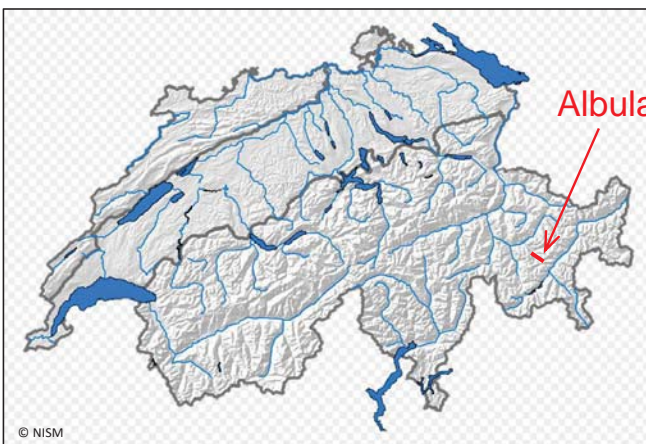


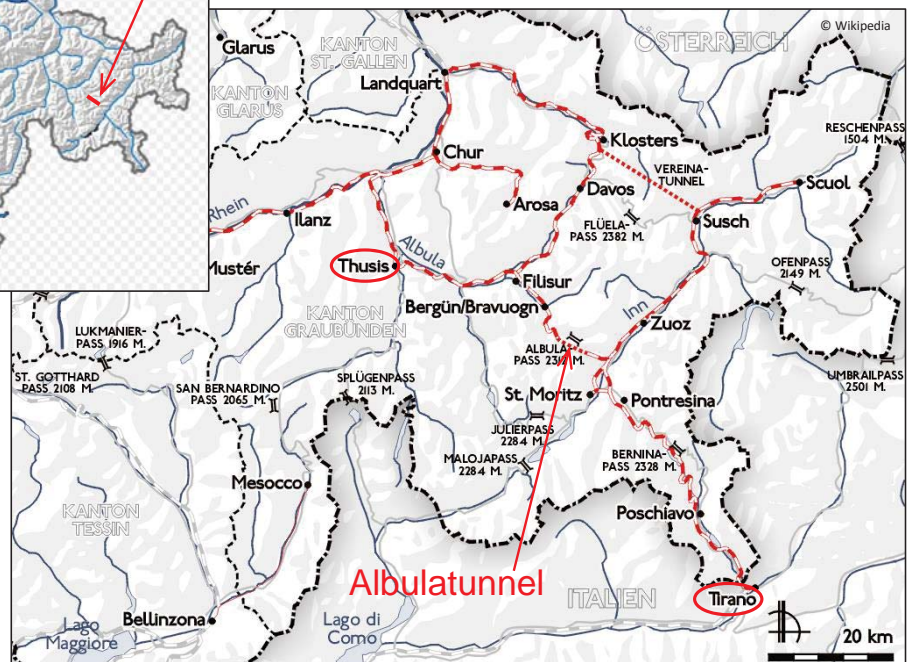
ETH Zürich, Professur für Untertagbau,  
Kolloquium, Dezember 2015: Bauhilfsmassnahmen im Tunnelbau

N. Lavdas, MSc ETH Bauingenieur  
A. Schneider, Dr. sc. techn., Dipl. Bauingenieur ETH/SIA

IG PV Alvra, c/o Rothpletz, Lienhard + Cie AG



## RhB: Verbindung für die Täler Graubündens



UNESCO:  
Rhätische Bahn  
in der Landschaft  
Albula / Bernina



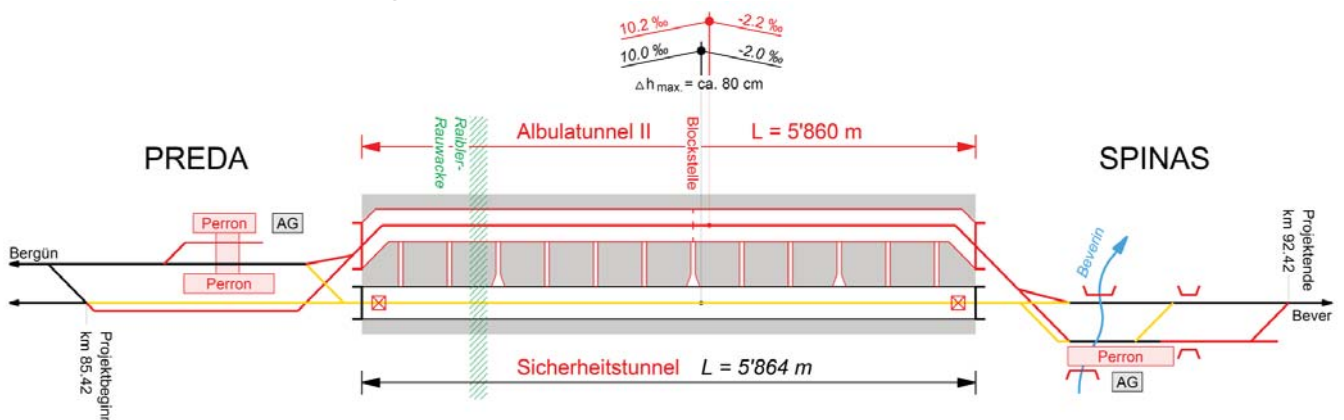
## Albulatunnel I

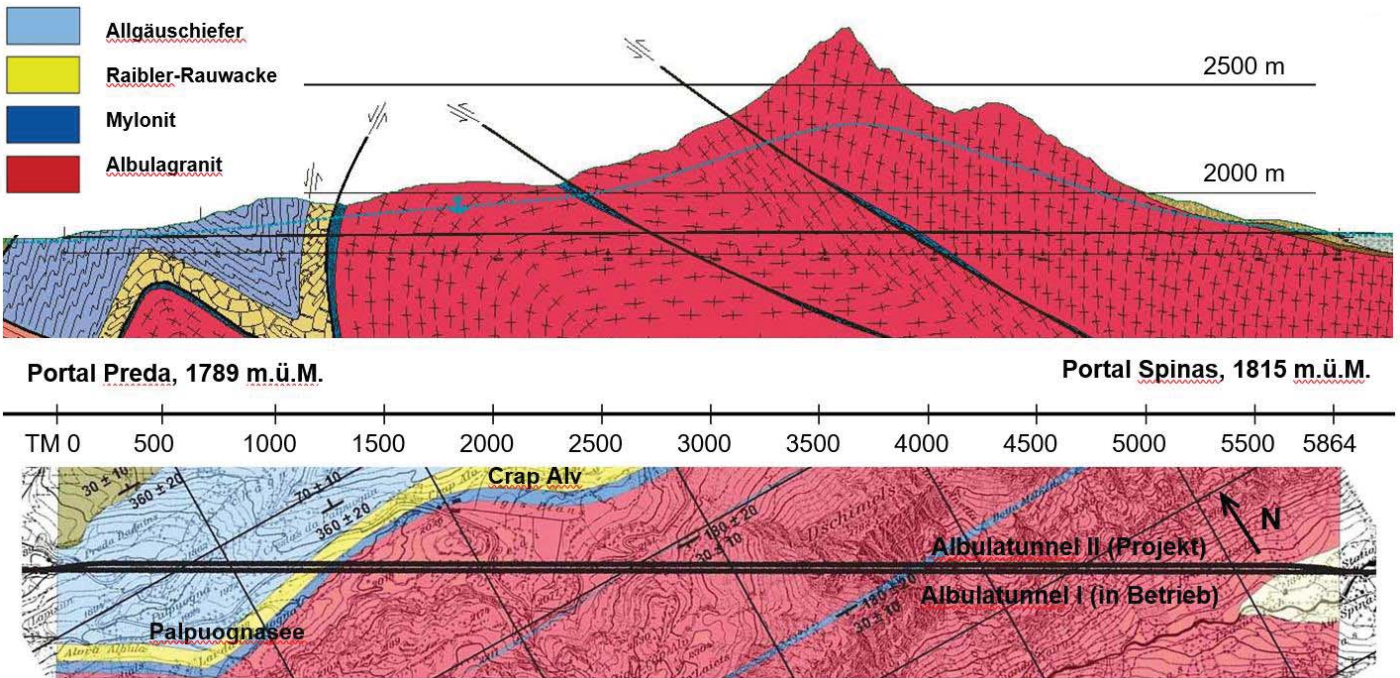
- In Betrieb seit: 1903
- Länge: 5864 m
- Portale unter Denkmalschutz



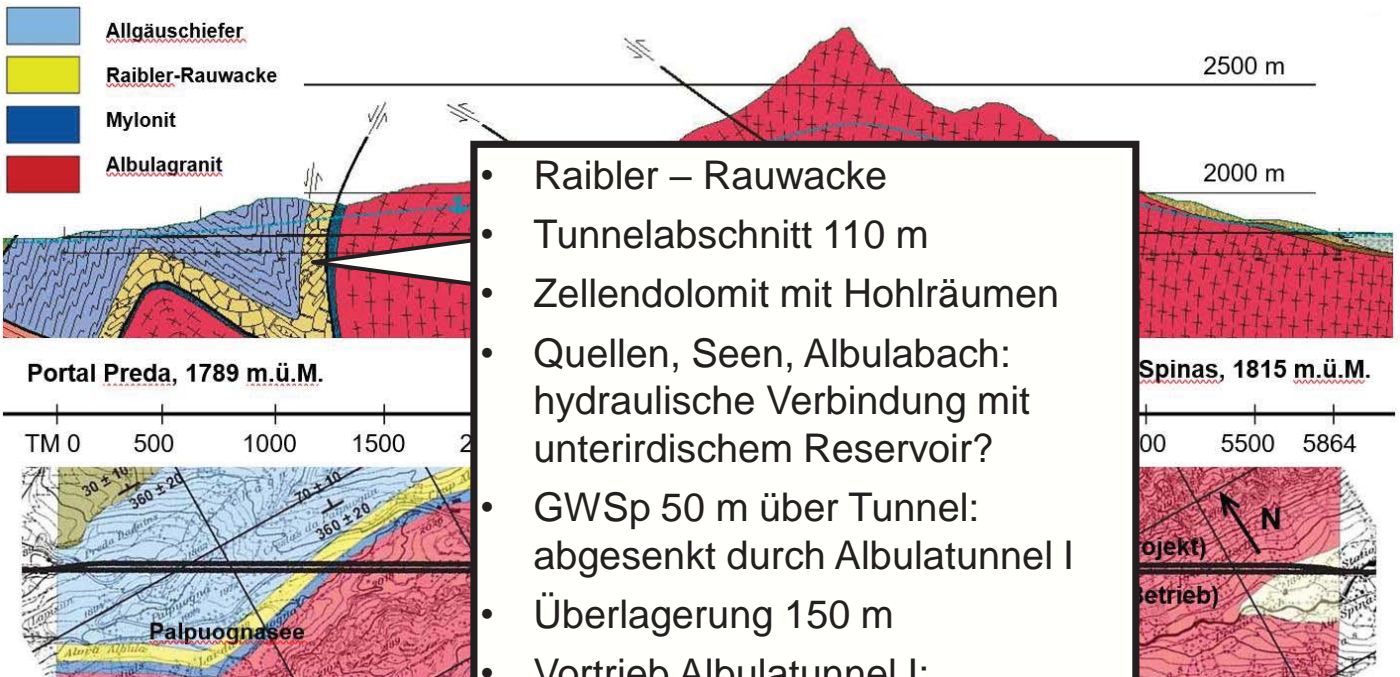
## Albulatunnel II

- Tunnellänge: 5'860 m
- parallel zum Albulatunnel I
- Achsenabstand: 30 m
- Albulatunnel I wird als Sicherheitstunnel genutzt
- 12 Querverbindungen in Abständen von ca. 450 m



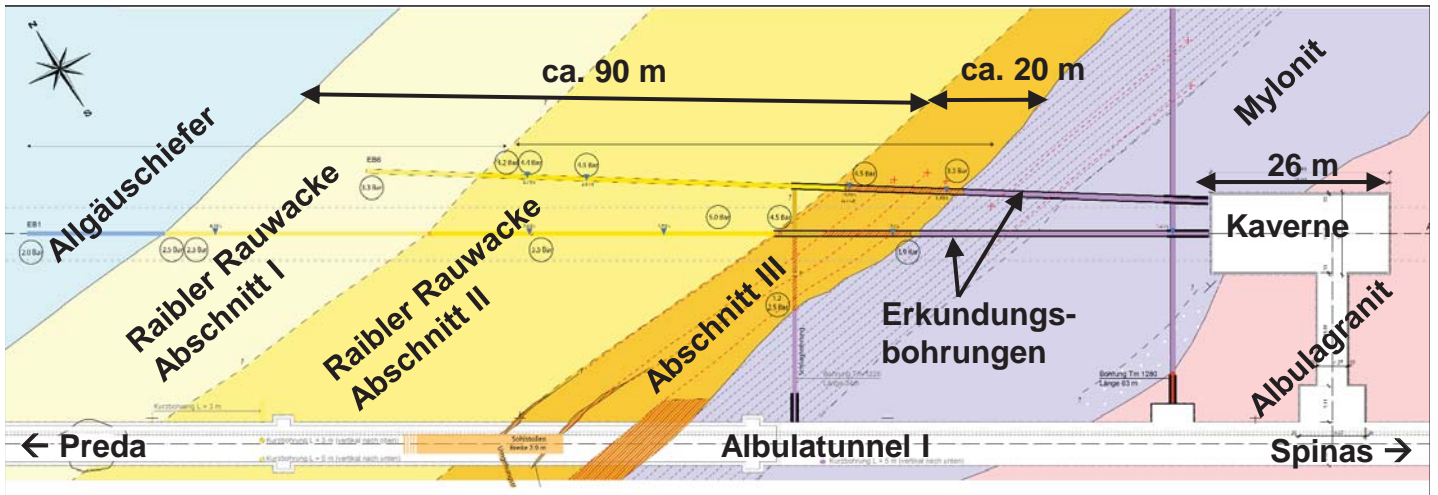


\* Geologische Schnitte gemäss "Sieber Cassina + Handke AG"

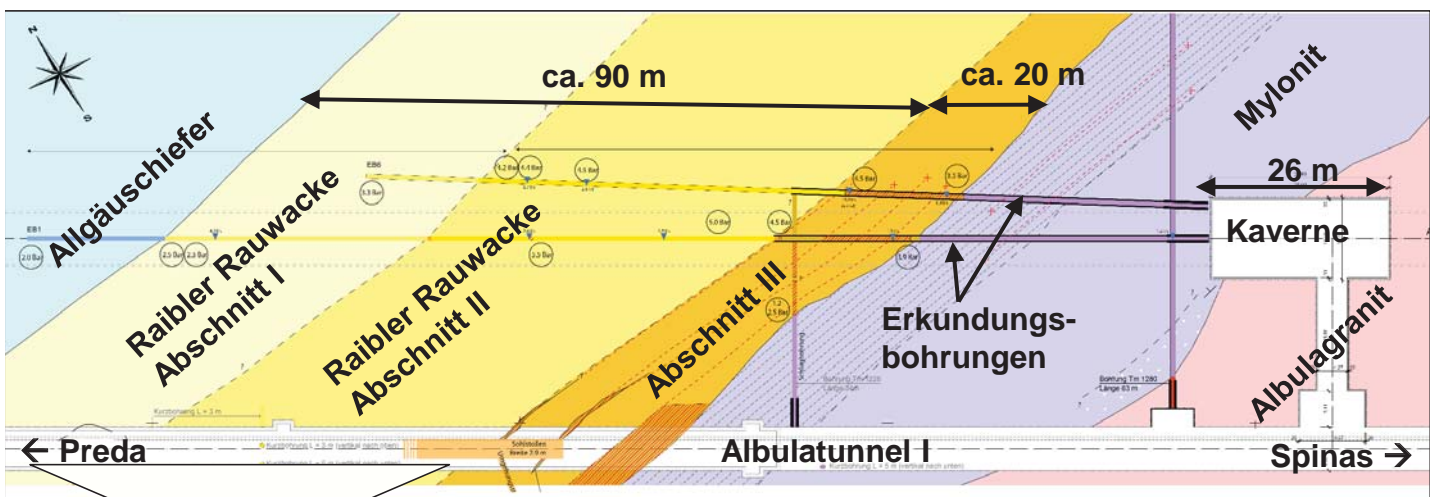


- Raibler – Rauwacke
- Tunnelabschnitt 110 m
- Zellendolomit mit Hohlräumen
- Quellen, Seen, Albulabach: hydraulische Verbindung mit unterirdischem Reservoir?
- GWSp 50 m über Tunnel: abgesenkt durch Albulatunnel I
- Überlagerung 150 m
- Vortrieb Albulatunnel I: letzte 15-20 m „schwimmendes Gebirge“

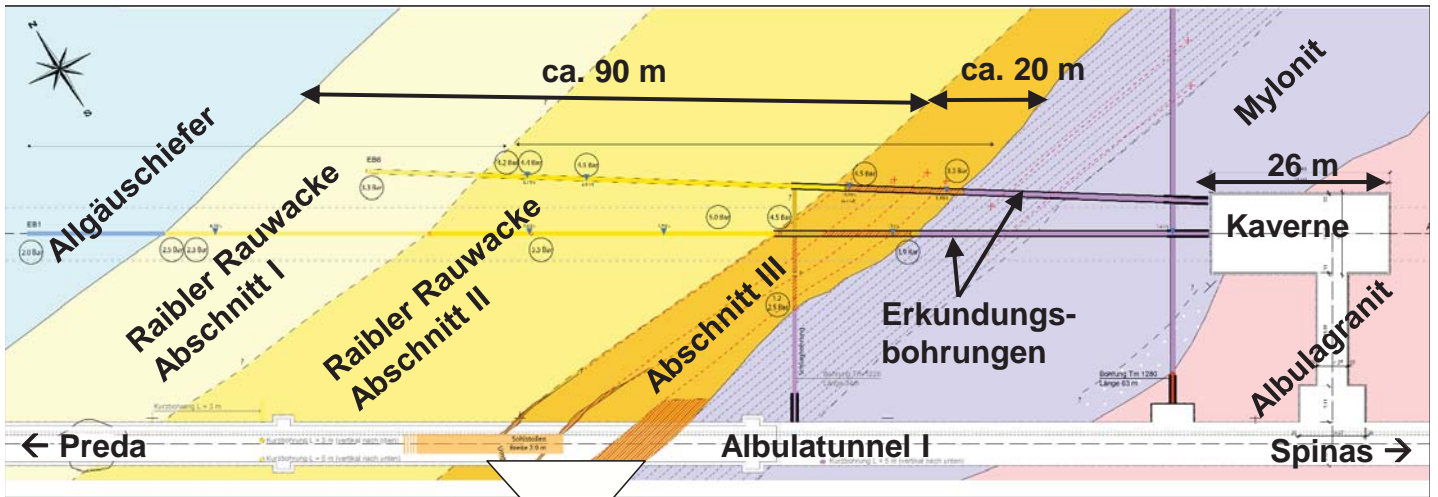
\* Geologische Schnitte gemäss "Sieber Cassina + Handke AG"



Erkundungsbohrungen (2013)



Abschnitte I und II:  
 Fels mit Hohlräumen



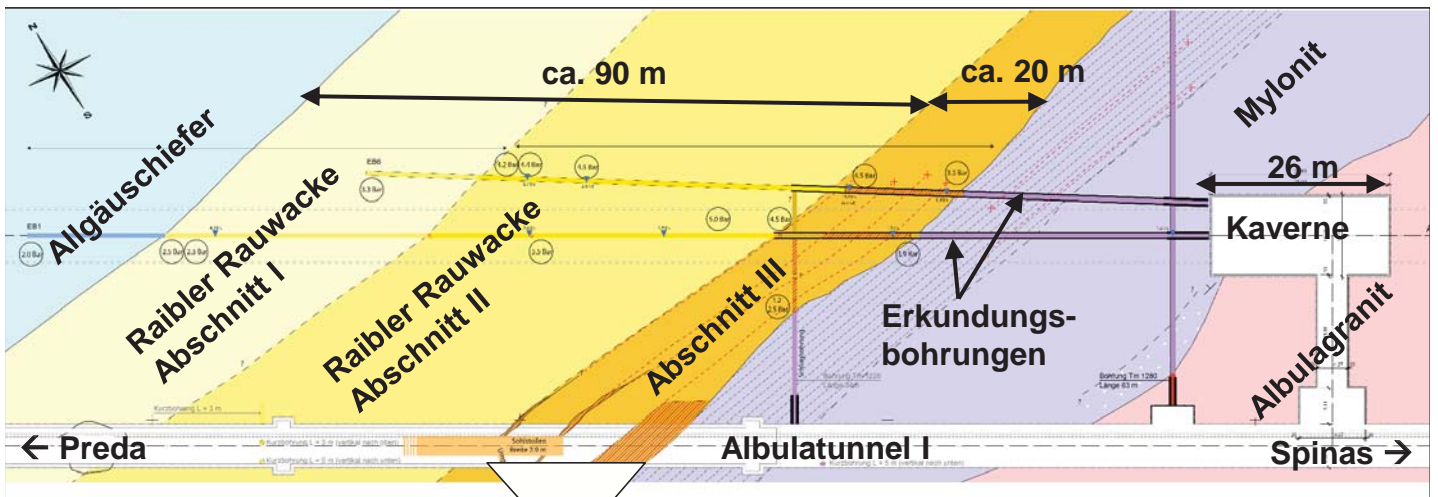
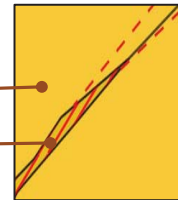
Abschnitt III (ca. 20 m):

Siltiger Feinsand (Siltanteil 40%)

Durchlässige Bereiche

Wasserdruck 5 bar

Überlagerung 150 m

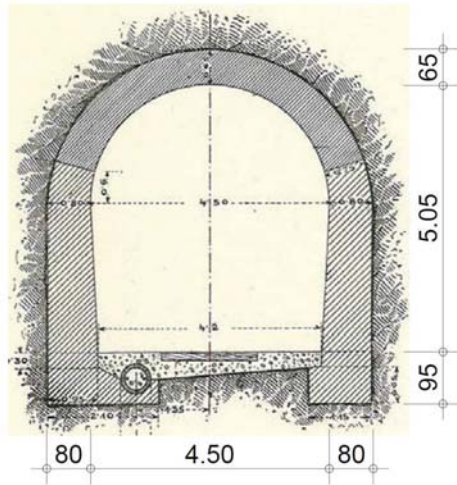


Abschnitt III (ca. 20 m):

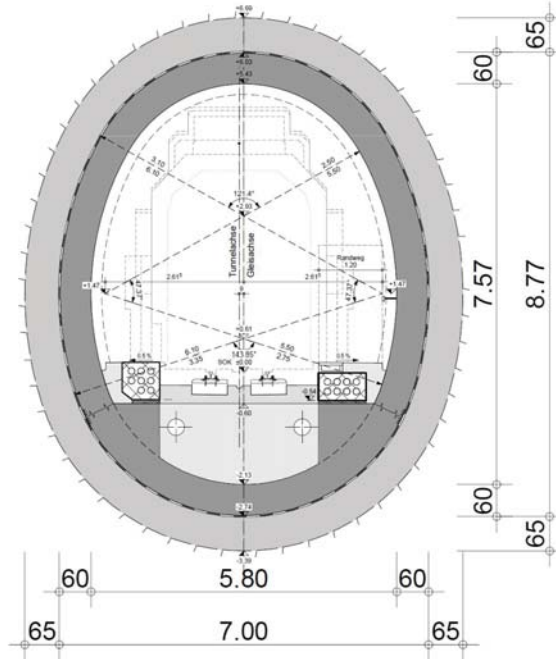
Vortrieb Albulatunnel I (1900-1901):

„schwimmendes Gebirge“

## Normalprofile Raibler - Rauwacke



**Albulatunnel I**  
 drainierend



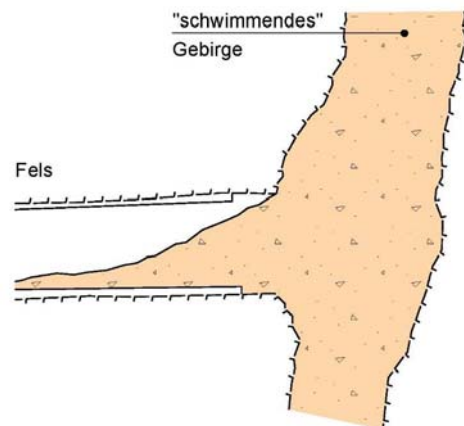
**Albulatunnel II**  
 Vollabdichtung

## Unerwünschte Ereignisse

### 1. „Schwimmendes Gebirge“



\* Archivbild ETHZ



# Unerwünschte Ereignisse

## 2. „Beeinträchtigung Oberflächengewässer“



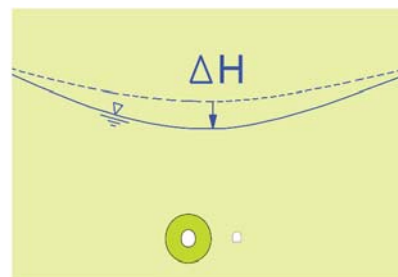
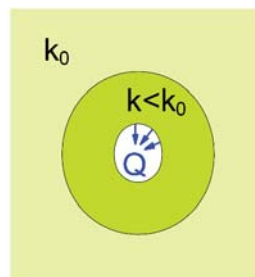
Palpuognasee

Albulabach und Quellen

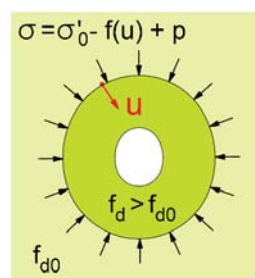


## Massnahme: „Dichtkörper“

- Reduktion der Durchlässigkeit



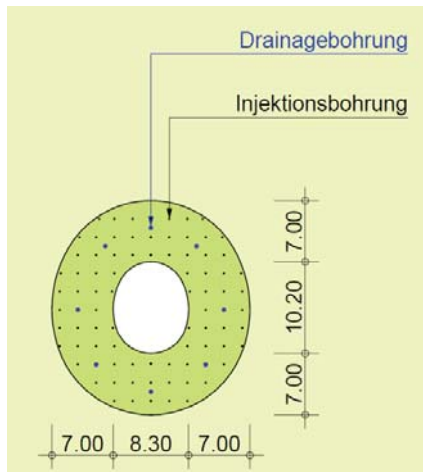
- Erhöhung der Festigkeit



## Dichtkörper: geprüfte Konzepte

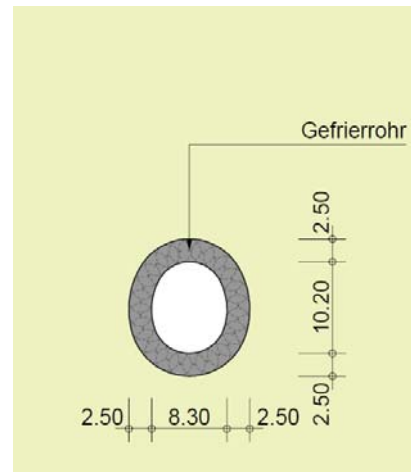
### Injektionskörper + Drainagebohrungen

- Reduktion der Durchlässigkeit
- Erhöhung der Festigkeit
- Abbau Strömungskräfte im Körper



### Gefrierkörper

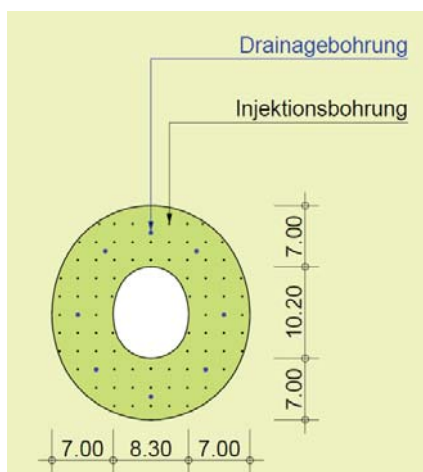
- Abdichtung
- Erhöhung der Festigkeit



## Dichtkörper: geprüfte Konzepte

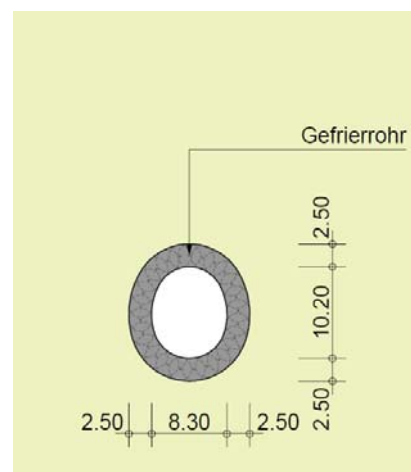
### Injektionskörper + Drainagebohrungen

- Reduktion der Durchlässigkeit
- Erhöhung der Festigkeit
- Abbau Strömungskräfte im Körper
- Matrix nicht injizierbar!



### Gefrierkörper

- Abdichtung
- Erhöhung der Festigkeit

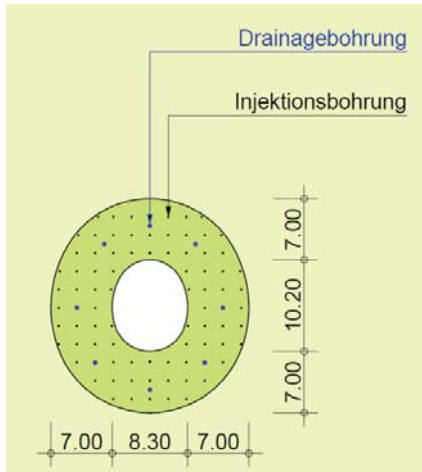




## Dichtkörper: geprüfte Konzepte

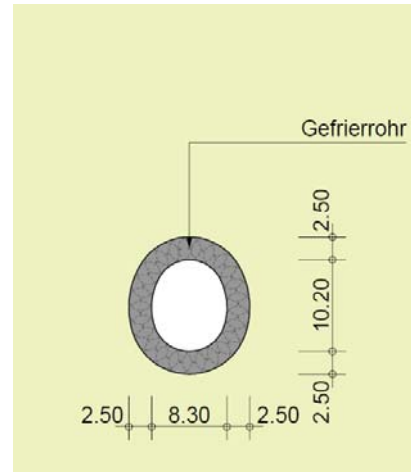
### Injektionskörper + Drainagebohrungen

- Reduktion der Durchlässigkeit
- Erhöhung der Festigkeit
- Abbau Strömungskräfte im Körper
- **Matrix nicht injizierbar!**

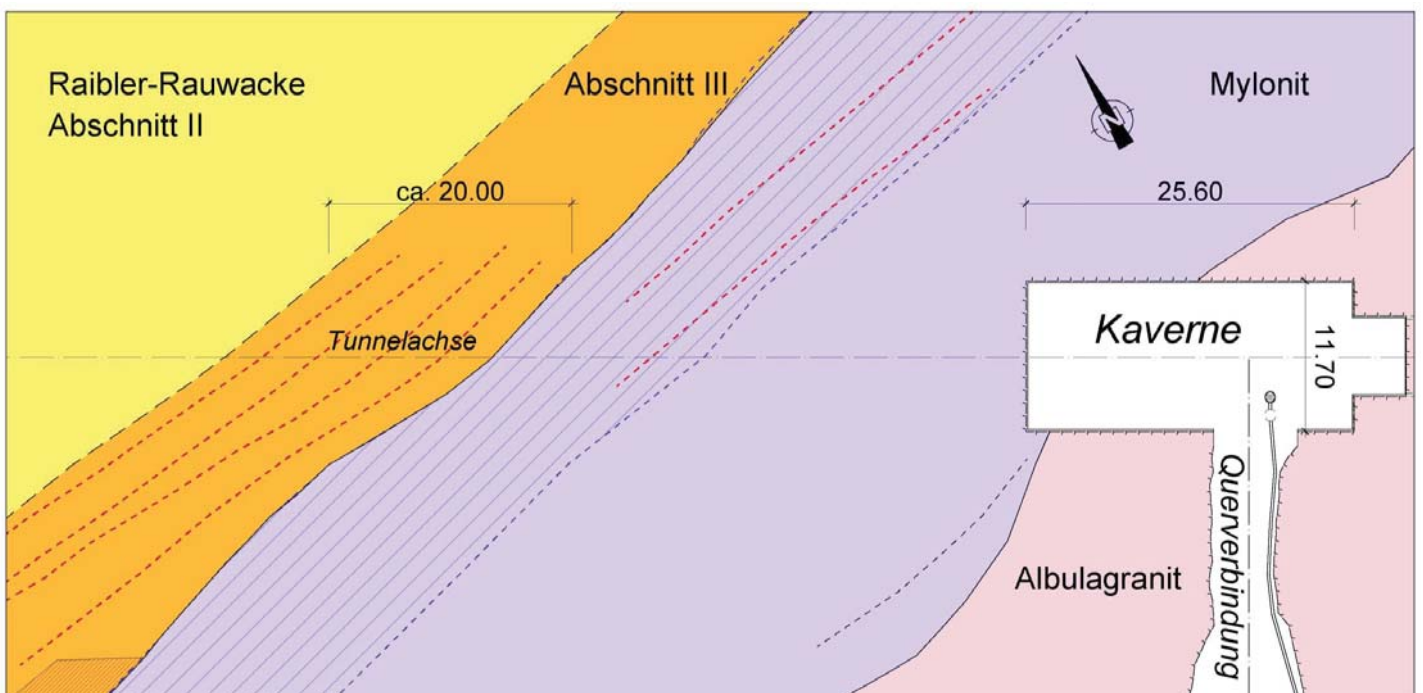


### Gefrierkörper

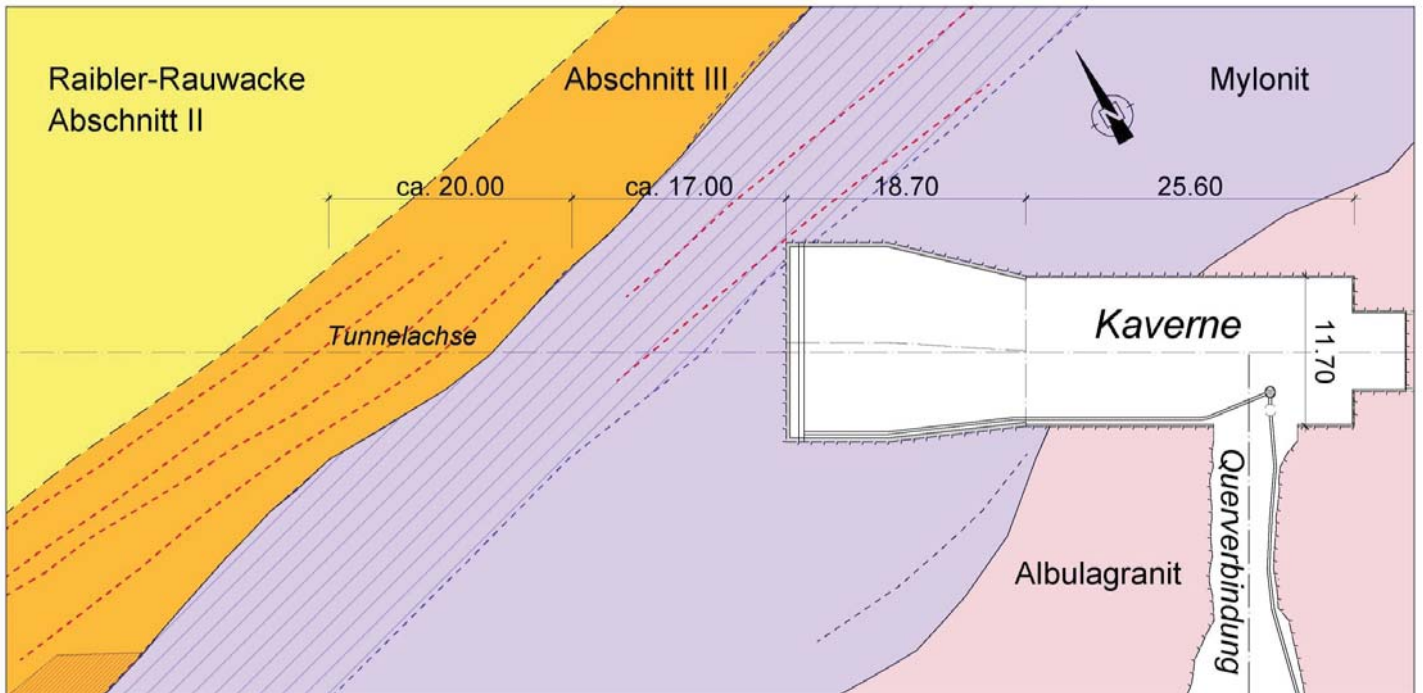
- Abdichtung
- Erhöhung der Festigkeit



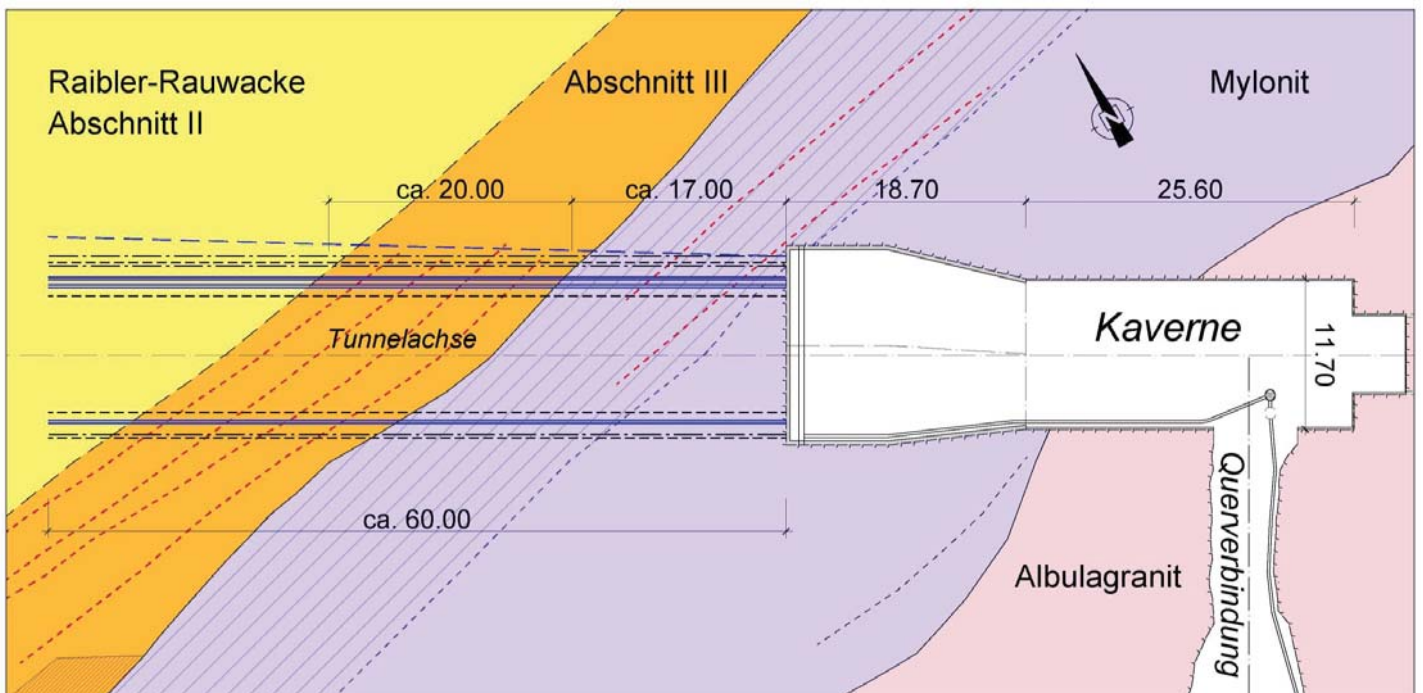
## Konzept Gefrieren



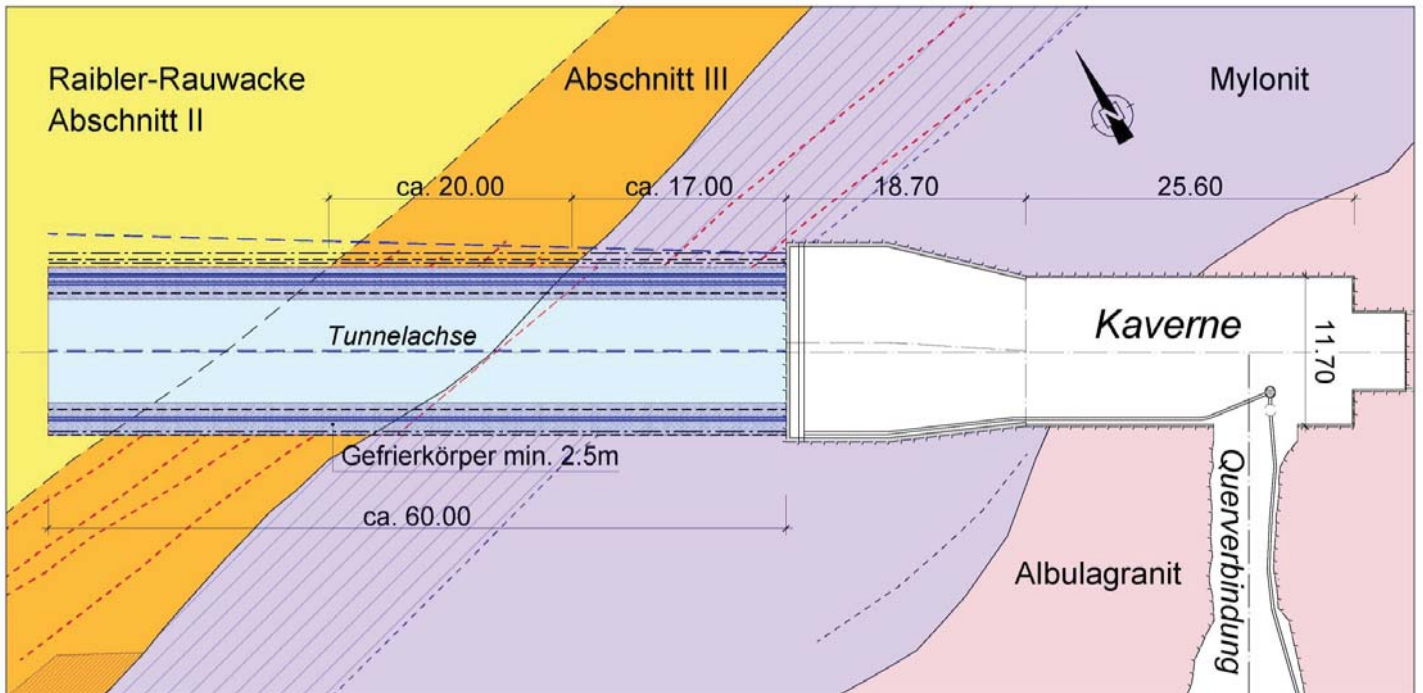
## Konzept Gefrieren



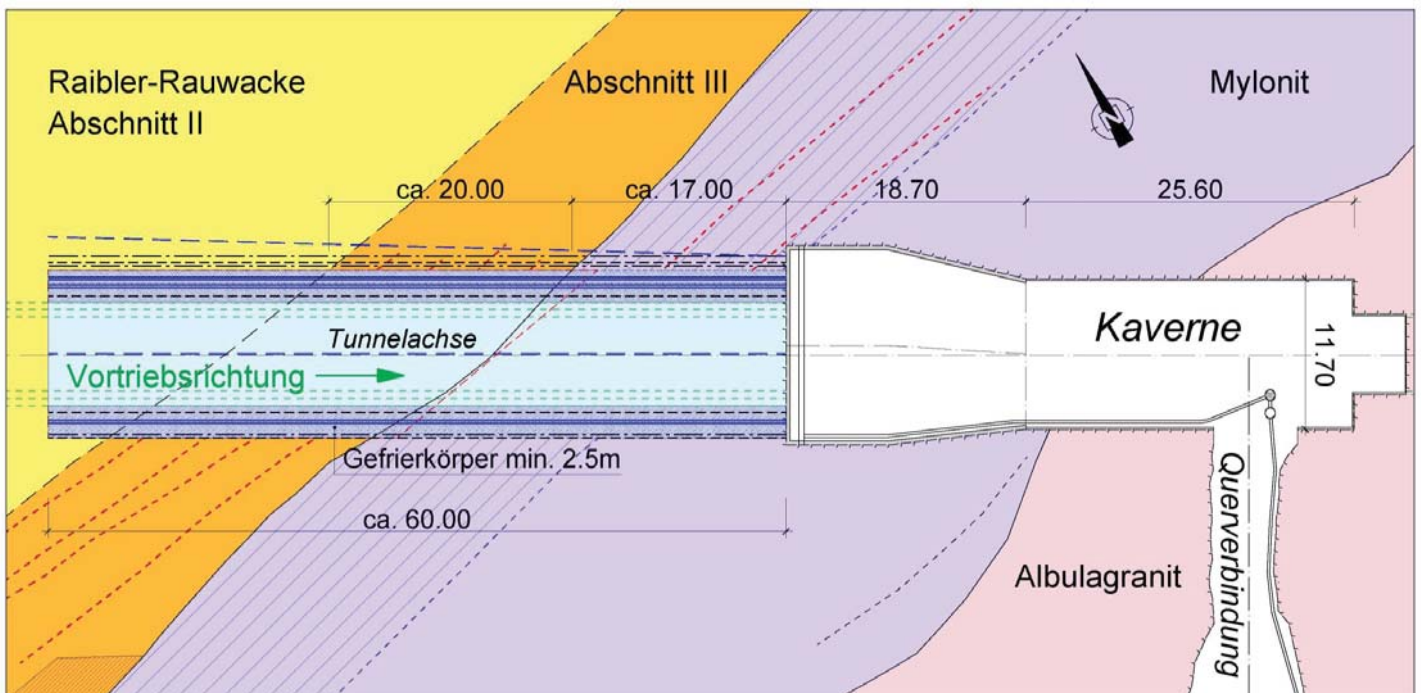
## Konzept Gefrieren



## Konzept Gefrieren



## Konzept Gefrieren

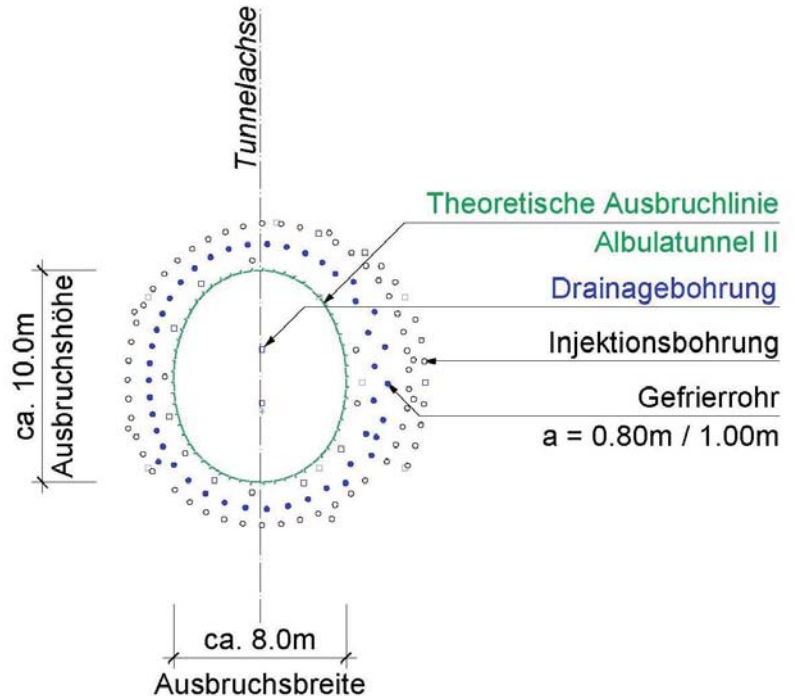


## Unerwünschtes Ereignis:

Kein „Schliessen“ des Gefrierkörpers infolge hoher Strömung

## Massnahmen:

- dichter Raster Gefrierbohrungen
- Injektionen zur Reduktion der Durchlässigkeit



## Ziel

Stärke Eisgewölbe nach Ausbruch  $\geq 2.5$  m

## Überwachung

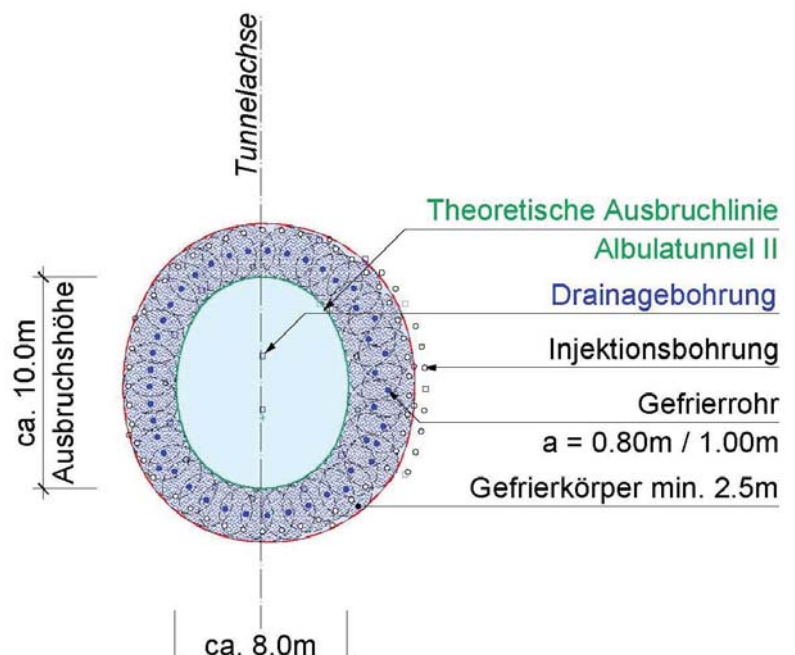
Wasserzufluss im Kern

Temperatursonden in Bohrungen

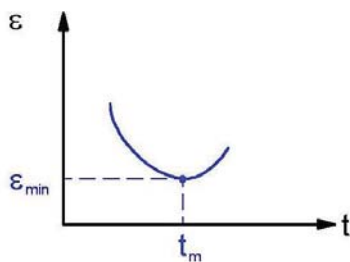
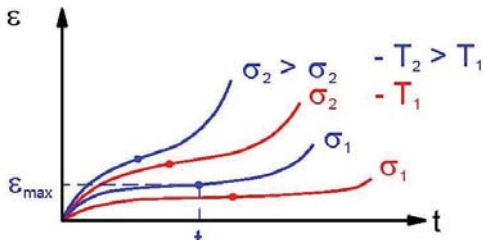
Verformungsmessungen in Bohrungen während Vortrieb

## Aufgefrierphase

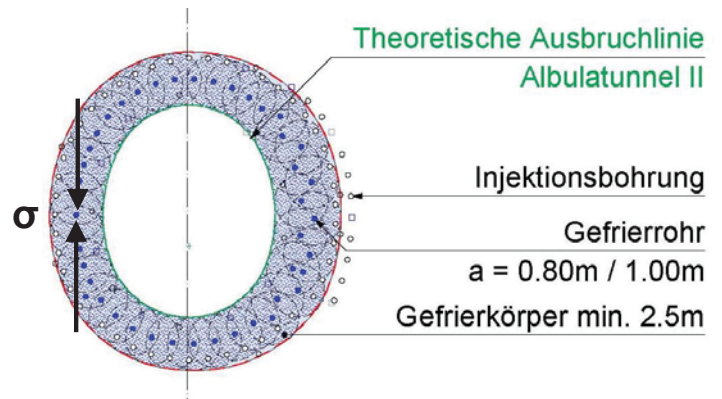
2 Monate +Reserven



## Kriechverhalten Gefrierkörper



$\sigma$ : max. Hauptspannung  
= Tangentialspannung



Ergebnis: Spritzbetonschale tragfähig  
 $t_m = 7$  Tage nach Ausbruch an einer Stelle

## Bohrtechnik, Anforderungen:

### Sicherheit

- Fluchtweg durch Albulatunnel I (in Betrieb!)
- Rettungscontainer vorhanden

### Keine Beeinträchtigung des Bahnbetriebs

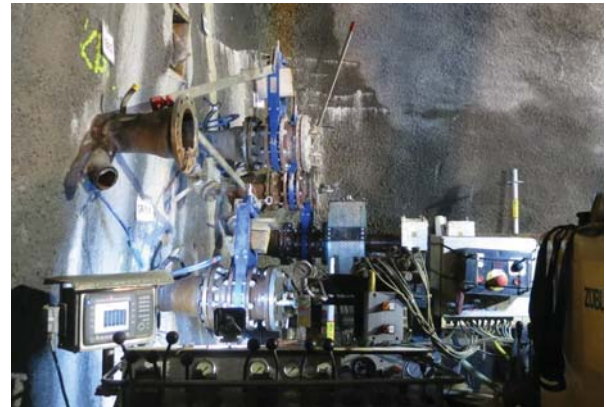
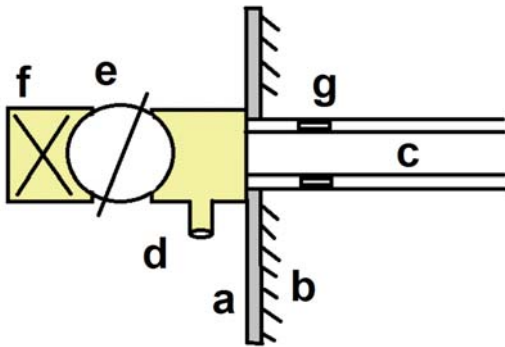
- Schlamm eintrag minimieren bzw. kein Schlamm einbruch im Albulatunnel I
- Geschlossenes Bohrsystem: verrohrt und preventergeschützt

### Bohrgenauigkeit

- Abstände Gefrierrohre sind massgebend für das Schliessen des Gefrierkörpers
- Abweichung max. 50 cm nach  $L=60$  m, gesteuerte Bohrungen

## Bohrtechnik (1)

- Vorbohrung durch Spritzbeton (a) und Fels (b), Einbau Standrohr (c)
- Injektion Ringraum
- Montage T-Stück (d), Schieber (e), Preventer (f)



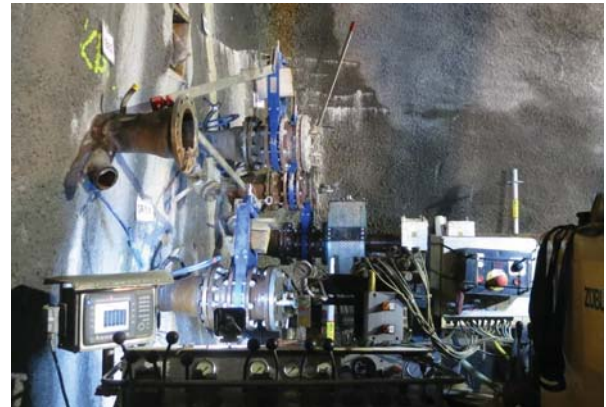
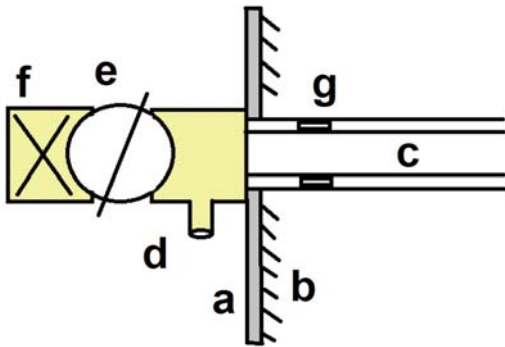
## Bohrtechnik (2)

- Bohren mit Verrohrung bis Endteufe mit verlorener Krone im Schutz des Preventers
- Einbau Manschetten- bzw. Gefrier- oder Drainagerohr und Ausklinken / Abstoßen der Krone



## Bohrtechnik (3)

- Rückzug der Verrohrung und Injizieren des Ringraums zwischen Manschettenrohr und Gebirge
- Verspannung des Ringraumpackers (g) zwischen Standrohr und Manschettenrohr
- Abbau T-Stück (d), Schieber (e) und Preventer (f)



## Fazit



## Projektbeteiligte

|                           |   |
|---------------------------|---|
| Bauherrschaft:            | Rhätische Bahn AG   |
| Gesamtprojektleitung:     | Amberg Engineering AG   |
| Ingenieurgemeinschaft:    | Rothpletz, Lienhard +Cie AG<br>Gähler und Partner AG<br>Straub AG |
| Geologie                  | Sieber Cassina + Handke AG  |
| Spezialist Gefrieren:     | Dr.-Ing. Orth GmbH  |
| Bauleitung Gefrierkörper: | Lombardi AG<br>Sieber Cassina + Handke AG                         |
| Unternehmer Gefrierkörper | Züblin Spezialtiefbau Ges.m.b.H.                                  |