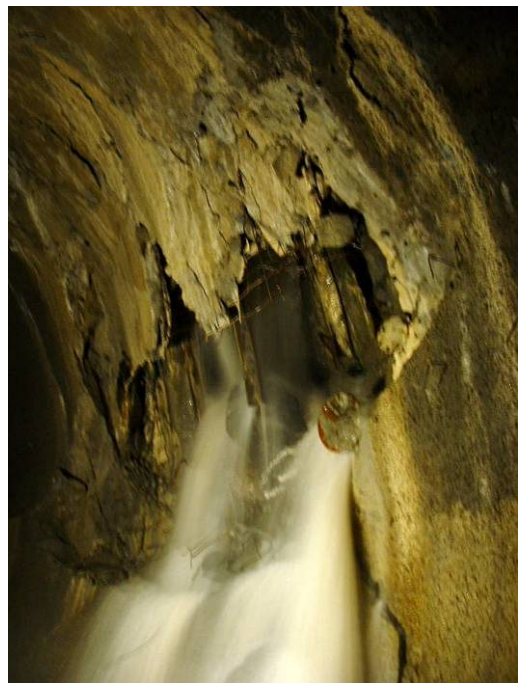


Bild 91



Bild 90

## **LOS NORD - AUSKLEIDUNG - HOCHWASSER AUGUST 2005**

### **3. WASSEREINBRUCH**

Die Wassermassen, insbesondere der Wasserdruck, haben, zusätzlich zum Wassereinbruch, zu einer massiven Beschädigung des 80 cm starken Gewölbes (Risse und Abplatzungen) im Bereich der Quintnerkalkstrecke geführt.

Die gesamten logistischen Einrichtungen im Tunnel wurden durch die Wassermassen und das Geschiebe stark in Mitleidenschaft gezogen. Dies hatte umfangreiche Aufräumungs- und Reparaturarbeiten zur Folge.

Nach ca. 2 Wochen (Anfangs September 2005) konnte der Regelbetrieb wieder aufgenommen werden.

Bild 92: Schäden am Gewölbe des druckhaltigen Ausbaus

Bild 93: Situation im Tunnel: beschädigtes Inventar und Ablagerungen von Geschiebe aus der Einbruchstelle

Bild 94: Beschädigtes Gewölbe im Bereich der Einbruchstelle



Bild 92



Bild 94



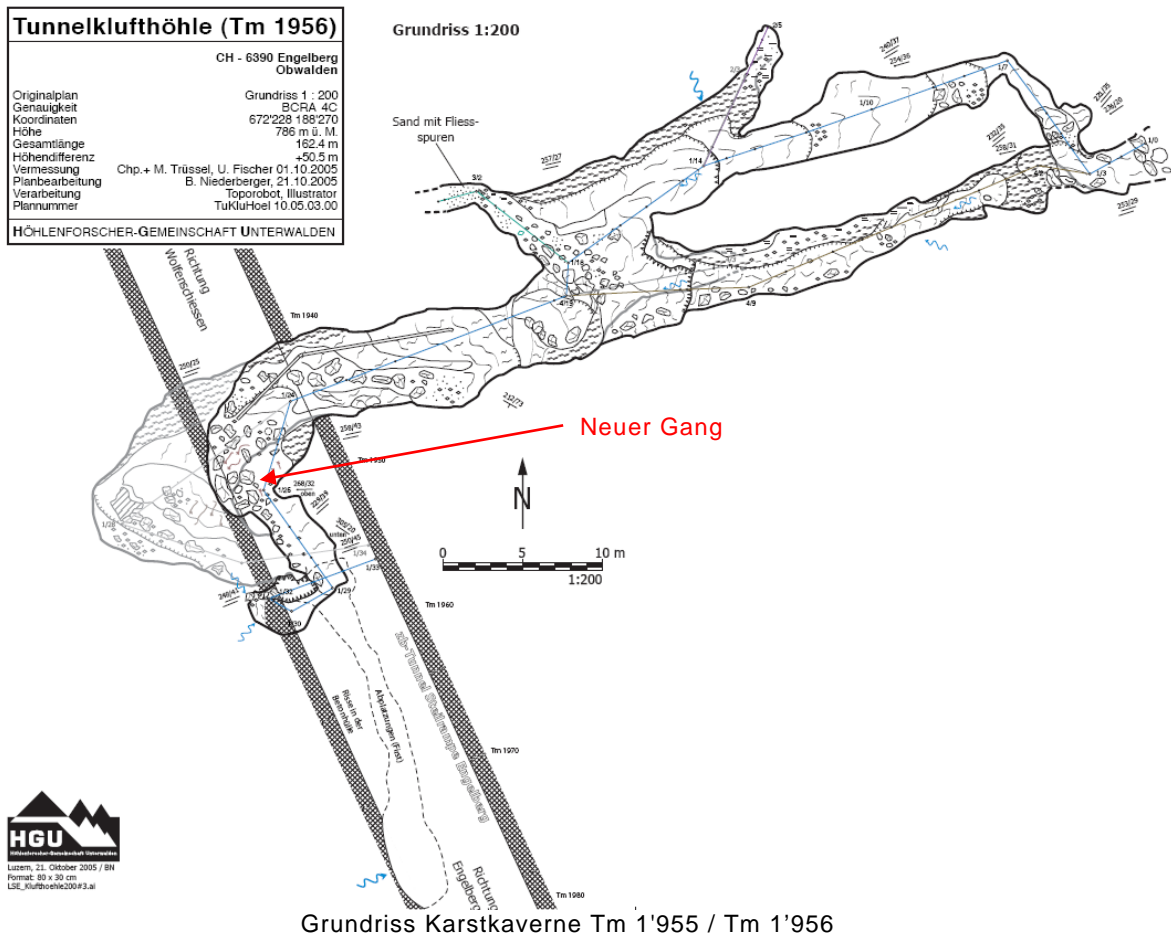
Bild 93



**LOS NORD - AUSKLEIDUNG - HOCHWASSER AUGUST 2005  
KARSTKAVERNE SOMMER 2005**

Mit Erstaunen musste festgestellt werden, dass die Wasser- und Geröllmassen, welche zum 3. Wassereinbruch führten, aus der im Winter 2003/2004 verschlossenen (mit Beton verfüllten) Karstkaverne kamen. Somit entstand ein neuer ca. 10 m langer Gang über dem Tunnelfirst (Spritzbetongewölbe) bis in die bereits erkundete Karstkaverne.

Bei einer Begehung Anfangs Oktober 2005 zeigte sich, dass der Hauptgang der Karstkaverne neu auf ca. 160 m angewachsen war und ein neuer rund 30 m langer Parallelgang durch die Erosion entstand.



- Bild 95: Blick aus Karstkaverne im Tunnel durch Einbruchsstelle
- Bild 96: Aufstieg im mannlochgrossen Gang über dem Betongewölbe
- Bild 97: Einmündung des neuen Ganges in die bereits im Sommer 2003 entstandenen Karstkaverne



Bild 95



Bild 96



Bild 97

## **LOS NORD - AUSKLEIDUNG - ENTLASTUNGSBAUWERK WINTER 2005/2006 VERFÜLLUNG KARSTKAVERNE**

Im Hinblick auf die Schneeschmelze im Frühjahr 2006 bzw. auf den endgültigen Ausbau der Quintnerkalkstrecke wurden folgende Arbeiten zur Gewährleistung der Sicherheit des Bauwerks mit Dringlichkeit ausgeführt:

- Ausbruch, Sicherung und Verkleidung Verbindungsstollen Tunnel – Schachtfuss (Schachtfusskaverne)
- Sicherung Karstkaverne
- Aufbruch, Sicherung und Verkleidung Vertikalschacht
- Betonverfüllung Karstkaverne
- Verschliessung Verbindungsstollen (Betonzapfen)

Um eine ausreichende Sicherheit für die vorgesehenen Arbeiten in der Karstkaverne zu gewährleisten, wurden zuerst umfangreiche Sicherungsarbeiten ausgeführt.

In einer 2. Etappe wurde der „Eingangsbereich“ der Karstkaverne mit ca. 500 m<sup>3</sup> Beton verfüllt.

Diese Arbeiten erfolgten im Januar bzw. Februar 2006, während ca. 2 Wochen.

Um bei einem allfälligen Arbeitsunfall intervenieren zu können, wurden entsprechende Massnahmen vorgesehen. Insbesondere wurde eine Rettungsübung durchgeführt.

Bild 98: Verlegen der Betonierrohre in der Karstkaverne

Bild 99: Stahlstützen zur Sicherung der Decke der Karstkaverne im Bereich der „Verzweigungshalle“

Bild 100: Rettungsübung: Bergung des „Verletzten“ aus der Karstkaverne



Bild 98



Bild 99



Bild 100

## LOS NORD - AUSKLEIDUNG - ENTLASTUNGSBAUWERK WINTER 2005/2006 VERTIKALSCHACHT Tm 1'942

Wie bereits erwähnt, war der Vertikalschacht ein wesentlicher Bestandteil des Entlastungsbauwerks.

Der Schacht wurde ab dem erstellten Querschlag im Alimak-Verfahren aufgebrochen.

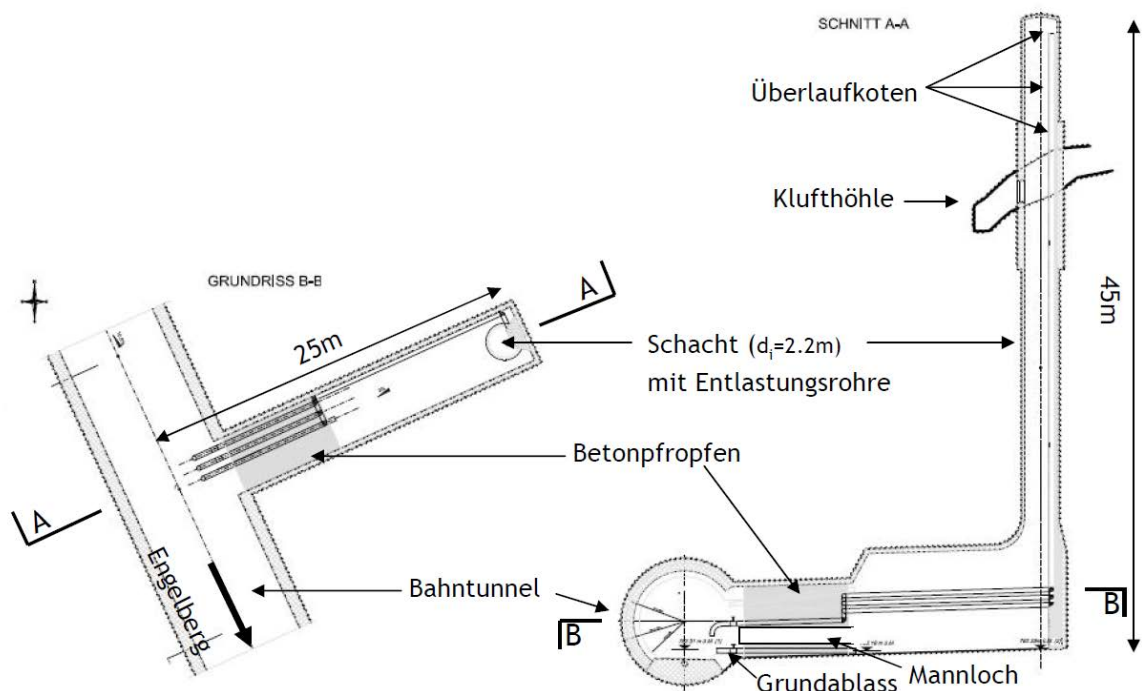
Die Vortriebsarbeiten erfolgten Überkopf ab einer Kletterbühne (Alimak).

Der Sprengvortrieb erfolgte im stark zerbrochenen und mit Klüften durchzogenen Quintnerkalk.

Auf einer Höhe von ca. 30 m wurde die Karstkaverne (offener Hohlraum) durchgeföhren.

Die Sicherung des Hohlraumes erfolgte mit netzbewehrtem Spritzbeton und Felsankern.

Das Entlastungsbauwerk würde mit einer Bauzeit von ca. 2.5 Mt in den Monaten Januar bis März 2006 erstellt.



Grundriss und Schnitt Entlastungsbauwerk Tm 1'942 (Verbindungsstollen und Vertikalschacht)

Bild 101: Ausbruch Vertikalschacht im Bereich des Schachtfusses

Bild 102: Blick in den Schachtkopf

Bild 103: Klettererbühne mit Schutzdach (Alimak) im Bereich der Durchquerung der Karstkaverne



Bild 101



Bild 102

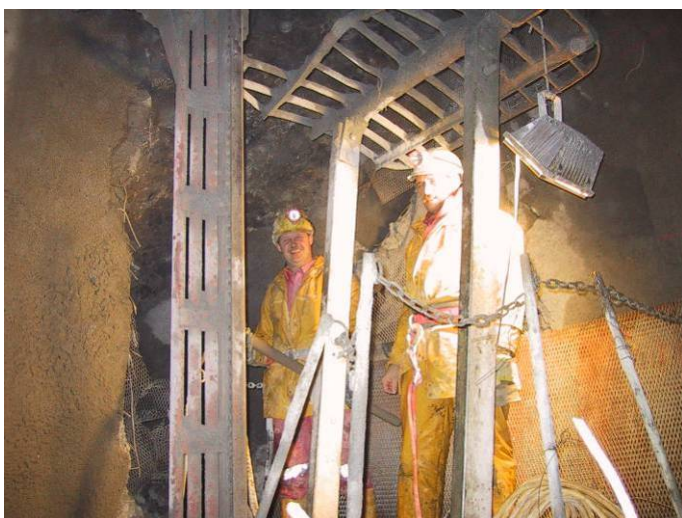


Bild 103

## **LOS NORD - AUSKLEIDUNG - ENTLASTUNGSBAUWERK WINTER 2005/2006 VERTIKALSCHACHT Tm 1'942**

Nach Abschluss der aufwändigen Arbeiten zur Erstellung des Vertikalschachtes, wurde als letztes Element des Entlastungsbauwerks, im März 2006, der Betonpfropfen für den Verschluss des Verbindungsstollens erstellt.

Das Entlastungsbauwerk erfüllt die Funktion eines Siphons.

Dank dem Betonpfropfen kann das Wasser, welches aus der Karstkaverne in den Vertikalschacht strömt, aufgestaut und mittels 3 Stahlleitungen Ø 300 mm mit unterschiedlichen Einlaufkoten gefasst und abgeleitet werden.

Der Zugang durch den Betonpfropfen in die Schachtfusskaverne ist über ein Mannsloch Ø 800 mm möglich.

Bild 104: Entlastungsrohre und Mannsloch im Bereich des Betonzapfens (vor dem Betonieren)

Bild 105: Schalung (Seite Schachtfusskaverne) für Betonpfropfen

Bild 106: Betonpfropfen (Seite Tunnel) mit Entlastungsrohren, Mannsloch, Kontrollrohr und Grundablass



Bild 104

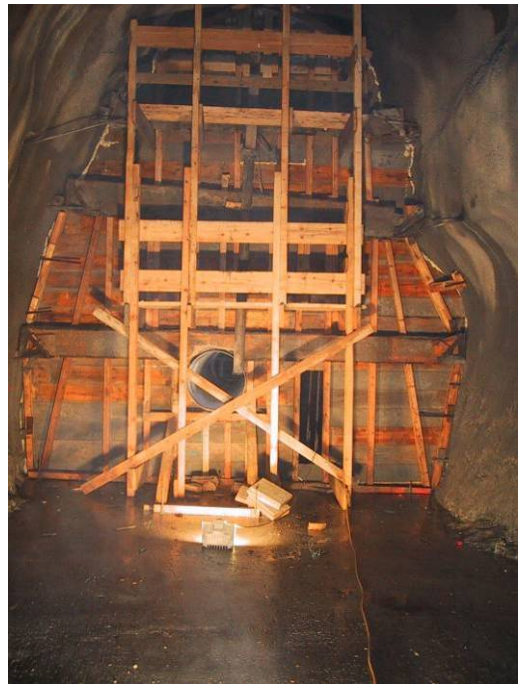


Bild 105



Bild 106



## LOS NORD - PORTAL BAUWERK

- Tagbautunnel: Rahmentragwerk, Länge 25.00m,  
Breite x Höhe = 6.70 x 7.35m,  
Höhe Überschüttung bis 8.00m  
Portalwand als Rahmentragwerk zur Aussteifung der  
Stützmauer konzipiert.
- Stützmauern: Winkelstützmauer, Länge 25.00m und 11.00m, Höhe bis  
8.00m.
- Baugrube: Höhe bis zu 18m, sehr steiles Gelände (Hangneigung  
z.T. über 40°), enge Platzverhältnisse zwischen dem be-  
stehenden Bahntrasse und der Kantonsstrasse.  
Baugrubensicherung mit Elementankerwand: Spritzbe-  
tonwand mit Litzenankern und Stabankern.

Bild 107: Betonieren einer Etappe der Bodenplatte des Portalbauwerks

Bild 108: Übersicht Tunnelportal und bergmännischer Portal

Bild 109: Schalung und Armierung Decke 1. Etappe des Portalbauwerks



Bild 107



Bild 108



Bild 109

## **LOS SÜD – VORTRIEB**

Der Baubeginn beim Südportal in Engelberg erfolgte im Juli 2001.

Der Aushub des Voreinschnittes erfolgte im Lockergestein. Die Baugrube wurde mit einer rückverankerten Spritzbetonwand gesichert.

Die Kontrolle allfälliger Deformationen der Sicherung erfolgte mittels Spannkraftmessungen an Messankern.

Nach der Fertigstellung des Voreinschnittes wurde der Vortrieb im Lockergestein im November 2001 aufgenommen.

Bild 110: Beginn Vortrieb Lockergestein Los Süd, Ausführung der vorausgehenden Sicherung

Bild 111: Ausbruch des 1. Meters, Vortrieb im Lockergestein mit Tunnelbagger Schaeff IT 420

Bild 112: Ausführung der vorausgehenden Sicherung: Brustsicherung mit IBO Anker L= 8 m



Bild 110



Bild 111



Bild 112

## **LOS SÜD - VORTRIEB**

Die Tunnellänge des Bauloses Süd war mit ca. 890 m vorgesehen. Der Tunnelvortrieb sollte auf den ersten 216 Metern im Lockergestein die Engelberger Bergsturzmasse durchörtern. Danach sollten 472 Meter in der Sackungsmasse folgen. Die restlichen ca. 200 Meter waren im Quintnerkalk vorgesehen.

Der Ausbruch im Lockergestein (Bergsturz und Sackungsmasse) erfolgte im fallenden Kalottenvortrieb. Der Strosse wurde etappenweise (alle ca. 50 m) nachgezogen.

Als Ortsbrustsicherung wurden vorausseilende IBO-Anker (L= 8 m) in die Ortsbrust der Kalotte versetzt. Die Ortsbruststützung erfolgte mit Spritzbeton.

Im Firstbereich wurde eine systematisch vorausseilende Sicherung (Spiess-Schirm L= 4 m) erstellt.

Bild 113: Ausführung der vorausseilenden Sicherung: Brustsicherung mit IBO Anker L= 8 m

Bild 114: Ausführung der vorausseilenden Sicherung: Spiess-Schirm mit Stahlstäben L= 4 m

Bild 115: Ausführung der vorausseilenden Sicherung: Spiess-Schirm mit Stahlstäben L= 4 m



Bild 113



Bild 114

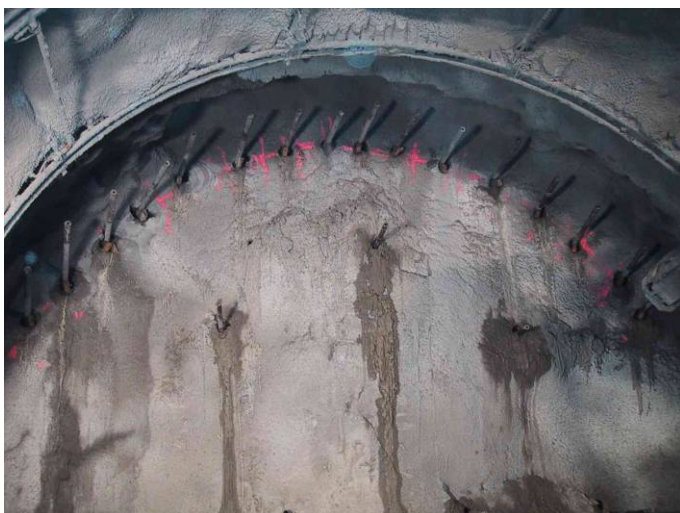


Bild 115

## **LOS SÜD – VORTRIEB UND SICHERUNG**

Die Sicherung des Ausbruches erfolgte mit Gitterträgern und Stahlfaser-Spritzbeton (min. 15 cm) und lokal mit Netzen. Die Kalottenfüsse wurden mit Anker und lokal mit Mikropfählen gesichert. In der Sohle wurden die Bögen mit einem Sohlsprenger geschlossen.

Bild 116: Vortrieb im Lockergestein im Bergsturz: Übersicht der Ortsbrust (Kalotte) mit der vorseilenden Sicherung

Bild 117: Vortrieb im Lockergestein: Abbau des Strosses und Einbau des Sohlsprengers

Bild 118: Sicherung des Ausbruches mit Gitterbögen, Spritzbeton und Anker (Kalottenfuss)



Bild 116

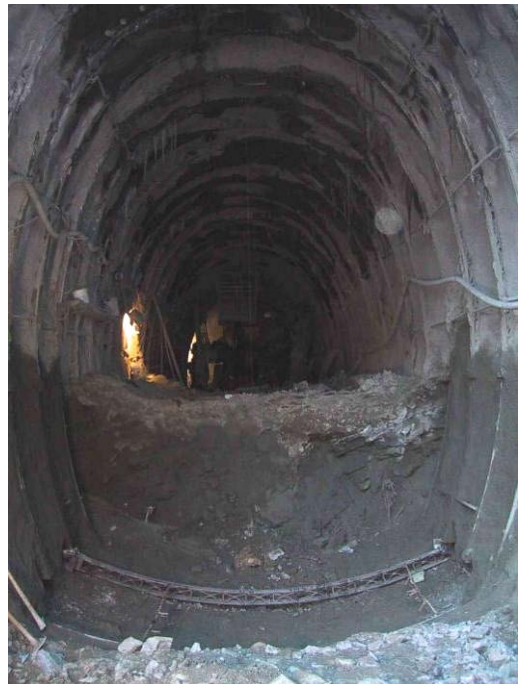


Bild 117



Bild 118

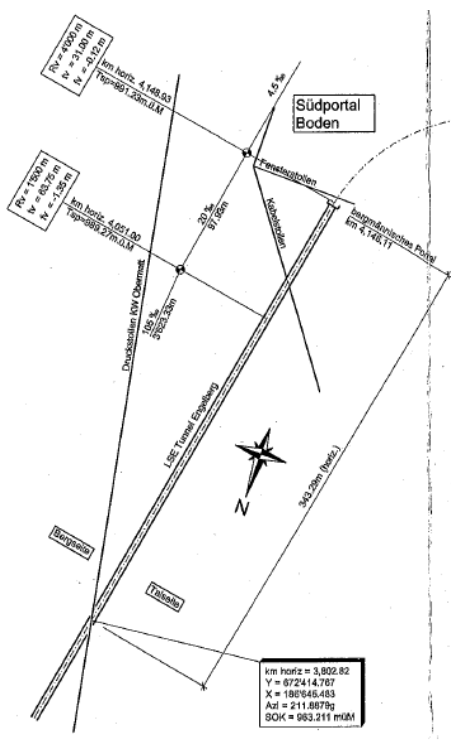


## LOS SÜD – ÜBERQUERUNG KABELSTOLLEN UND UNTERQUERUNG DRUCKSTOLLEN

Der 1903 erstellte Druckstollen welcher vom Tunnel überquert wird, wird heute noch als Kabelstollen genutzt. Der Tunnel überquert den Kabelstollen in der Lockergesteinsstrecke, ca. 60 m ab dem Portal, mit einer geringen Überdeckung (ca. 60 cm). Dies setzte voraus, dass der bestehende Stollen verstärkt werden musste. Der Kabelstollen wurde mit einer bewehrten Ort betonverstärkung zusätzlich gesichert.

Ab ca. 340 m vom Portal, unterquert der Tunnel, mit einer Überdeckung (ca. 11 m), einen Druckstollen. Dieser sollte während der gesamten Bauzeit in Betrieb bleiben.

Zur Überwachung der Erschütterungen wurde eine Bohrung in die Nähe des Stollens ausgeführt und mit einer Messsonde ausgerüstet.



Querungen mit Stollen EWLE

Bild 119: Überquerung Kabelstollen: Verstärkung um den bestehenden Kabelstollen mit bewehrtem Ort beton

Bild 120: Überquerung Kabelstollen: Aushub um den bestehenden Kabelstollen

Bild 121: Überquerung Kabelstollen: Verstärkung um den bestehenden Kabelstollen mit bewehrtem Ort beton



Bild 119



Bild 120

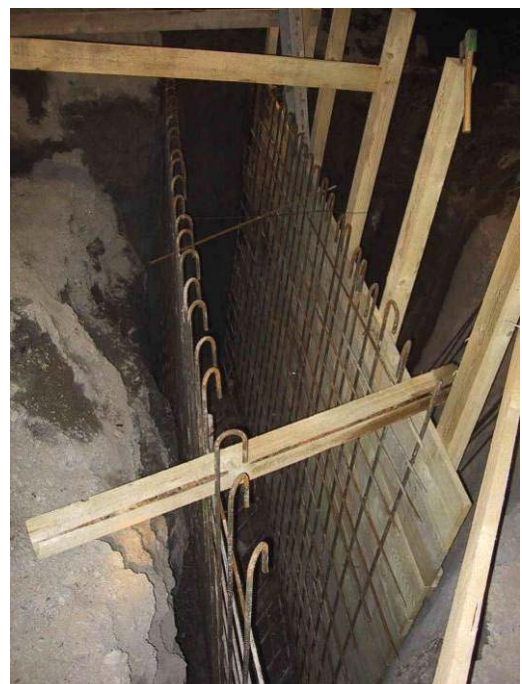


Bild 121

## **LOS SÜD – VORTRIEB**

Aufgrund der Ergebnisse aus den vorgenommenen Erkundungen (Bohrungen ab der Ortsbrust und von der Oberfläche aus), sowie aus den bisherigen Erfahrungen der wasserführenden Abschnitte in den Quintnerkalken, wurde entschieden, den Vortrieb Süd bei ca. Tm 550 definitiv einzustellen.

Dies weil ein fallender Vortrieb in Anwesenheit von starken Wasserzutritte als zu gefährlich eingestuft wurde.

Die gesamte Strecke des Loses Süd wurde im Lockergestein aufgefahren. Der Abbau erfolgte mechanisch (maschinenunterstützter Vortrieb). Vereinzelt Blöcke wurden mit dem Abbauhämmer oder durch sorgfältige Sprengungen entfernt.

Die Abbaulänge betrug 1 m.

Zwischen Tm 0 und Tm 235 wurde der grosse Bergsturz von Engelberg durchgefahren. Es handelte sich um ein Gemenge aus grösseren und kleineren Blöcken, und einer kiesig-siltigen Masse.

Bei ca. Tm 240 wurde die Basis des Bergsturzes durchgefahren. Die angetroffene Sackungsmasse bestand aus intensiv geklüfteten, stark zerbrochenem dunkelgrauen Kalksteinen und Mergelkalken.

Bild 122: Ausführung der vorausseilenden Sicherung: Spiess-Schirm mit Stahlstäben L= 4 m

Bild 123: Vortrieb im Lockergestein: Vortrieb mit Tunnelbagger Schaeff ITC 420

Bild 124: Vortrieb im Lockergestein in der Sackungsmasse: Übersicht der Ortsbrust (Kalotte)



Bild 122



Bild 123



Bild 124

## **LOS SÜD – VERTIKALE SONDIERBOHRUNG SCHWAND**

Infolge des 1. Wassereinbruches im Vortrieb Nord, beim Anfahren der Quintnerkalkstrecke, wurde entschlossen, die Quintnerkalke im Abschnitt des Loses Süd mittels einer vertikalen Sondierbohrung, von der Oberfläche aus, zu erkunden.

Die Bohrung wurde in Schwand, Engelberg auf einer Höhe von ca. 1'360 m.ü.M (ca. Tm 3'013) angesetzt.

Die Gesamttiefe betrug 250 m, davon wurden die ersten 220 m als destruktive Bohrung für die restlichen Meter als Kernbohrung ausgeführt.

Die Bohrung verlief mehrheitlich in der Sackungsmasse. Aus dem Bohrlochmund strömten bis zu 33 l/s Wasser mit 8 bar Druck (artesischer Druck über dem Gelände).

Die gesamten Arbeiten dauerten von Anfangs November bis Mitte Dezember 2002.

Bild 125: Wasseraustritt aus der Bohrung

Bild 126: Übersicht über Bohrstelle mit Installationen in Schwand (Engelberg)

Bild 127: Wasseraustritt aus der Bohrung und ....



Bild 125

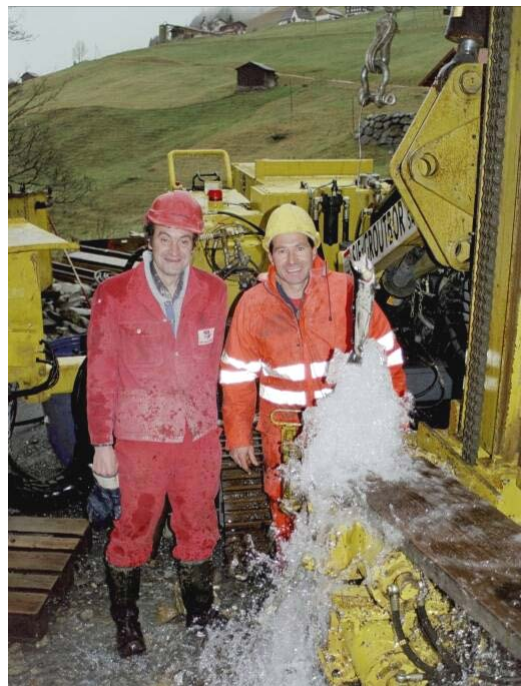


Bild 127



Bild 126

## **LOS SÜD – VERKLEIDUNG**

Nach Abschluss der Vortriebsarbeiten wurde ein bewehrtes Sohlgewölbe eingebaut.

Die Gewölbeverkleidung erfolgte als einschaliger Ausbau und wurde mit Netzbewehrtem Spritzbeton ausgeführt.

Vorgängig wurden Feuchtstellen und Wasserzutritte mittels Halbschalen und Drainagematten gefasst und abgeleitet.

Bild 128: Betonsohle: Einbau der bewehrten Ortbetonsohle

Bild 129: Vorabdichtung des Gewölbes mittels Halbschalen

Bild 130: Verkleidung: Netzbewehrte Spritzbetonverkleidung



Bild 128

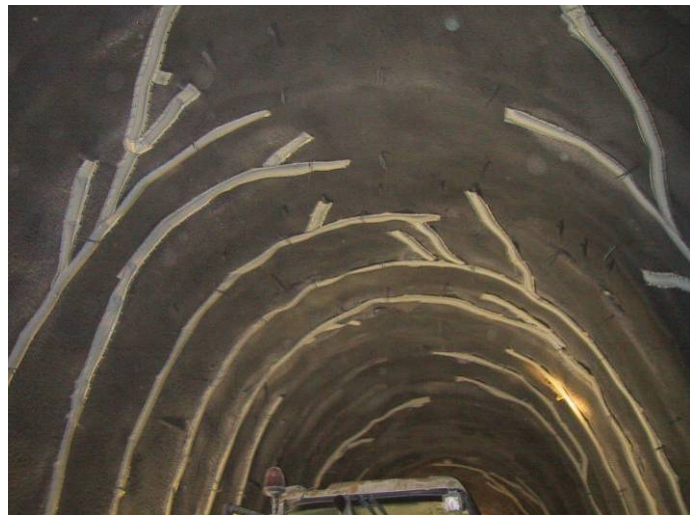


Bild 129



Bild 130



## LOS SÜD – PORTAL BAUWERK

Tagbautunnel:	Rahmentragwerk, Länge 15.2 m, Breite x Höhe = 6.50 x 7.05m, Höhe Überschüttung bis 3.50m
Stützmauern:	Winkelstützmauer bis zur Treppe, Länge 10.00m und 7.20 m, Höhe bis 8.00m
Baugrube:	Höhe bis zu 10m, steiles Gelände, enge Platzverhältnisse entlang dem bestehendem Bahntrasse. Baugrubensicherung mit verankerter Portalkonstruktion und Nagelwand.

Bild 131: Schalung und Bewehrung der Portalwand

Bild 132: Übersicht über die ausgeschalte Portalwand (Waschbeton)

Bild 133: Arbeiten bei sehr engen Platzverhältnissen entlang der Geleisen der zb



Bild 131



Bild 132



Bild 133

## **LOS SÜD – PORTAL BAUWERK - HOCHWASSER AUGUST 2005**

Während dem Hochwasser im August 2005 wurde die Kantonsstrasse nach Engelberg in Mitleidenschaft gezogen. Insbesondere wurde das Lehnenviadukt, welches sich zwischen dem Portal Süd und dem Dorfeingang befindet, zerstört.

Um die Zufahrt in das von der Umwelt abgeschnittene Dorf wieder zu gewährleisten, wurde kurzerhand oberhalb des Portalbauwerks Süd eine Notstrasse erstellt.

Bild 134: Aushubarbeiten für die Notstrasse

Bild 135: Erstellen Notstrasse oberhalb des Portalbauwerks

Bild 136: Übersicht über die vollendete Notstrasse



Bild 134



Bild 135



Bild 136





**BAUARBEITEN WINTER 2007 / 2008**

**MARTI BAUUNTERNEHMUNG AG**

**VORBEREITUNGSARBEITEN  
(INSTANDSTELLUNG QUINTNERKALKSTRECKE)**

## **INSTANDSTELLUNG QUINTNERKALKSTRECKE – ABBRUCH GEWÖLBE**

Im Frühjahr 2007 wurde eine Konzeptlösung für den definitiven Ausbau des Tunnels Engelberg, insbesondere der Quintnerkalkstrecke (in der Tunnelmitte) ausgearbeitet.

Die für die Realisierung des definitiven Ausbaus nötigen Vorbereitungsarbeiten wurden in einem separaten Los „Vorbereitungsarbeiten“ ausgeschrieben.

Die Vorbereitungs- und Abbrucharbeiten beinhalteten folgende Arbeitsgänge:

- Abbruch, Sicherung des bestehenden Spritzbetongewölbes, Profilierung von Gewölbe und Sohle.
- Erstellung von Drainagebohrungen.

Die Abbrucharbeiten erfolgten mit einer Teilschnittmaschine (TSM) Typ Atlas Copco-Eickhoff ET 380-Q (Installierte Leistung 380 kW).

Für den Transport musste die TSM (Betriebsgewicht 96 t) demontiert werden. Vor dem Portal Nord wurde sie zusammengebaut und zum Einsatzort verschoben.

Bild 137: Spezialtransport für TSM

Bild 138: Montage der TSM vor dem Tunnelportal

Bild 139: Schneidekopf bestückt mit Rundschaffmeisseln



Bild 137



Bild 138



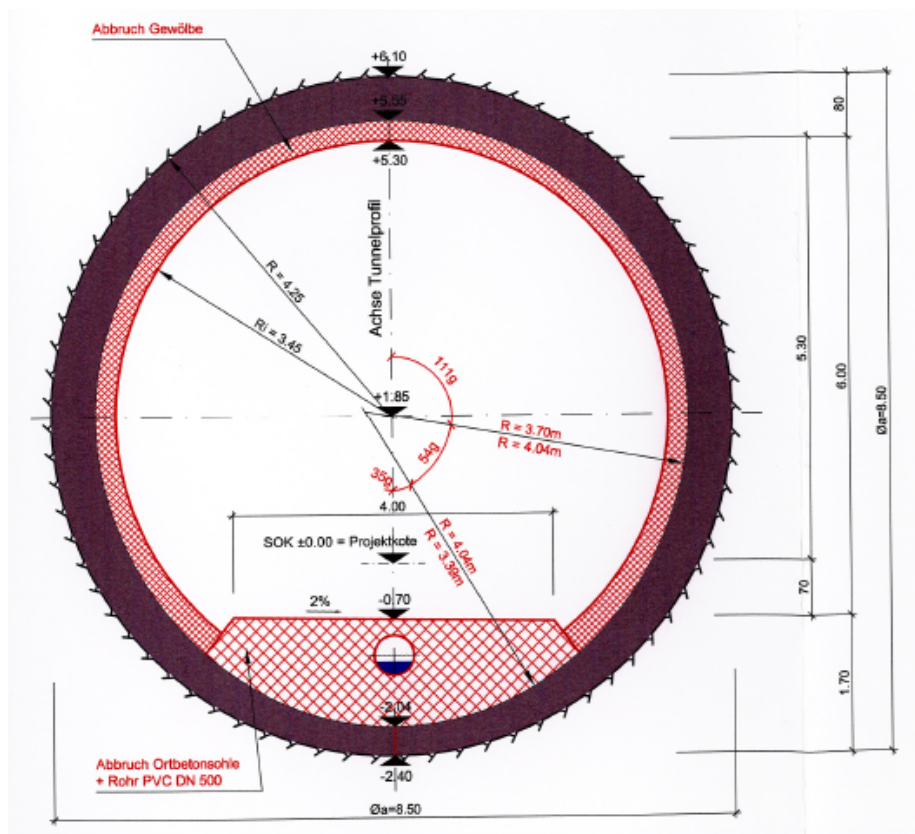
Bild 139



## INSTANDSTELLUNG QUINTNERKALKSTRECKE – ABRUCH GEWÖLBE

Der Abbruch des Gewölbes erfolgte mechanisch mit einer Teilschnittmaschine (TSM). Vom bestehenden Spritzbetongewölbe wurden zwischen 30 cm und 50 cm abgetragen. Im Durchschnitt konnten pro Arbeitstag ca. 20 m abgebrochen werden. Das Abbruchmaterial wurde mittels Raupenbagger auf LKWs verladen und abtransportiert.

Die Bauarbeiten begannen Mitte November 2007. Die eigentlichen Abbrucharbeiten des Gewölbes dauerten rund vier Wochen.



Normalprofil Abbruch Gewölbe und Sohle (rot)

Bild 140: Übersicht der Arbeitsstelle „Abbruch Spritzbetongewölbe“

Bild 141: Abbruch Spritzbetongewölbe mit TSM

Bild 142: Übersicht des bereits abgebrochenen Gewölbes



Bild 140



Bild 141



Bild 142

## **INSTANDSTELLUNG QUINTNERKALKSTRECKE – ABBRUCH SOHLE**

Der Abbruch der Sohle erfolgte in einer zweiten Phase. Die gesamte bestehende unbewehrte Ortbetonsohle, inklusiv der Rohrleitung PVC DN 500, wurde auf einer Länge von 320 m abgebrochen.

Der Abbruch erfolgte grösstenteils mit einer Fräse (Belagsfräse). Das Abbruchmaterial wurde fortlaufend auf LKWs geladen und abtransportiert.

Der unterste Teil der Sohle (Sohlgewölbe) wurde mit hydraulischem Abbauhammer abgebaut.

Die Abbrucharbeiten der Sohle dauerten 6 Wochen.

Bild 143: Abbruch der Sohle mit hydraulischem Abbauhammer

Bild 144: Abtrag mittels Fräse „Belagsfräse“ des Sohlenbetons

Bild 145: Übersicht nach erfolgtem Abtrag der Sohle mit der Fräse



Bild 143



Bild 144



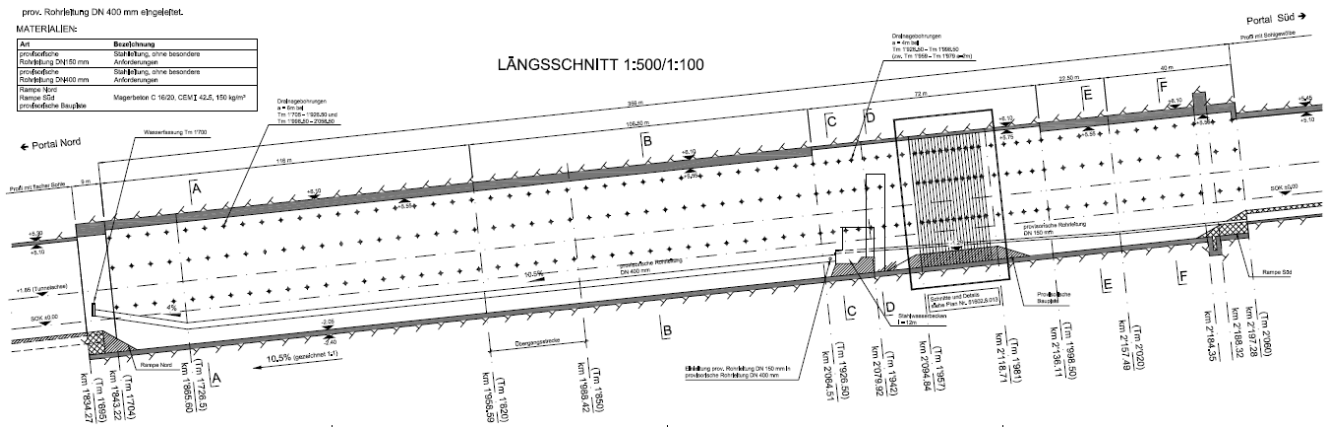
Bild 145

## INSTANDSTELLUNG QUINTNERKALKSTRECKE – PROFILIERUNG

Die abgebrochene Fläche wurde profiliert, um eine möglichst regelmässige Oberfläche im Hinblick auf die kommenden Arbeiten zu erzielen.

Die Profilierung des Gewölbes erfolgte mit Spritzbeton (trocken), welche von Hand ab einer fahrbaren Bühne aufgetragen wurde. Der Genauigkeit der Profilierung wurden sehr hohe Ansprüche gestellt.

Die Sohle wurde mit Magerbeton profiliert. In der Mitte wurde eine Rinne ausgebildet, um das Bergwasser abzuleiten.



Übersicht Quintnerkalkstrecke nach dem Abschluss der Vorbereitungsarbeiten

Bild 146: Profilierung Sohle mit Magerbeton

Bild 147: Absteckungsarbeiten für die Profilierung des Gewölbes

Bild 148: Profilierung des Gewölbes mit Spritzbeton



Bild 146

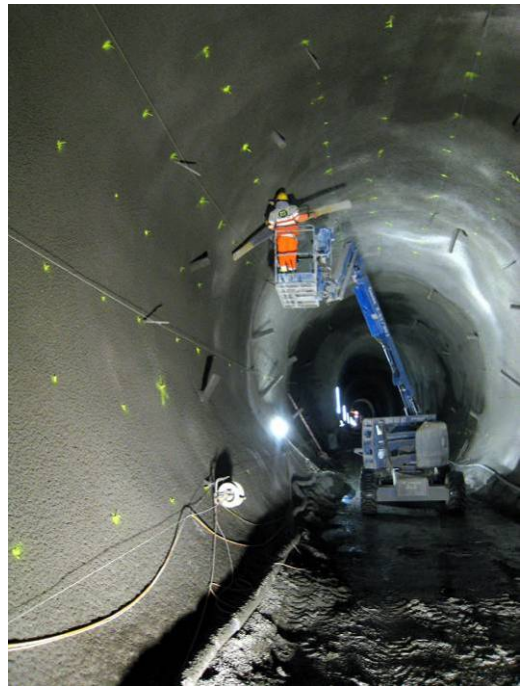


Bild 147

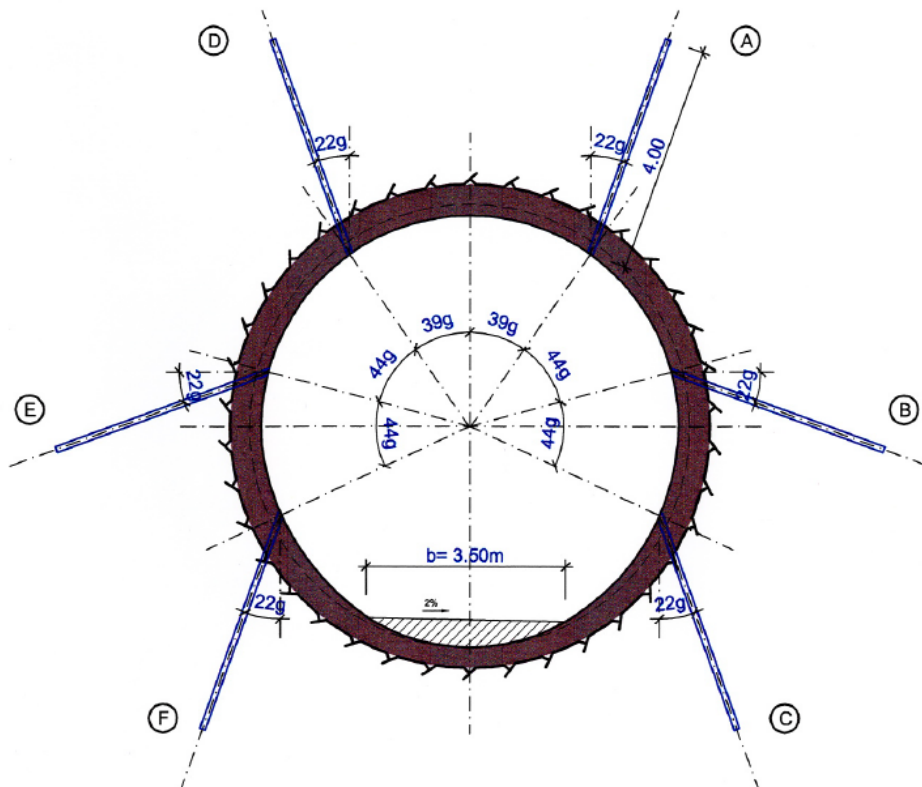


Bild 148

## IN STANDSTELLUNG QUINTNERKALK STRECKE – DRAINAGEBOHRUNGEN

Parallel zu den restlichen Arbeiten wurden entlang der gesamten Quintnerkalkstrecke systematische Drainagebohrungen ausgeführt. Diese Bohrungen sind auch Bestandteil des definitiven Gewölbeausbaus, um den Wasserdruck zu entlasten.

In regelmässigen Abständen wurden 6 radiale 4 bis 6 m langen Drehschlagbohrungen mit Durchmesser 100 mm vorgetrieben.



Systematische radiale Drainagebohrungen

Bild 149: Ausführung der Drainagebohrungen im Sohlenbereich

Bild 150: Ausführung der radialen Drainagebohrungen

Bild 151: Ausführung der Drainagebohrungen im Sohlenbereich



Bild 149



Bild 150



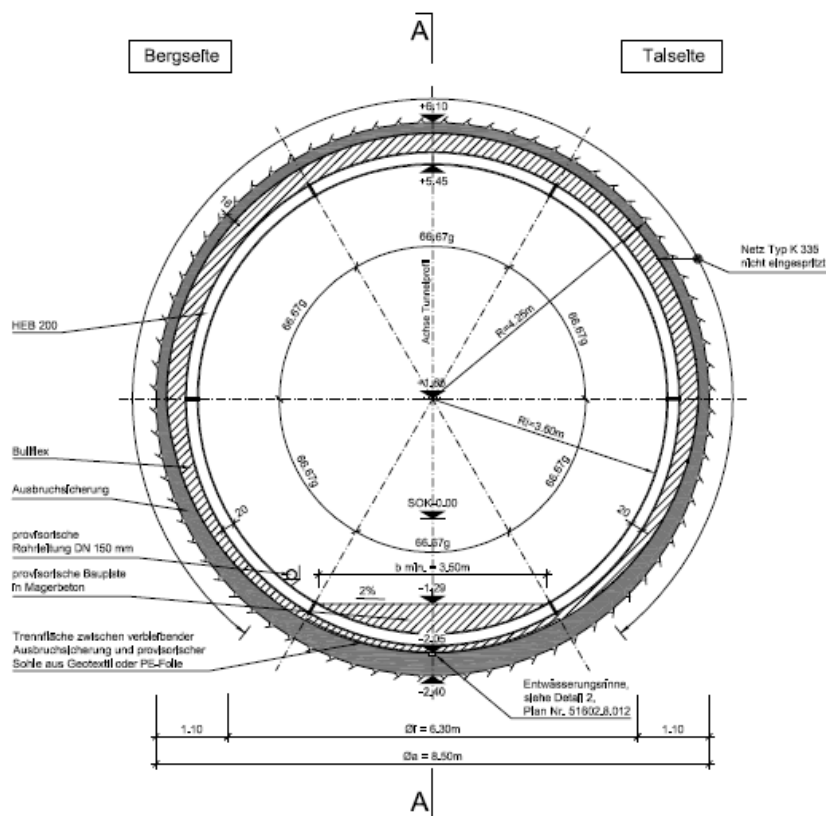
Bild 151



## IN STANDSTELLUNG QUINTNERKALKSTRECKE

Im Querungsbereich der Störzone mit dem Tunnel (Tm 1'960 – 1'980) wurde, nach erfolgtem Abbruch der bestehenden Stahlprofile und dem Abbruch des Gewölbes, eine gleichwertige Sicherung eingebaut. Diese wurde mit Stahlträgern erreicht. Der Kraftschluss zwischen Stahlprofile und Felssicherung wurde mittels Bullflexschläuchen ausgebildet.

Die Vorbereitungsarbeiten konnten Ende April 2008, vor der Schneeschmelze, abgeschlossen werden.



Provisorische Sicherung Bereich Querung Störzone

Bild 152: Übersicht auf die fertig erstellte Profilierung

Bild 153: Übersicht auf den mit Stahlbögen verstärkten Abschnitt

Bild 154: Übersicht des fertigen Profils



Bild 152



Bild 154



Bild 153





**BAUARBEITEN 2008 - 2009**

**ARGE TUNNEL ENGELBERG  
GEBR. BRUN AG, LAZZARINI & CO. AG**

**HAUPTARBEITEN FERTIGSTELLUNG  
(QUINTNERKALKSTRECKE UND INNENAUSBAU)**

## AUSBAU QUINTNERKALKSTRECKE – SOHLGEWÖLBE UND ENTWÄSSE- RUNGSLEITUNGEN

In der rund 360 m langen Quintnerkalkstrecke sieht das Instandstellungsprojekt eine permanente Wasserdruckentlastung vor.

Das Projekt besteht aus folgenden Komponenten:

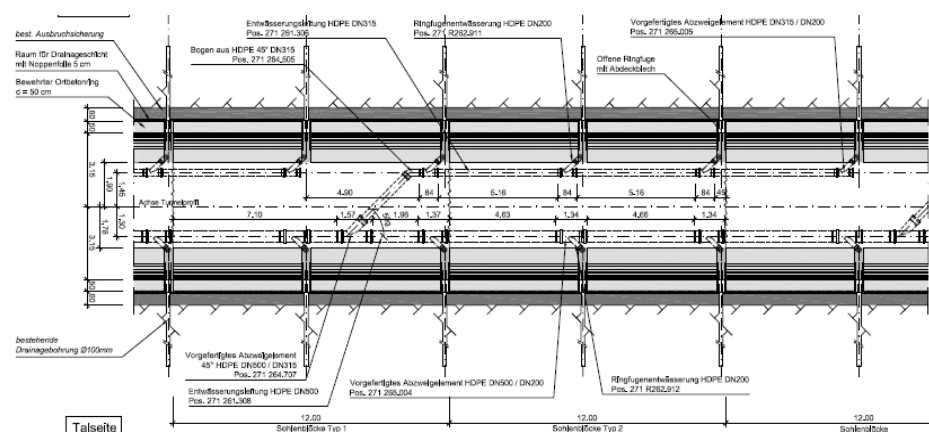
- Armierte, 50 cm bis 70 cm starke Gewölbeblöcke, Länge zwischen 4.0 m und 6.0 m, zur Aufnahme der Restwasserdrücke
- 50 cm breite offene Ringfugen zwischen den Gewölbeblöcken
- Drainagebohrungen innerhalb der offenen Ringfugen
- Rundumlaufender Drainageraum (Noppenfolie) zwischen Ausbruchsicherung und Gewölbeverkleidung.
- Entlastungsleitungen.

Auf der bestehenden Ausbruchsicherung wurden zuerst die Noppenfolien (Typ DELTA-MS 20) verlegt, welche mit einem „Mörtelbett“ von 5 cm Stärke geschützt wurden.

Darauf wurde die Armierung verlegt und die Entwässerungsleitungen, mit den Einläufen der Ringfugen, versetzt.

Das Sohlgewölbe wurde in Blöcken von 10 m bis 12 m Länge, alternierend, über das Portal Nord bzw. Süd, betoniert.

Die Arbeiten erfolgten im Durchlaufbetrieb. Pro AT konnten bis zu 24 m Sohlgewölbe erstellt werden.



Grundriss mit Übersicht Entwässerungsleitungen

Bild 155: Verlegen der Armierung und der Entwässerungsleitungen

Bild 156: Einbringen des Betons mittels Autobetonpumpe

Bild 157: Übersicht der fertig armierten Sohlblöcke



Bild 155



Bild 157



Bild 156

## **AUSBAU QUINTNERKALKSTRECKE – SICHERUNG UND AUSBAU SCHACHT- FUSSKAVERNE**

Das im Werkvertrag vorgesehene Konzept für die Sicherung und den Ausbau der Schachtfusskaverne musste aufgrund der angetroffenen realen Verhältnisse nach dem Sommer 2008 überarbeitet werden.

Die Schachtfusskaverne war zu ca. 90% mit Material verfüllt. Dank einer Erkundungsbohrung konnte festgestellt werden, dass der Vertikalschacht ebenfalls verfüllt war.

Der Zugang war weder in den Schacht noch in die Schachtfusskaverne möglich. Als beste mögliche Lösung, um überhaupt diese Schachtfusskaverne ausbauen zu können, blieb einzig der Abbruch des bestehenden Betonpfropfens übrig. Der bestehende Betonpfropfen wurde mittels Sprengungen abgebrochen.

Bild 158: Abbrucharbeiten (Sprengen) des bestehenden Betonpfropfens

Bild 159: Schutternvorgang während dem Abbruch des bestehenden Betonpfropfens

Bild 160: Durchbruch in die Schachtfusskaverne



Bild 158



Bild 159



Bild 160



## **AUSBAU QUINTNERKALKSTRECKE – SICHERUNG UND AUSBAU SCHACHT- FUSSKAVERNE**

Das Material (Sand bis Blöcke), welches sich in der Schachtfusskaverne angesammelt hatte, wurde entfernt.

Die nächste Herausforderung bestand in der Entleerung des Vertikalschachtes.

Es wurden verschiedene Szenarien für diese Entleerung analysiert, im Hinblick auf den entsprechenden Risiken und Sicherheitsvorkehrungen.

Schlussendlich wurde in der Schachtfusskaverne eine Schutzkonstruktion (Schürze) aus Stahl errichtet, welche den Zweck hatte, das Material mit ausreichender Sicherheit aus dem Schacht zu lösen bzw. zu entfernen.

Trotz mehreren Versuche mittels Erschütterungssprengungen und Ausspülen verblockte sich das Material stetig. Der Versuch, den Schacht zu entleeren, musste aufgegeben werden.

Bild 161: Montage einer Schutzvorrichtung für die Entleerung des Vertikalschachtes

Bild 162: Übersicht in die Schachtfusskaverne während dem Entleerungsversuch des Vertikalschachtes

Bild 163: Schutternvorgang in der Schachtfusskaverne während dem Entleerungsversuch des Vertikalschachtes



Bild 161



Bild 163



Bild 162

## **AUSBAU QUINTNERKALKSTRECKE – SICHERUNG UND AUSBAU SCHACHTFUSSKAVERNE**

Die Schachtfusskaverne und der Vertikalschacht wurden schlussendlich wie folgt gesichert und ausgebaut:

- Betonzapfen im Schachtfussbereich
- Konsolidierung des im Vertikalschacht angesammelten Materials (Injektionen)
- Verschluss der Schachtfusskaverne mit einem Betonzapfen Tunnelseite
- Drainageraum (Rundkies) zwischen Betonzapfen Schachtfuss und Betonzapfen Tunnelseite
- Drainagerohre für das Restwasser.

Die Arbeiten wurden anfangs Dezember 2008 aufgenommen und dauerten bis Ende Januar 2009.

Die unvorhergesehenen zusätzlichen Leistungen, in Vergleich zum Werkvertrag, führten zu Verzögerungen im Bauprogramm des Ausbaus der Quintnerkalkstrecke.

Bild 164: Montage der Schalung für die Verfüllung der Schachtfusskaverne (Betonzapfen im Schachtfussbereich)

Bild 165: Betonpfropfen Tunnelseite mit Entlastungsrohren

Bild 166: Schalung des Betonpfropfens Tunnelseite



Bild 164



Bild 166

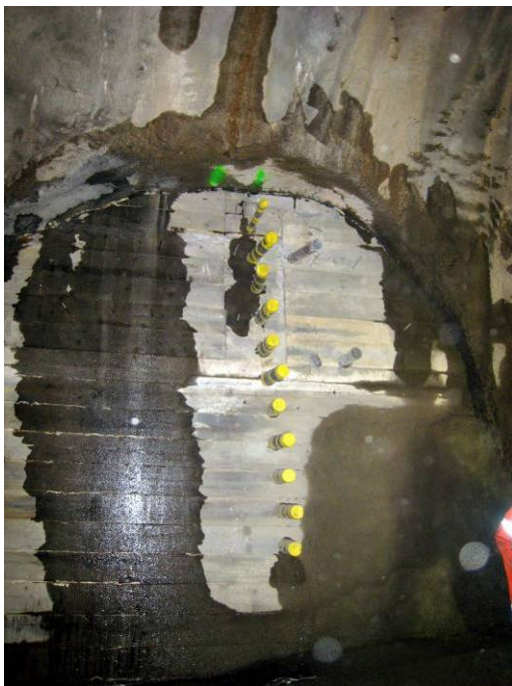
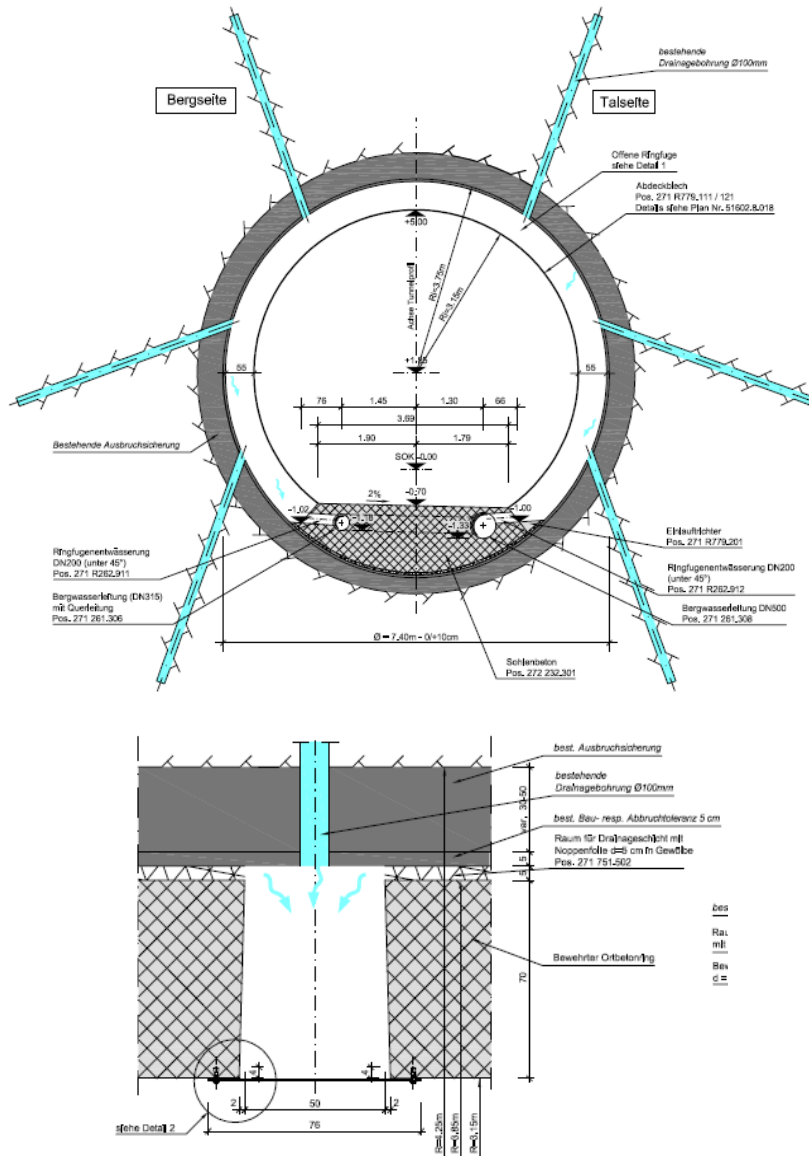


Bild 165

## AUSBAU QUINTNERKALKSTRECKE – BETONGEWÖLBE

Auch im Gewölbe, wie schon in der Sohle, wurde auf dem bestehenden Spritzbetonuntergrund eine Drainageschicht (Noppenfolie Typ DELTA-MS 20) verlegt. Ab Anfangs Januar 2009 folgte parallel dazu der Einbau der Gewölbebewehrung. Diese wurde an vorgängig montierten Gitterträgern aufgehängt.



Detail offene Ringfuge mit Drainageschicht

Bild 167: Verlegen der Drainageschicht (Noppenfolie) auf den Spritzbetonuntergrund

Bild 168: Übersicht Drainageschicht (Noppenfolie)

Bild 169: Verlegen der Gewölbebewehrung und Übersicht auf die Stützkonstruktion (Gitterträger)

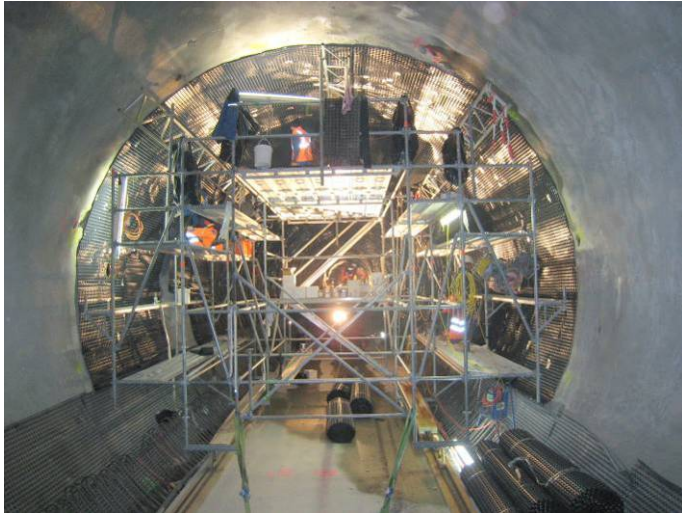


Bild 167



Bild 168



Bild 169

## AUSBAU QUINTNERKALKSTRECKE – BETONGEWÖLBE

Gleichzeitig zur Armierung wurde mit dem Betonieren der 4 m bis 6 m langen Gewölbeblöcke begonnen.

Dank dem Einsatz zweier unabhängigen Schalungen konnte ein Gewölbeblock pro AT fertig erstellt werden. Die Arbeiten erfolgten im Durchlaufbetrieb.

Die Gewölbeblöcke konnten bis Ende März 2009 (vor Beginn der Schneeschmelze) fertig erstellt werden.

Die Ringfugen im Bereich der Drainagebohrungen wurden mit Inox- Stahlblechen abgedeckt.

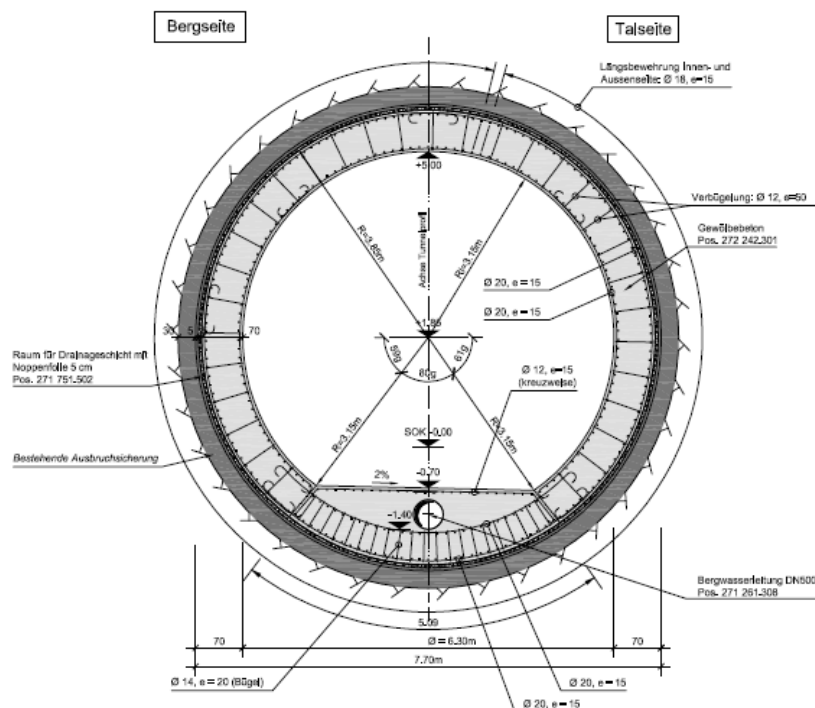


Bild 170: Einbringen des Betons mittels Autobetonpumpe, Übersicht auf Gewölbearmierung und Schalung

Bild 171: Übersicht auf erstellte Gewölbeblöcke

Bild 172: Detail Stahlblechabdeckung



Bild 170



Bild 171

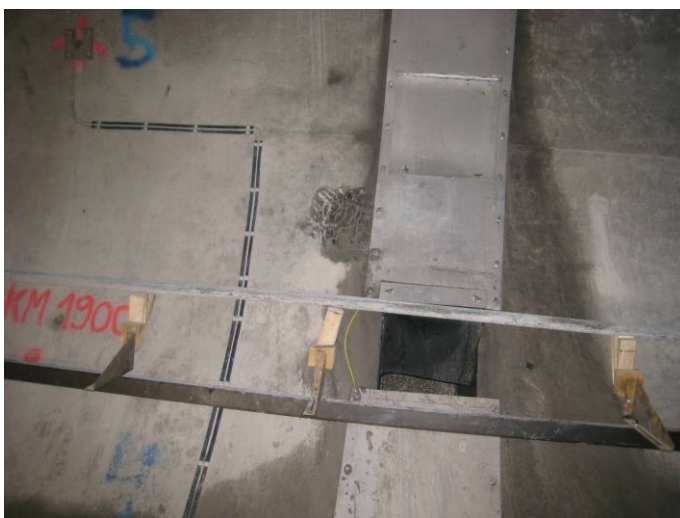


Bild 172



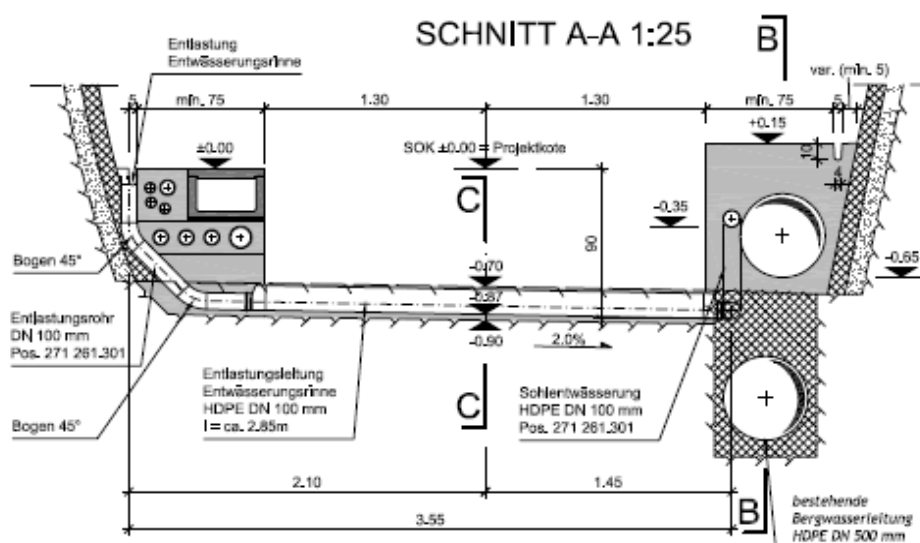
## **INNENAUSBAU UND FERTIGSTELLUNG – BANKETT TALSEITE**

In erster Linie dienen die tal- und bergseitigen Bankette als Gehweg resp. als Fluchtweg im Ereignisfall. Die Normalbreite der Bankette beträgt theoretisch 75 cm. In den geraden Strecken entspricht das OK Bankett der theoretischen Schienenoberkante SOK = 0.00.

Zudem ist das talseitige Bankett Träger der Entwässerungskomponenten:

- Entwässerungsrinne 5 x 10 cm
- Schmutzwasserleitung PE DN 200
- Bergwasserleitung bzw. Mischwasserleitung PE DN 400 / 500
- Kontrollschächte

Das Bankett wie auch die Schächte wurden aus Ortbeton erstellt.



Schnitt tal- und bergseitiges-Bankett

Bild 173: Bankett Tal- und Bergseite

Bild 174: Platzverhältnisse

Bild 175: Kontrollschacht Bergwasserleitung mit Entwässerungsrinne (Quintnerkalkstrecke)

Bild 176: Mischwasserleitung mit Kontrollschacht Bergwasser



Bild 173



Bild 174



Bild 175



Bild 176

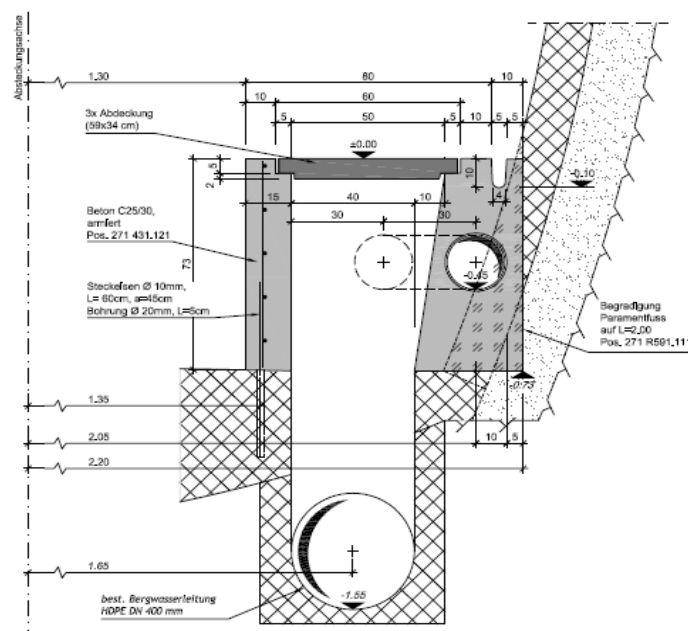
## INNENAUSBAU UND FERTIGSTELLUNG – BANKETT TALSEITE

Die verlegten HDPE Rohre wurden gegen den Auftrieb während dem Betoniervorgang mittels Stahlbänder gesichert.

Für die Schalung kamen Framax –Elemente 2.70 x 0.90 zum Einsatz, welche horizontal am Parament mittels Diwidag -Stangen und Spreizdübel, im Abstand von 2.00 fixiert wurden. Gegen den Auftrieb wurde die Schalung an die Betonsohle mittels Armierungseisen befestigt. Die Schalungen für die Kontrollschächte wurden vorgängig vofabriziert und montiert.

Die Entwässerungsrinne wurde mit 4.00m langen Fertigstahlelemente ausgebildet.

Leistungen: Pro AT wurden ca. 150 m<sup>1</sup> Bankett erstellt (Schalung, Entwässerungsrinne und Beton).



Schnitt Talseitiges-Bankett mit Kontrollschacht und Bergwasserleitung

Bild 177: Verlegte Mischwasserleitung

Bild 178: Entwässerungsrinne 5/10 Bergseite

Bild 179: Betonieren Bankett mit Mischwasserleitung



Bild 177



Bild 179



Bild 178

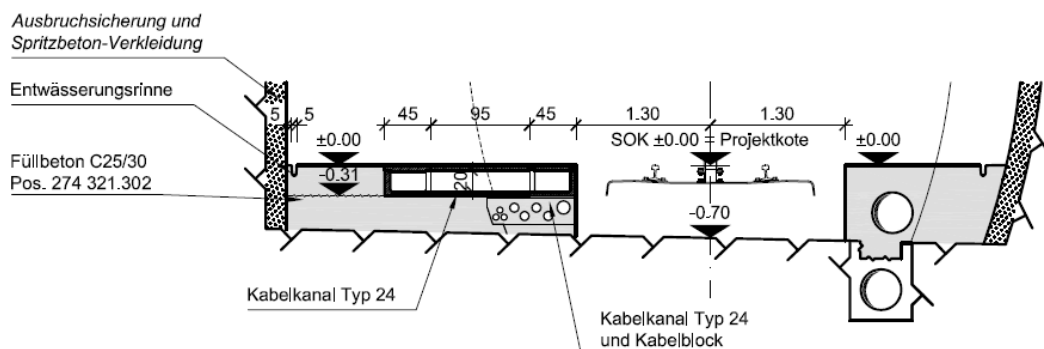
## INNENAUSBAU UND FERTIGSTELLUNG – BANKETT BERGSEITE

Das bergseitige Bankett beinhaltet folgende Bauteile:

- Entwässerungsrinne 5 x 10 cm
- Kabelkanal Typ 24
- Kabelblock mit 5 Kabelschutzrohren (KSR) PELD 80/92 mm
- Kabelbündel Swisscom 3 Kabelschutzrohren PELD 55/60
- Kabelschächte

Im Bereich der Kabelschächte sind sohlenquerende Leerrohre für Erdung, Notbeleuchtung und Sicherungsanlagen verlegt worden.

Das Bankett, wie auch die Schächte, sind aus Ortbeton ausgebildet. Der Kabelkanal wurde als vorgefertigtes Element verlegt. Pro AT wurden bis 300 m Kabelkanal verlegt.



Schnitt Kabelschacht mit Kabelblock

Bild 180: Kabelschutzrohre Bankett Bergseite

Bild 181: Kabelkanal Bergseite

Bild 182: Einführung Kabelschutzrohre in Kabelschacht



Bild 180



Bild 181



Bild 182

## INNENAUSBAU UND FERTIGSTELLUNG – BANKETT BERGSEITE

Das bergseitige Bankett wurde in 3.Etappen erstellt:

Als erstes wurden die Kabelschutzrohre mit Eisendübel an der Sohle befestigt.

Die Befestigung der 35 cm hohe Schalung erfolgte mittels Stahlwinkel.

Die Entwässerungsrinne wurde mit 4.00m langen Fertigstahlelemente ausgebildet.

Der Kabelkanal wurde vorgängig auf dem talseitigen Bankett verteilt und anschliessend mittels Kleinbagger auf einer Mörtelschicht versetzt.

Für die Zulieferung des bergseitigen Banketts konnten nur LKW mit einer max. Breite von 2.30 m zum Einsatz kommen.

Abstand zwischen den Banketten : 2.60 m.

Eingebrachter Beton pro Betonetape: ca. 100 m<sup>3</sup>.

Die Kalibrierung der KSR erfolgte von Süden nach Norden.

Pro Arbeitstag wurden 7'000 m Rohre kalibriert.

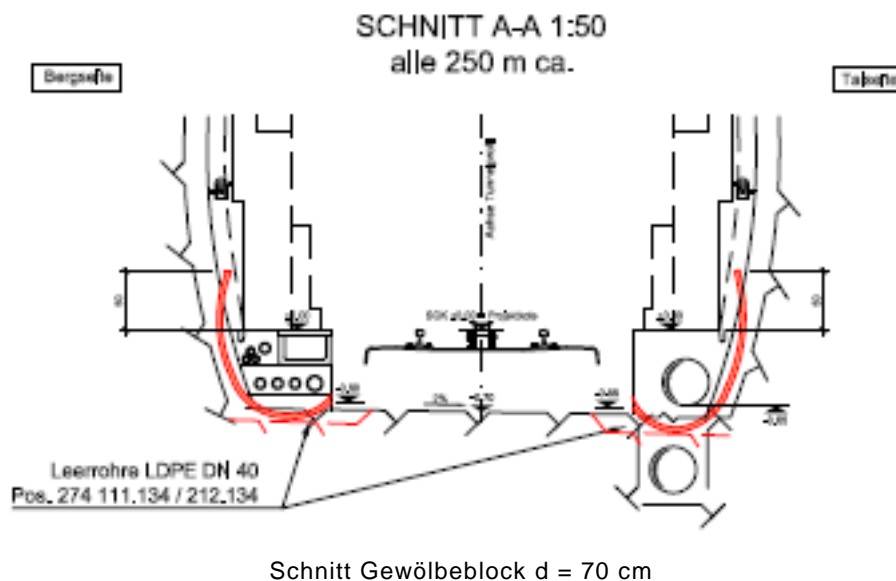


Bild 183: Kabelschutzrohre für die Bahnstromversorgung im EWN/EWL Stollen.

Bild 184: Schalung Bankett Bergseite 1.Etappe

Bild 185: Versetzen der Kabelkanäle mit Bagger



Bild 183



Bild 184



Bild 185



## **INNENAUSBAU UND FERTIGSTELLUNG – AUSSENANLAGEN SÜD / NORD**

Im Rahmen der Arbeiten bei den Anschlüssen in den Bereichen der Portale Nord und Süd wurde folgendes erstellt:

- Gleistrasse zwischen dem Anschluss des bestehenden Geleise und des Tagbautunnels.
- Entwässerungsanlagen des Trasses.
- Kabelblöcke und Kabelkanäle mit entsprechenden Schächten.
- Fahrleitungs- und Ankerfundamente.

Bild 186: Trasse Süd mit Zugschacht und Kabelschacht

Bild 187: Trasse Süd mit Kabelkanal und Apparateraum

Bild 188: Aushubarbeiten Trasse Süd



Bild 186



Bild 187



Bild 188

## **INNENAUSBAU UND FERTIGSTELLUNG – AUSSENANLAGEN SÜD / NORD**

Die Arbeiten für der Anschluss Süd konnten ohne nennenswerte Behinderungen ausgeführt werden, da genügend Platz für die Aufrechterhaltung des Tunnelverkehrs vorhanden war.

Im Anschluss Nord musste dagegen der Unternehmung mit grösseren Behinderungen zu Recht kommen (enge Platzverhältnisse).

Bild 189: Kabelkanal mit Kabelschacht und Fundamente Schaltposten

Bild 190: Detail der provisorischen Überfahrt des Kabelkanals

Bild 191: Schalung Fundament Schaltposten



Bild 189



Bild 190



Bild 191

## INNENAUSBAU UND FERTIGSTELLUNG – APPARATENGEBÄUDE NORD

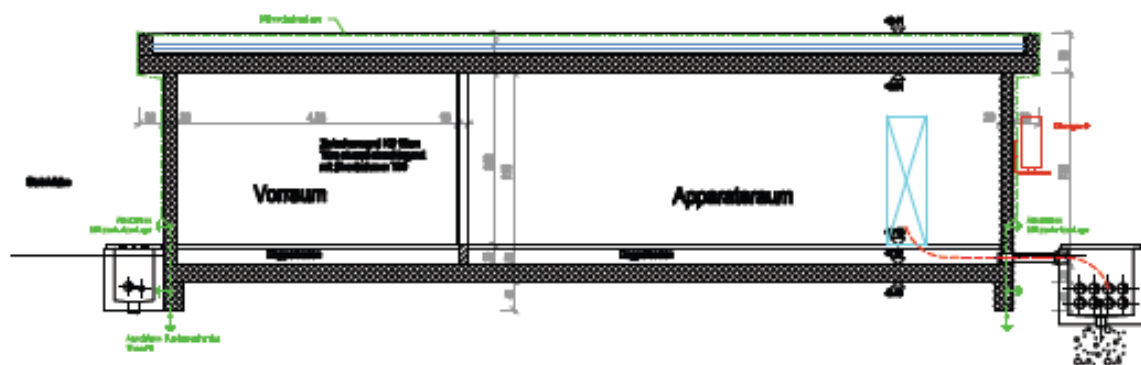
Die Arbeiten des Apparategebäudes wurden durch die Bauunternehmung Implenia AG ausgeführt.

Grösse des Gebäudes: 13.30 m x 6.50 m

Das Apparategebäude Nord „Mettlen“ wurde in Ortbeton ausgeführt.

Das Flachdach wurde begrünt. Die Kabeleinführungen sind in einem Zwischenboden untergebracht.

In diesem Gebäude sind die Steuerapparate für den Tunnelbetrieb vorgesehen.



Längsschnitt Apparaturenbäude

Bild 192: Hangsicherung mit Sickerbeton

Bild 193: Betonierete Bodenplatte

Bild 194: Apparategebäude mit Natursteinmauer



Bild 192



Bild 193



Bild 194

## INNENAUSBAU UND FERTIGSTELLUNG – APPARATENGEBÄUDE SÜD

Die Arbeiten des Apparategebäudes wurden durch die Bauunternehmung Riva AG ausgeführt.

Grösse des Gebäudes: 13.30 m x 6.50 m

Das Apparategebäude Süd „Boden“ wurde in Ortbeton ausgeführt.

Die Dacheindeckung des Satteldaches ist mit Natursteinplatten ausgeführt.

Die Kabeleinführungen sind in einem Zwischenboden untergebracht.

In diesem Gebäude sind die Steuerapparate für den Tunnelbetrieb vorgesehen.

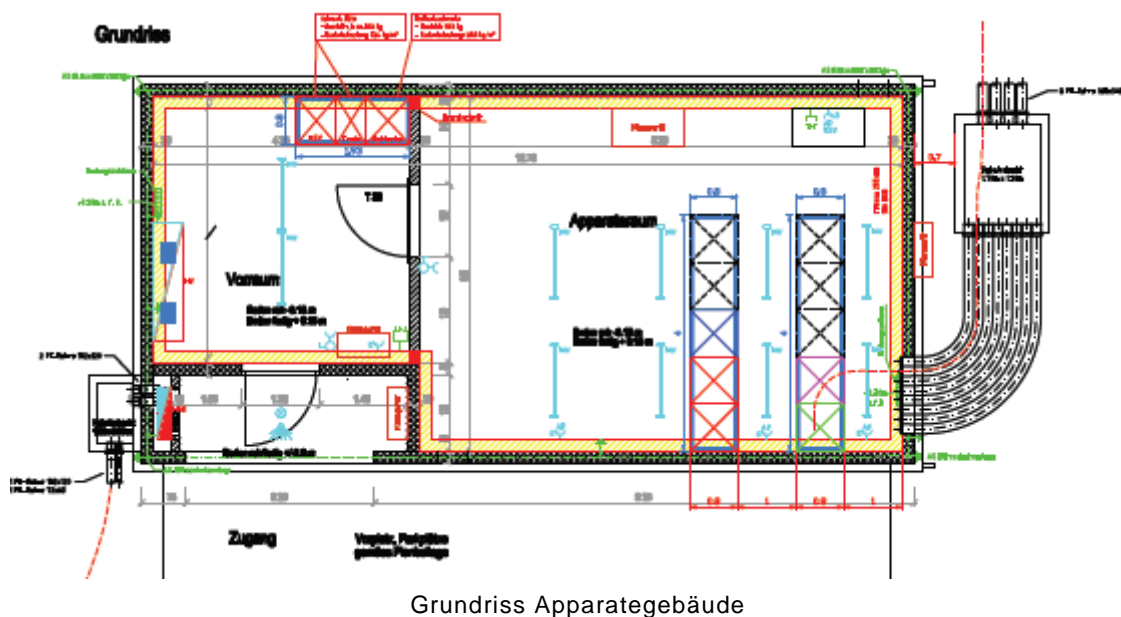


Bild 195: Dacheindeckung mit Naturschiefer

Bild 196: Detail Kastenrinne

Bild 197: Verstärkungen für Doppelboden



Bild 195



Bild 196



Bild 197