



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
**Generalsekretariat**

# Belchentunnel

**Flavio Chiaverio**  
**Aegerter & Bosshardt AG**

Kolloquium  
Tunnel in anhydritführendem Gebirge  
ETH Zürich 3. April 2014



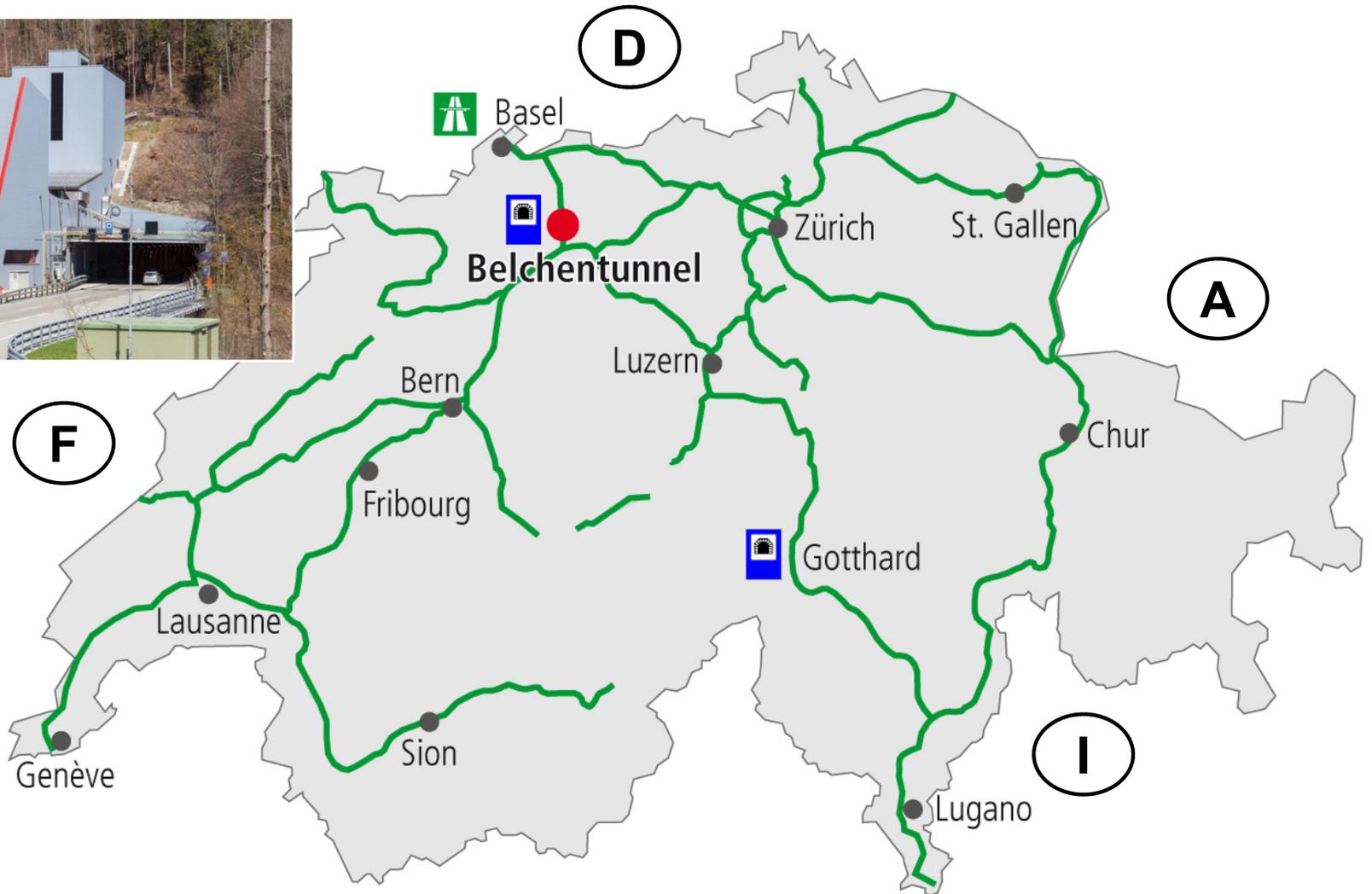
# Inhalt

1. Bestehender Belchentunnel
2. Das Projekt 3. Röhre Belchentunnel



# 1. Bestehender Belchentunnel

Heutige Situation

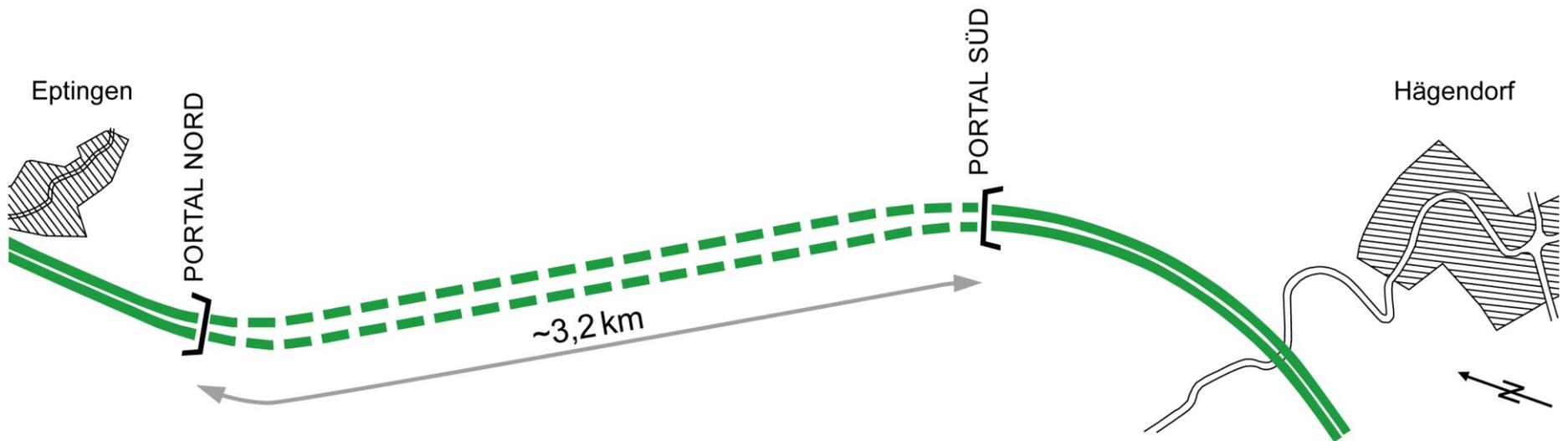




# 1. Bestehender Belchentunnel

Heutige Situation

Eröffnung: 1970



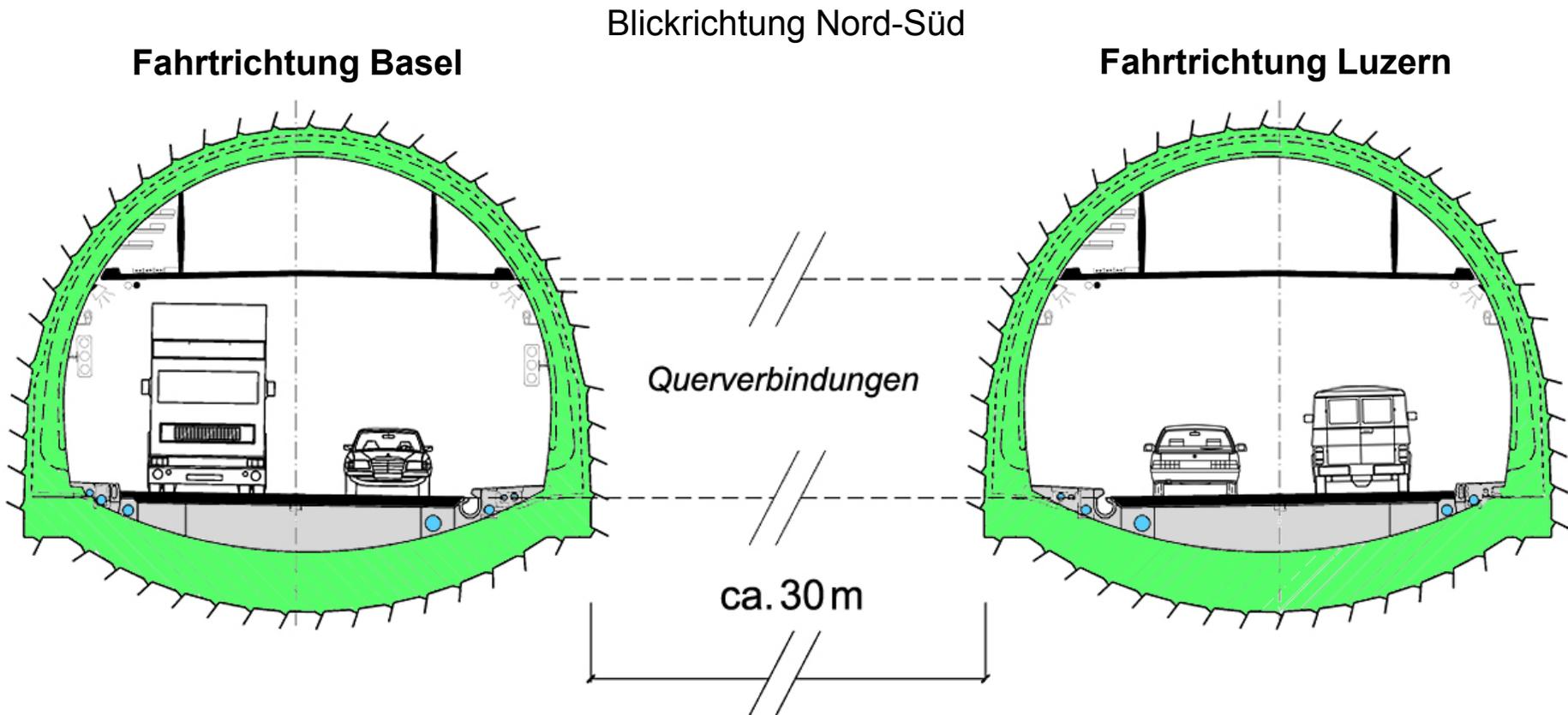


# 1. Bestehender Belchentunnel

## Heutige Situation

DTV: 52'000 Fahrzeuge/Tag (Vergleich: Gotthard, 1 Röhre, 17'000 Fz/Tag)

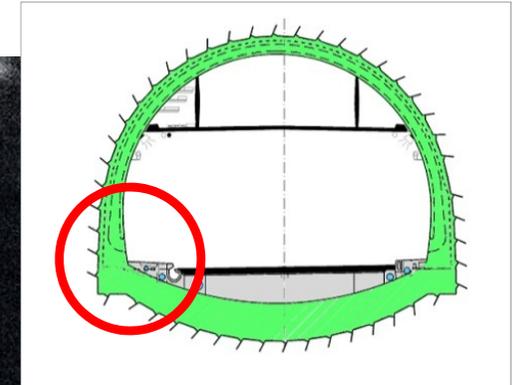
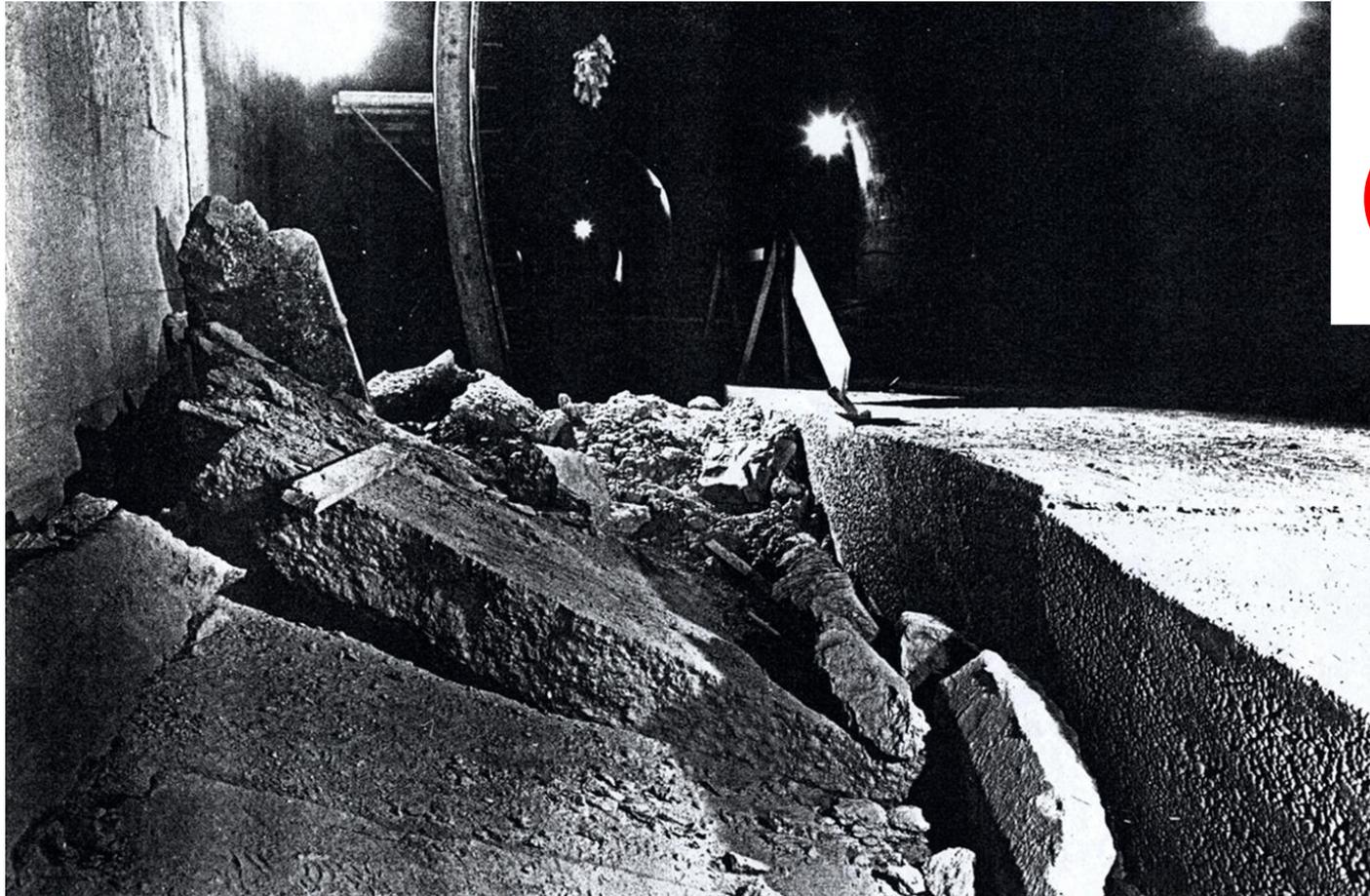
Lastwagenanteil: 11,5 %





# 1. Bestehender Belchentunnel

Schadensbild während des Bau des Belchentunnels



Aufschieben/ Bruch  
Sohlgewölbe infolge  
Quellen von Anhydrit

Ersatz von ca. 1 km  
bereits erstelltem  
Sohlgewölbe



# 1. Bestehender Belchentunnel

Schadensbilder im Tunnel vor der 1. baulichen Instandsetzung von 2003/2004





# 1. Bestehender Belchentunnel

Schadensbilder im Tunnel vor der 1. baulichen Instandsetzung von 2003/2004



Scherbruch im Gewölbe

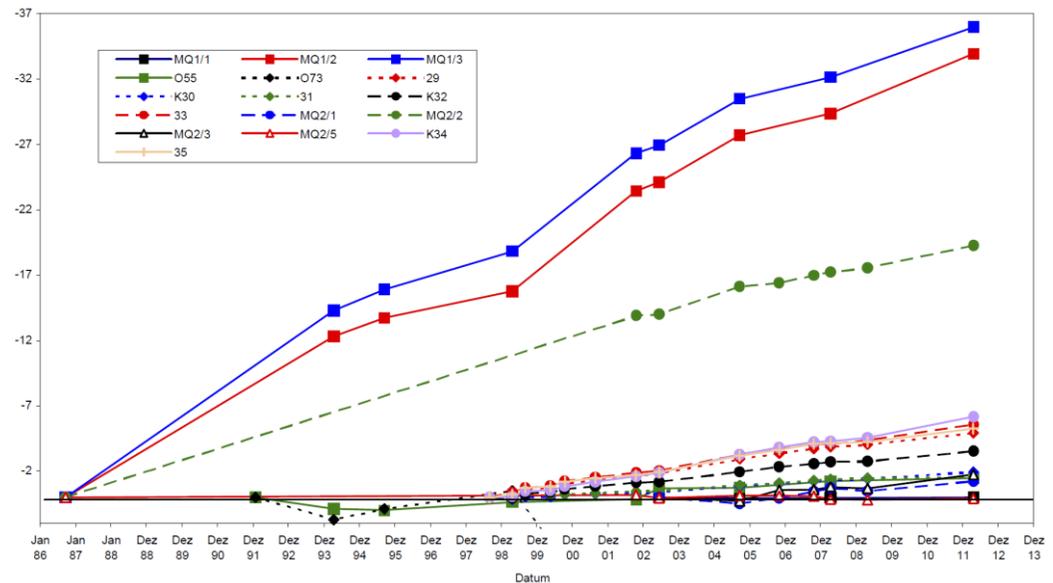
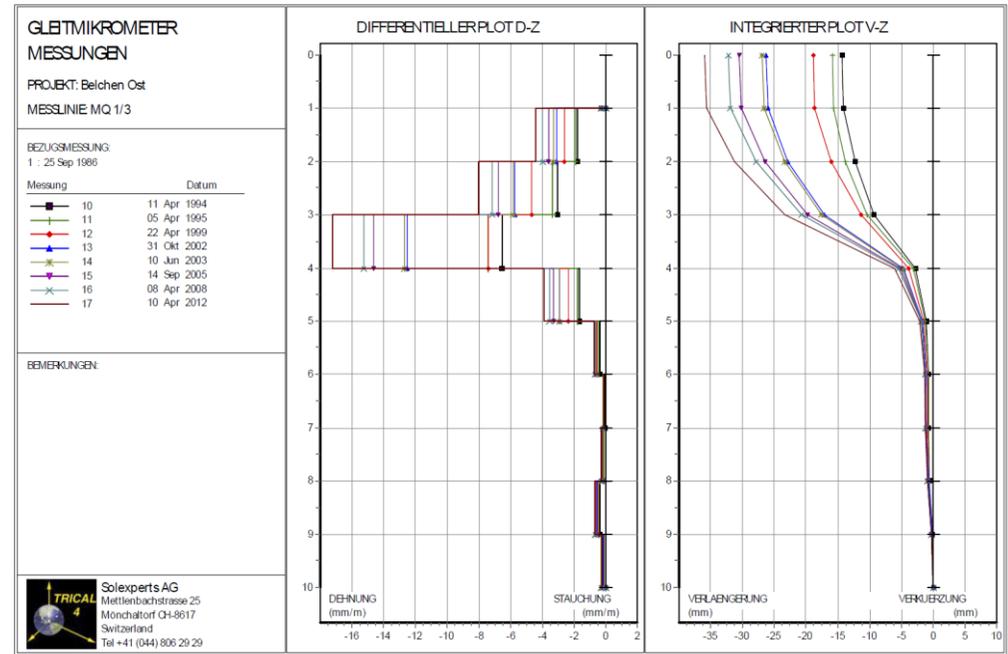
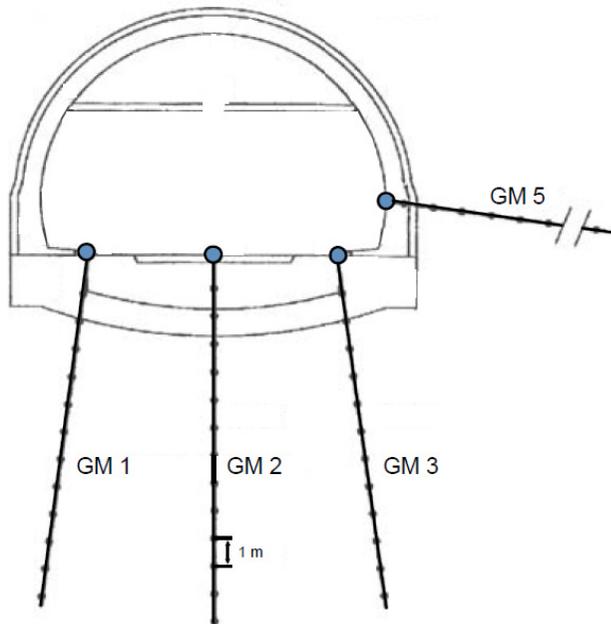




# 1. Bestehender Belchentunnel

## Gleitmikrometer

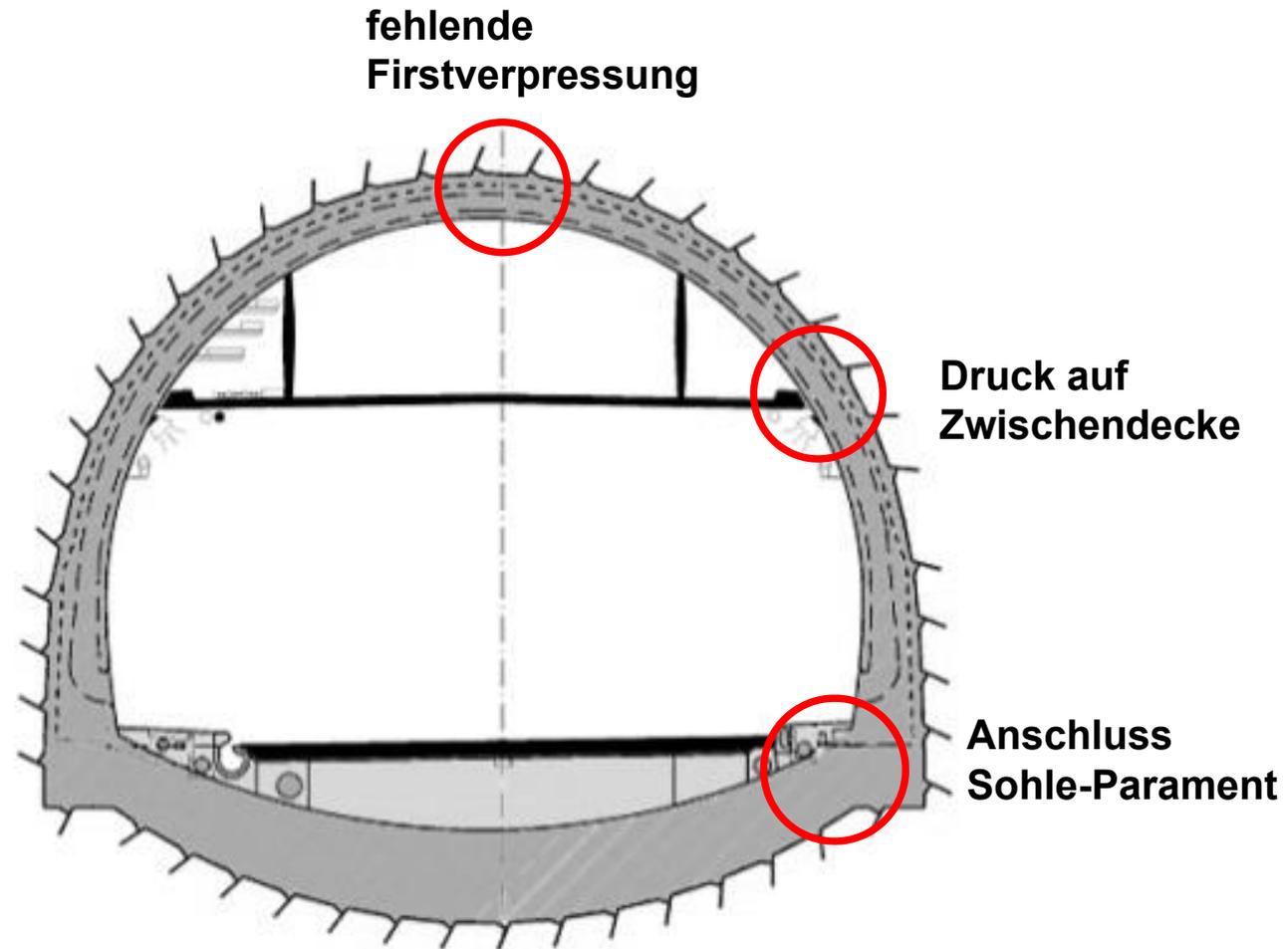
Messanordnung Gleitmikrometer MQ1 -MQ4  
Tunnelröhre Ost





# 1. Bestehender Belchentunnel

Kritische Punkte



Weitere Feststellung:  
Längsläufigkeit des Wassers entlang des Tunnelprofils



# 1. Bestehender Belchentunnel

## Konzeptstudie Belchensanierung 1997

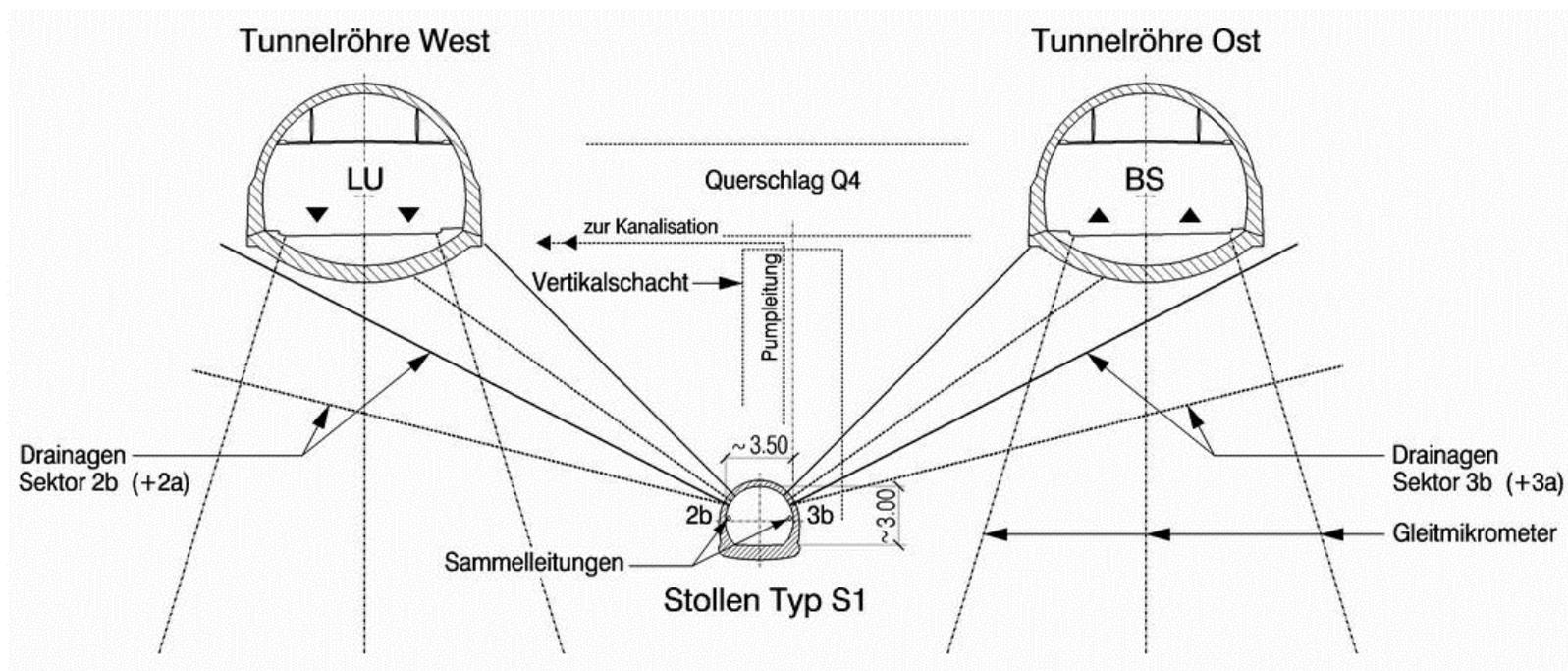
TRAGELEMENTE	MÖGLICHE MASSNAHMEN					WEITERE MÖGLICHKEITEN
	1	2	3	4	5	
<b>(A)</b> Gebirge	Drainagestellen  TBM-Vortrieb	Längsläufigkeit unterbinden  Quellfühiger Gebirgsbereich Wasserführender Gebirgsbereich	Entlastung Sohlbereich  TSM-Vortrieb	Entlastung Sohlbereich  TBM-Vortrieb	Verfestigen z.B. Widerlagerbereich 	Überwachungsmessungen, Teilsanierung einzelner Tragelemente  neuer Tunnel 
<b>(B)</b> Sohlgewölbe	Ersatz Sohlgewölbe 	Ersatz durch rundes Sohlgewölbe 	Ersatz durch Horizontalplatte mit Hohlraum 	neues Sohlgewölbe mit Knautschzone 	Systematische Sohlankerung 	
<b>(C)</b> Widerlager	Ersatz Widerlager 	Neues Widerlager 				
<b>(D)</b> Kalottengewölbe	Ersatz Kalottengewölbe 	Teilersatz Kalottengewölbe 	Firstinjektionen Innengewölbe 	Verstärkung Innengewölbe 		
<b>(E)</b> Zwischendecke	Ersatz Zwischendecke 	Verstärkung Aufhängung 	Herausspitzen des seitlichen Mörtels 			



# 1. Bestehender Belchentunnel

Versuchsdrainagegestollen (Baujahr 1998 – 2000)

Länge: ca. 370 m



Resultat des Versuchs:

Zu Beginn des Versuchs konnte dem Gebirge Wasser entzogen werden. Der Vergleich mit den gemessenen Deformationen zeigt hingegen keine Bestätigung, dass damit der Quellprozess auch nachhaltig positiv beeinflusst werden kann.

➔ Keine nachhaltige Lösung



# 1. Bestehender Belchentunnel

Prüfung von Sanierungsvarianten

Prüfung von verschiedenen Sanierungsstrategien zur Aufrechterhaltung einer langfristigen Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit

➡ Studium verschiedener Massnahmenvarianten

➡ Zweckmässigkeitsbeurteilung der Varianten

Studie 2012

- Sanierung der Belchentunnelröhren unter Verkehr in Nachtsperrungen
  - Etappenweise Instandsetzung in reinen Nachtsperrungen, d. h. 1 Röhre nachts für Arbeiten gesperrt, Gegenverkehr in der anderen Röhre, tagsüber Normalverkehr
    - ➡ Bauzeit: 2 x 6-7 Jahre, total ca. 14 Jahre

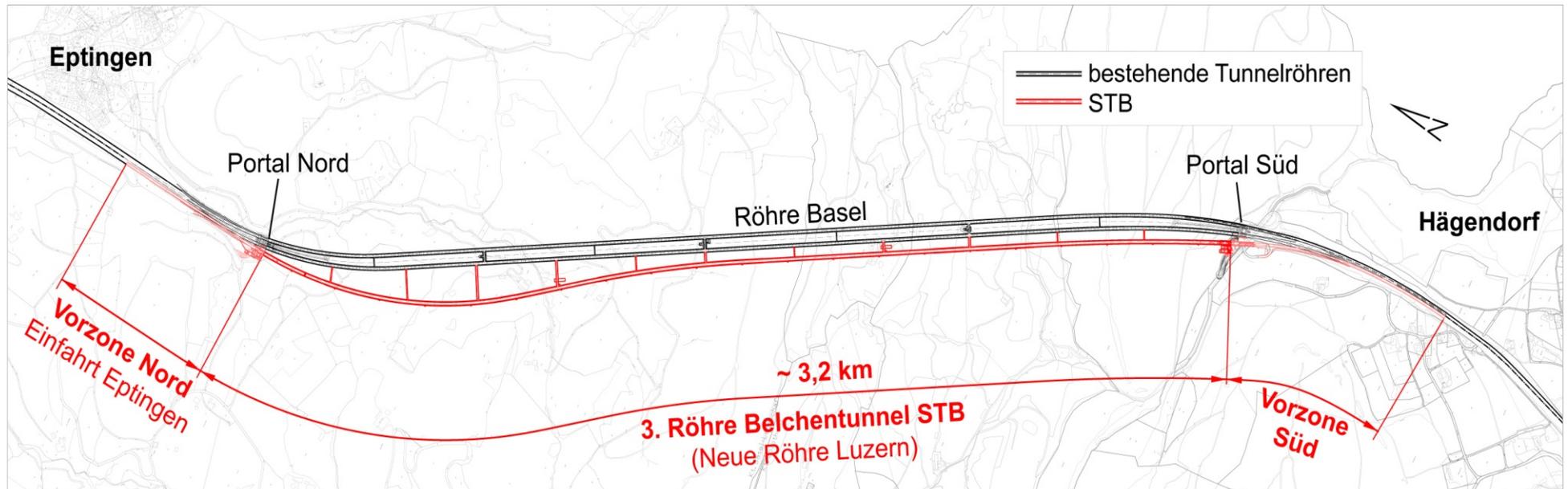
Entscheid:

- Bau einer 3. Röhre Belchentunnel (Sanierungstunnel Belchen, STB)
- Anschliessende Sanierung der bestehenden Tunnelröhren in gesperrtem Zustand
- Normalbetrieb: Immer 2 Tunnelröhren im Betrieb



## 2. Das Projekt 3. Röhre Belchentunnel

Situation mit SanierungsTunnel Belchen (STB)

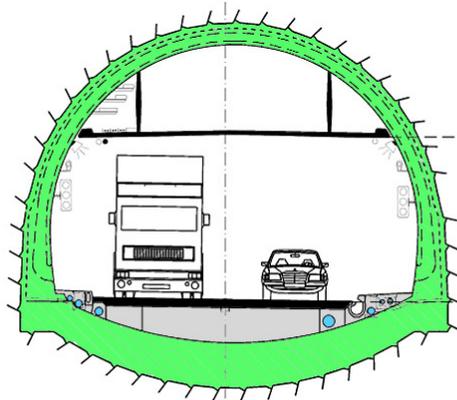




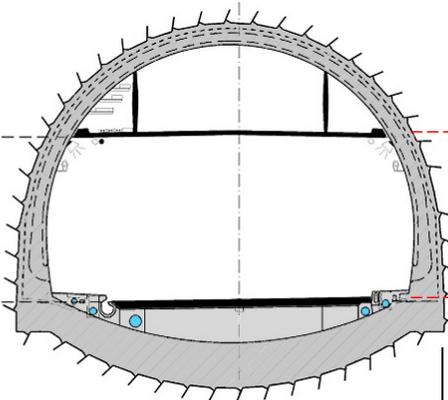
# 2. Das Projekt 3. Röhre Belchentunnel

## Zukünftiger Betrieb Tunnelsystem Belchen

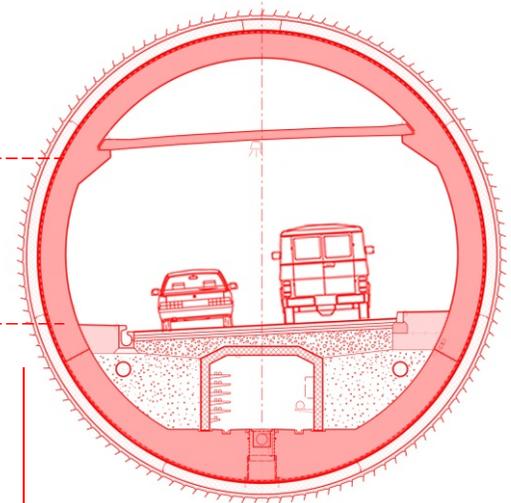
Bestehender Tunnel (saniert)  
Fahrtrichtung Basel



Bestehender Tunnel (saniert)  
Fluchtröhre



Sanierungstunnel Belchen  
Fahrtrichtung Luzern



Fluchtwege

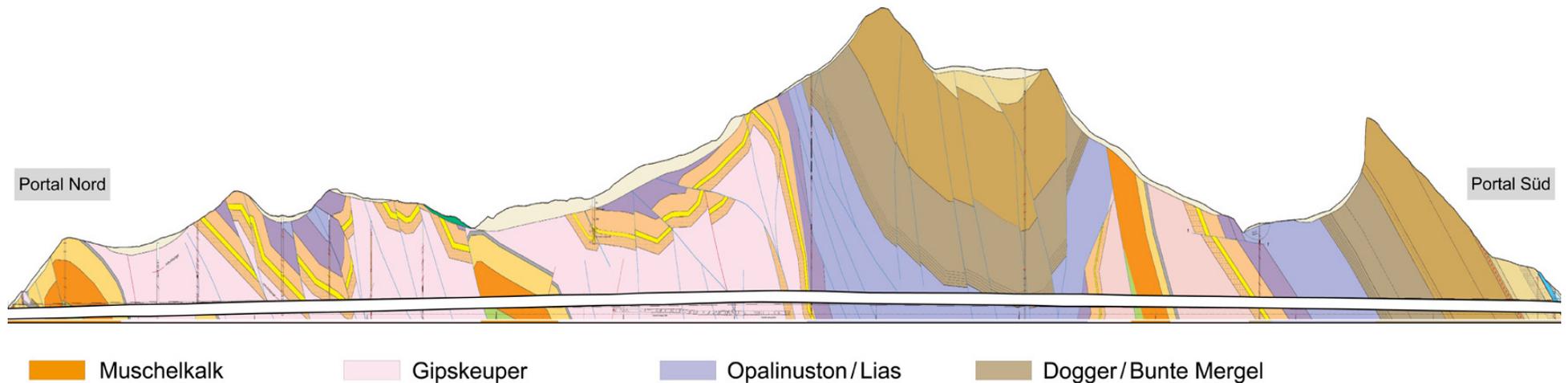
Fluchtwege

ca. 30.00 m



## 2. Das Projekt 3. Röhre Belchentunnel

### Geologischer Längsschnitt



Bergmännische Strecke: Länge = 3,2 km

Gipskeuper (Tone, Mergel, Anhydrit) 40% der Strecke → stark quellfähig

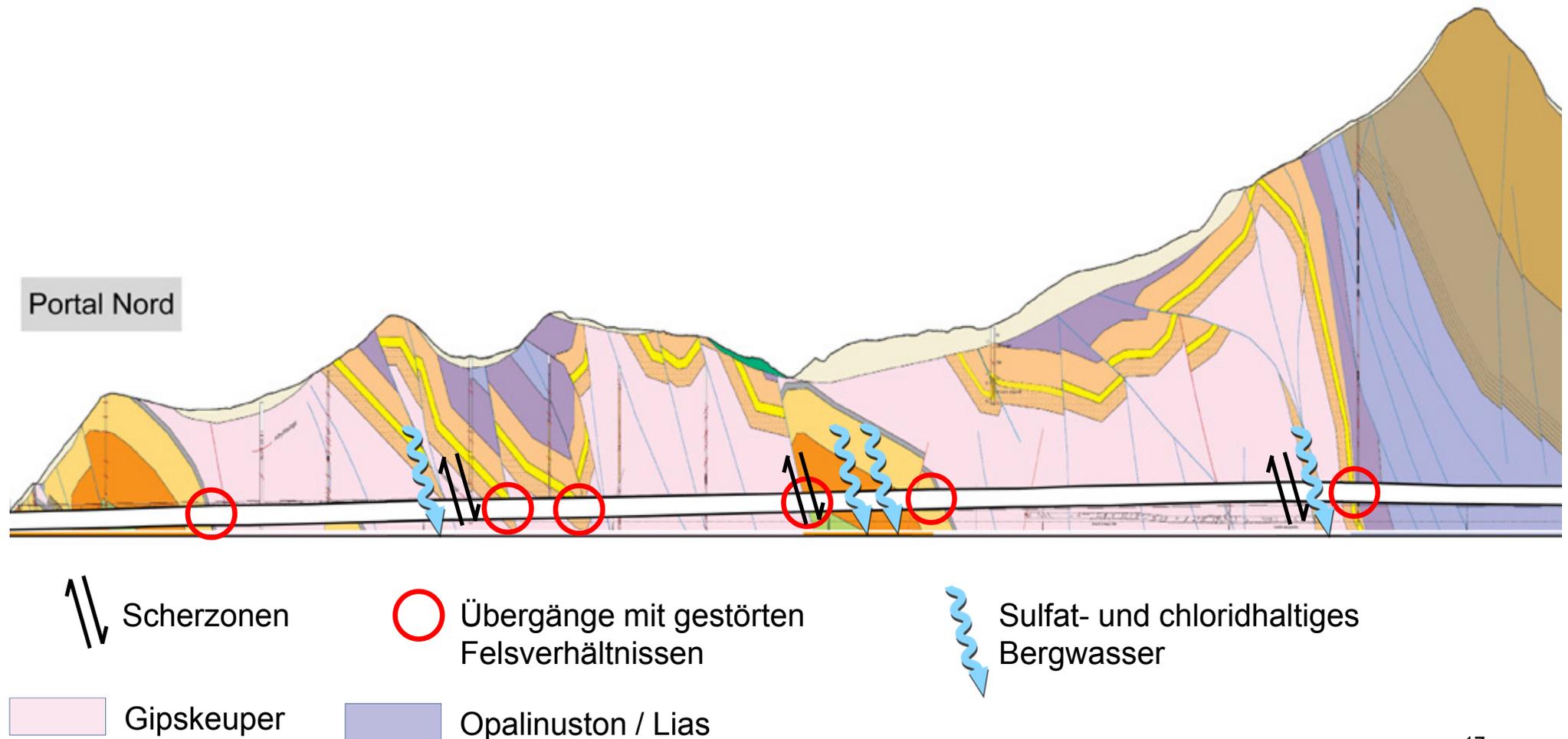
Opalinustone 20% der Strecke → quellfähig

Kalk-/Mergelgestein 40% der Strecke



## 2. Das Projekt 3. Röhre Belchentunnel

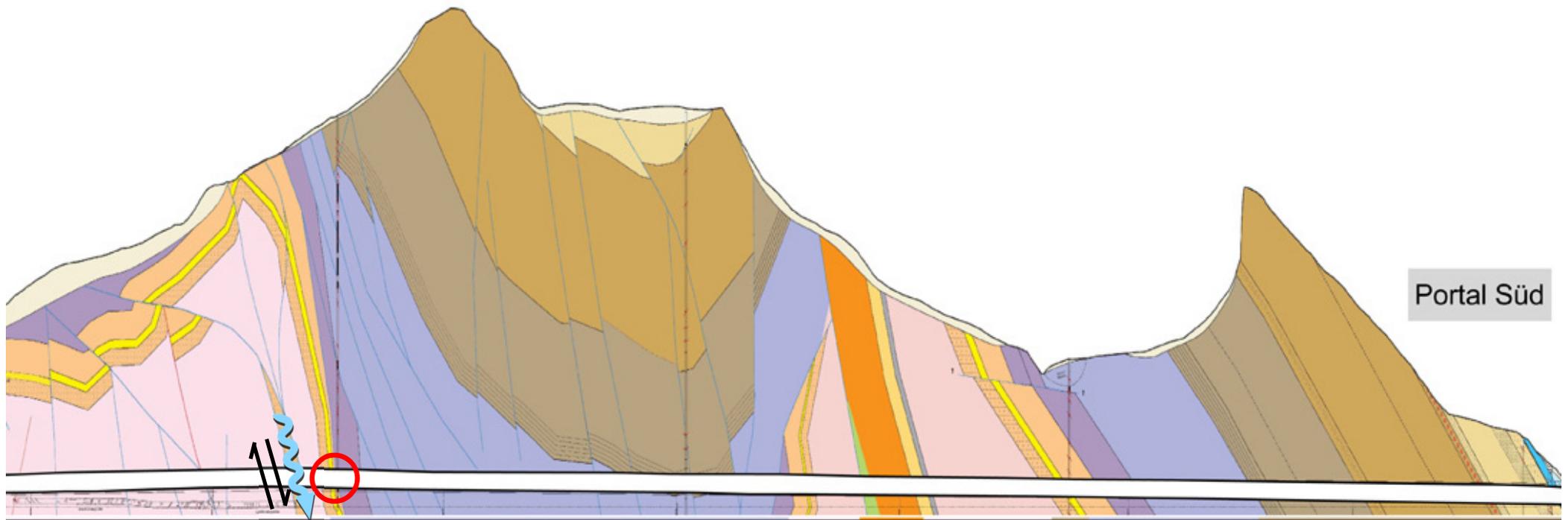
Geologische Besonderheiten (Abschnitt Nord)





## 2. Das Projekt 3. Röhre Belchentunnel

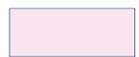
Geologische Besonderheiten (Abschnitt Süd)



 Scherzonen

 Übergänge mit gestörten Felsverhältnissen

 Sulfat- und chloridhaltiges Bergwasser

 Gipskeuper

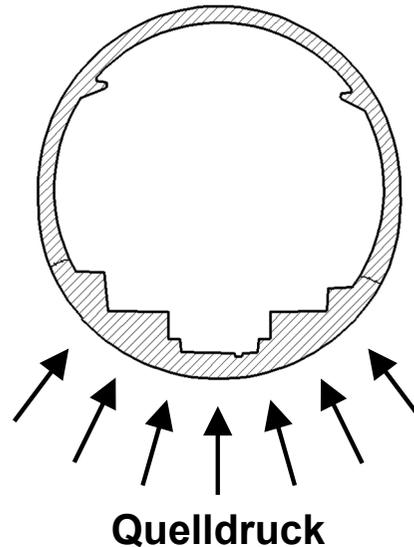
 Opalinuston / Lias



## 2. Das Projekt 3. Röhre Belchentunnel

Die wichtigsten Herausforderungen im Projekt

Gefährdungsbild Quellen



Systemwahl

Widerstandsprinzip

Ausweichprinzip  
(Knautschzone, modulares  
Knautschsystem)



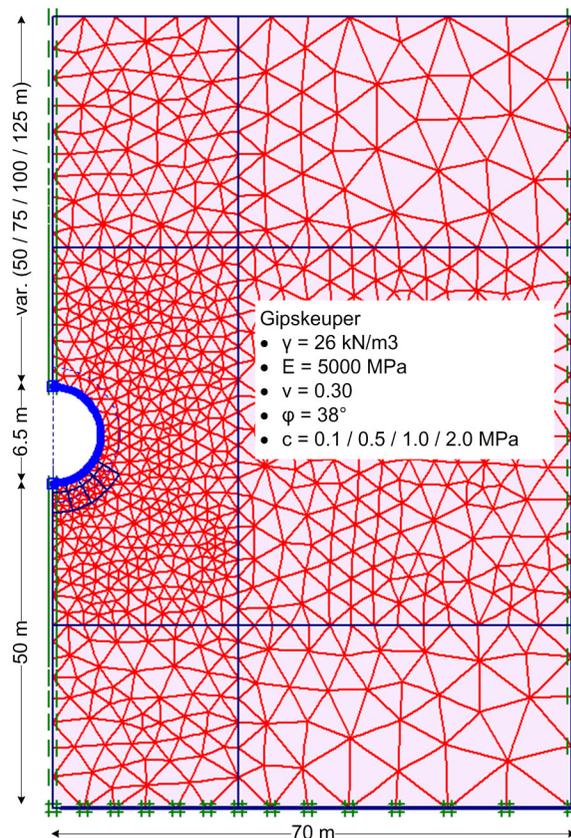
## 2. Das Projekt 3. Röhre Belchentunnel

Die wichtigsten Herausforderungen im Projekt

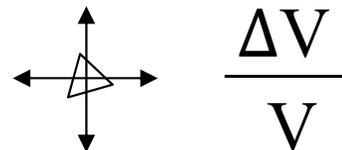
### Einwirkungen

Es existieren verschiedenste Möglichkeiten die Einwirkungen des Quelldruckes in anhydritführendem Gebirge zu modellieren.

- Einführen von Volumendehnungen



Volumendehnung simuliert z. B. durch Volumendehnungselemente oder durch Ausdehnung infolge Temperatur führt zu Druckbelastung auf das Tunnelgewölbe





## 2. Das Projekt 3. Röhre Belchentunnel

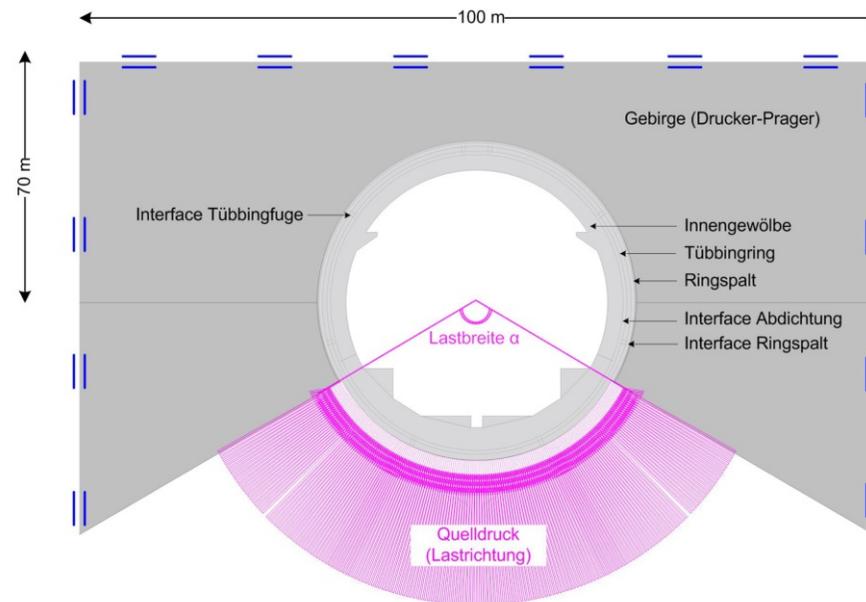
Die wichtigsten Herausforderungen im Projekt

- Einführen eines Quellgesetzes  
Unsicher, da es kein gesichertes Quellgesetz für das Anhydritquellen gibt
- Äussere Lasten  
Aufbringen einer äusseren Last auf die Tunnelkonstruktion; klares Lastbild  
- keine Spekulationen über ein ohnehin nicht bekanntes Quellverhalten



## 2. Das Projekt 3. Röhre Belchentunnel

Aufbringen einer äusseren Belastung, z.B. radial im Winkel vom  $120^\circ$  angreifend



Wahl der Bemessungswerte beim STB aufgrund langjähriger Erfahrung

Quellpotential	Bemessungswert Quelldruck [MPa]
klein	0.5
mittel	1.5
gross	4.0

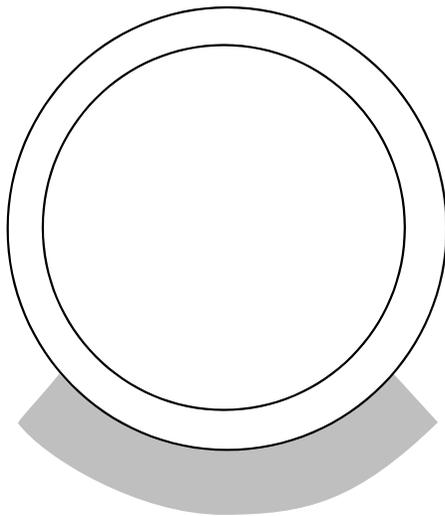
Lastfaktor:  $\gamma = 1,0$



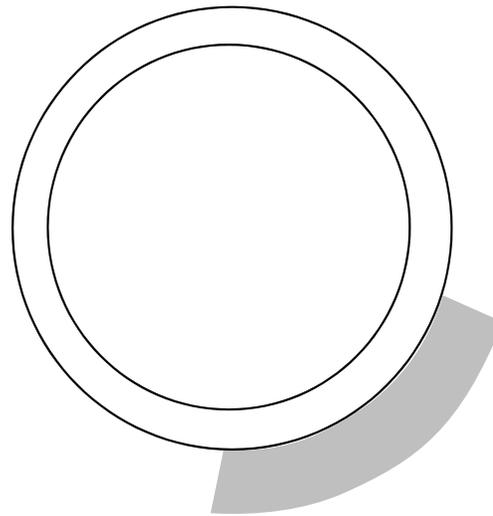
## 2. Das Projekt 3. Röhre Belchentunnel

Variation der Einwirkungen

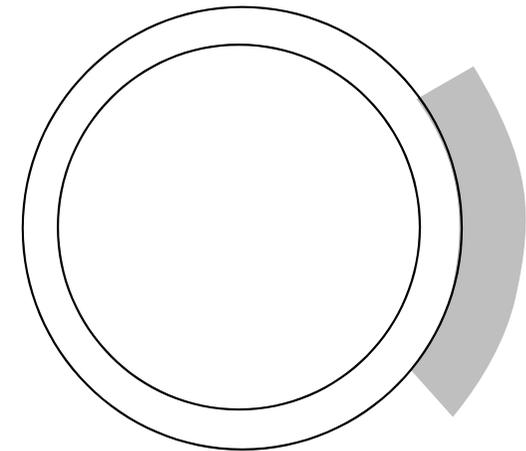
Aufgrund neuerer Erfahrungen ist auch mit horizontalem Quelldruck zu rechnen (z. B. Chienbergtunnel)



**Lastfall 1**



**Lastfall 2**



**Lastfall 3**

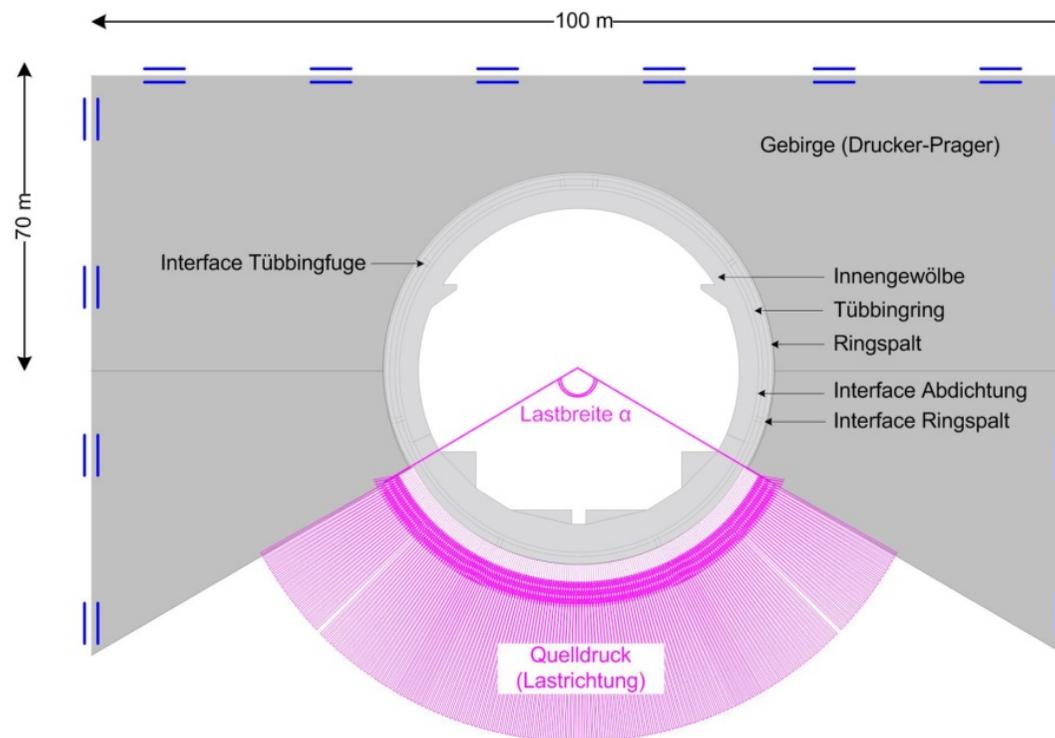


## 2. Das Projekt 3. Röhre Belchentunnel

Bemessungen für Anhydritquellen

Die Bemessungen erfolgten mit 2 Berechnungsmodellen:

(1) Nicht-lineares FE Bemessungs-Programm zur Traglastermittlung

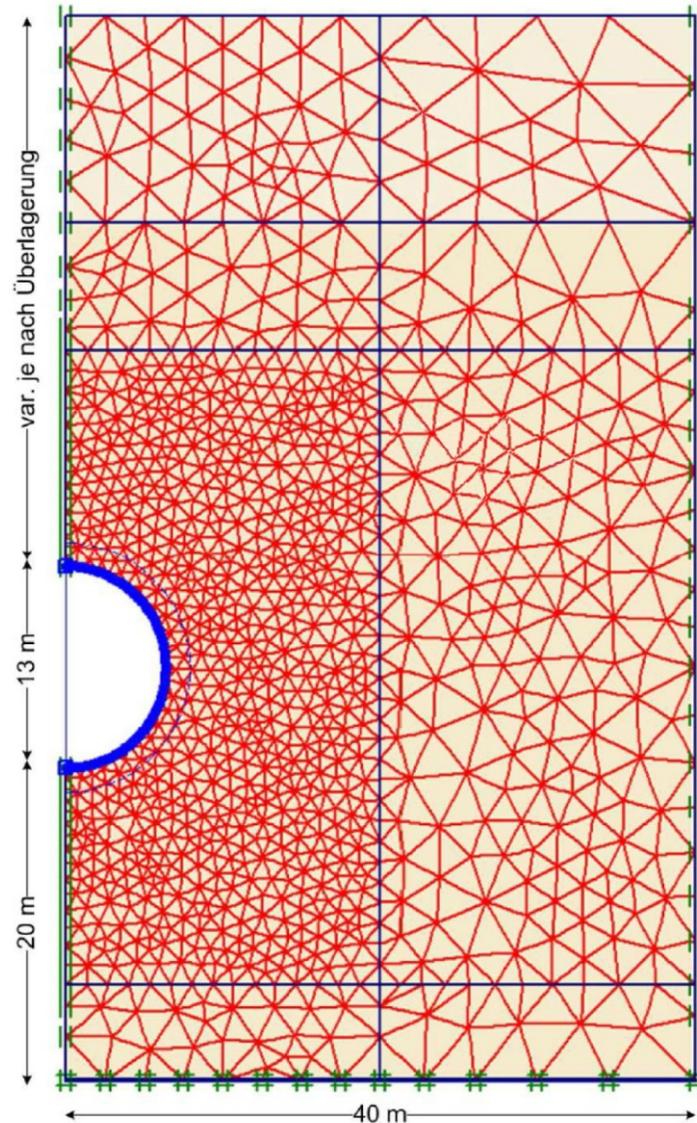




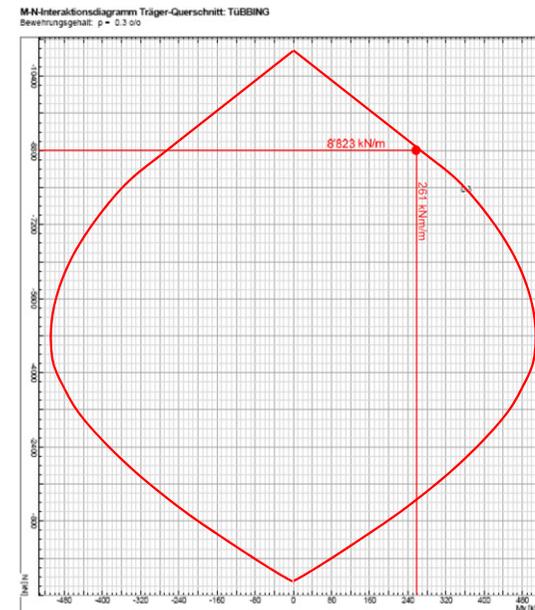
## 2. Das Projekt 3. Röhre Belchentunnel

Bemessungen für Anhydritquellen

(2) Lineares FE Bemessungs-Programm



- Ergebnis der Berechnungen: Schnittkräfte (Momente, Normalkraft, Querkraft)
- Bemessung des Querschnittes im Interaktions-Diagramm

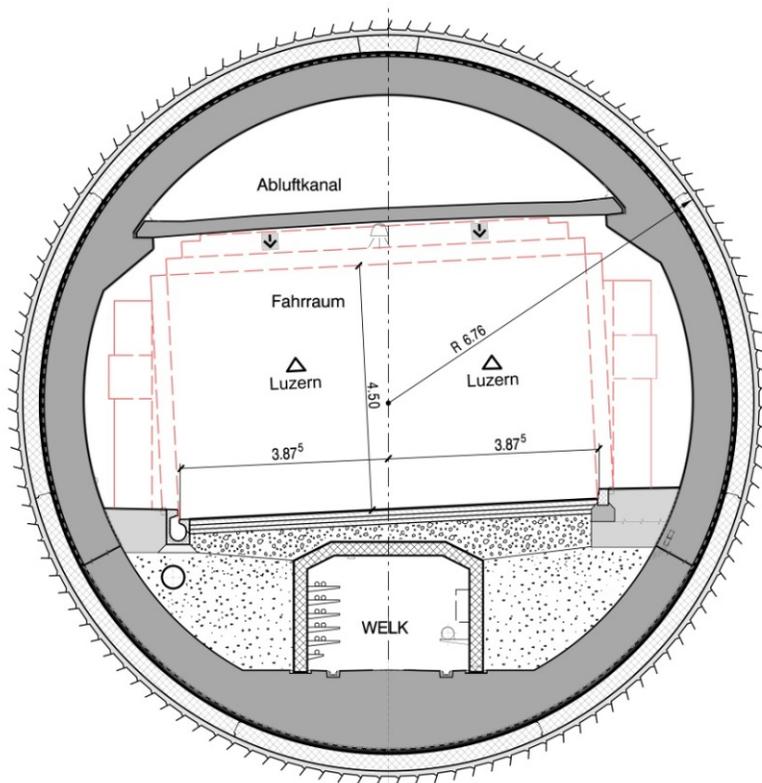




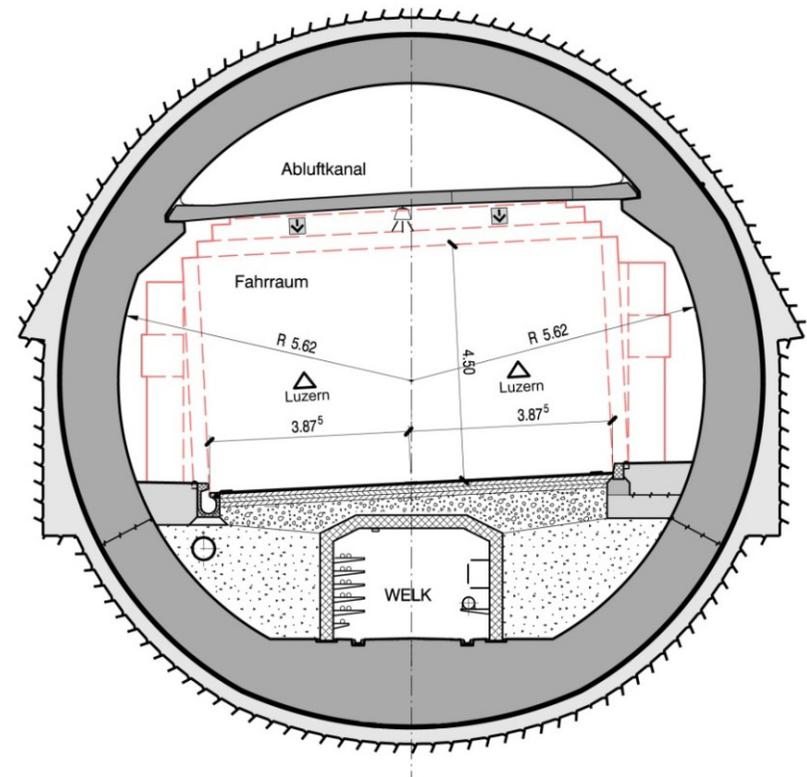
## 2. Das Projekt 3. Röhre Belchentunnel

### Wahl der Normalprofile

Es wurden 2 Vortriebsmethoden geplant und komplett unabhängig von einander ausgeschrieben



Maschinell  
(TBM)



Konventionell  
(KVT)



## 2. Das Projekt 3. Röhre Belchentunnel

Resultierende Gewölbesterken

	TBM			KVT	
	Tübbing	Sohle	First	Sohle	First
<b>Mergel</b>	35 cm	100 cm	40 cm	50 cm	35 cm
<b>Opalinuston</b>	35 cm	100 cm	75 cm	70 cm	60 cm
<b>Gipskeuper</b>	35 cm	100 cm	75 cm	115 cm	110 cm

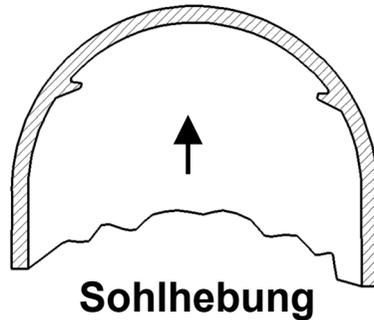
Bewehrung:

- Bereich Gipskeuper:
  - Sohle / Gewölbe bewehrt
  - Sohle durchgehend bewehrt:  
Gewölbeetappen 10 m
- Restliche Strecke unbewehrt



## 2. Das Projekt 3. Röhre Belchentunnel

### Gefährdungsbild Sohlhebung

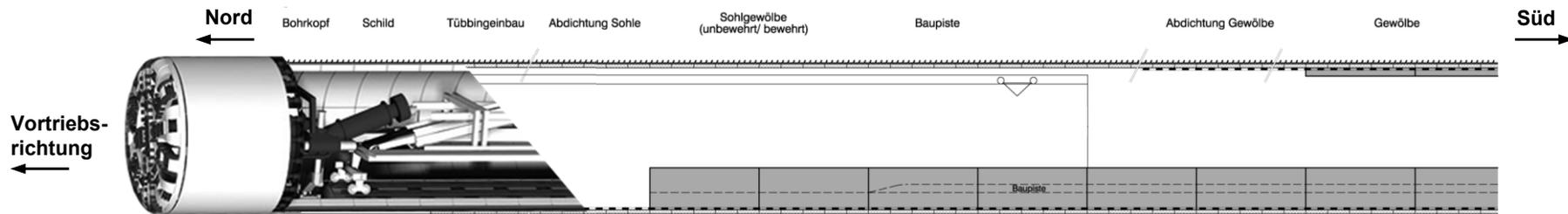


- Um eine unkontrollierte Sohlhebung zu vermeiden, muss ein rascher Ringschluss erfolgen

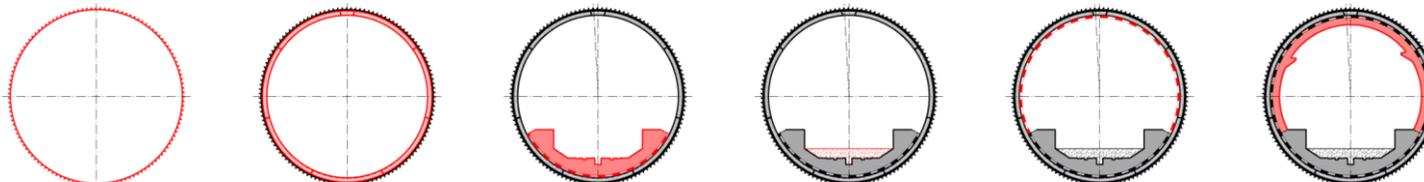


Bsp. Chienbergtunnel

### Vortrieb TBM



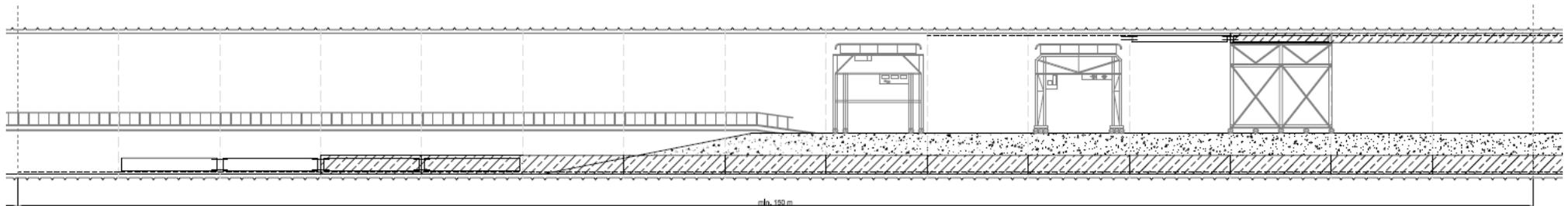
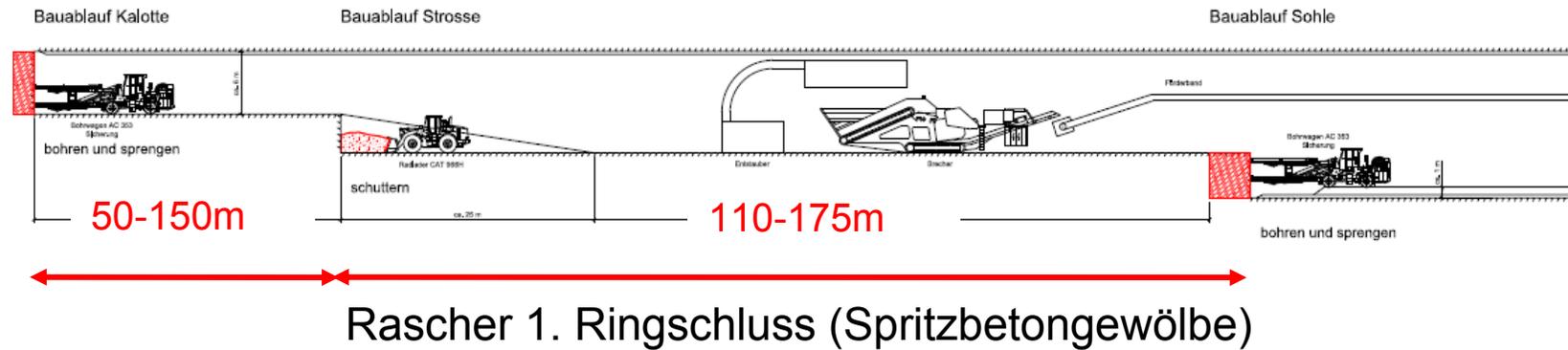
Ringschluss: Maximal 4 Monate im quellhaften Gestein (Gipskeuper, Opalinuston)  
Ringschluss: Maximal 4 Monate im quellhaften Gestein (Gipskeuper, Opalinuston)





# 2. Das Projekt 3. Röhre Belchentunnel

## Vortrieb KVT

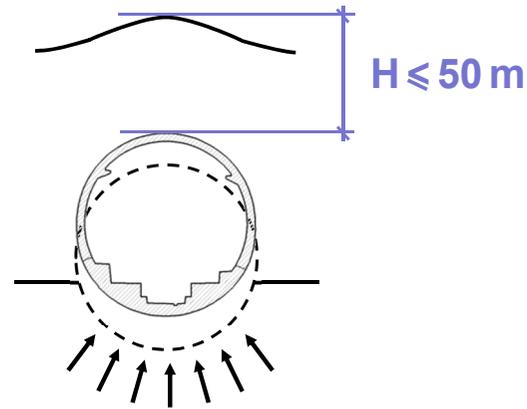
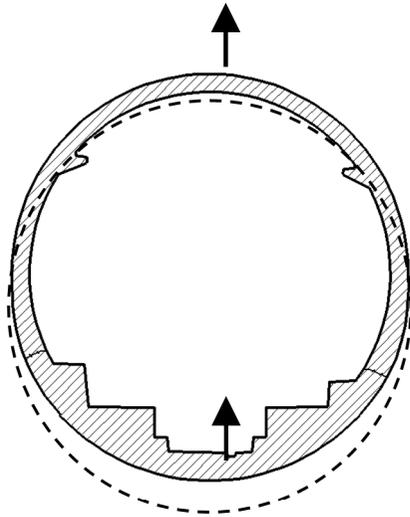


2. Ringschluss max. 4 Monate im quellhaften Gestein (Gipskeuper, Opalinuston)



## 2. Das Projekt 3. Röhre Belchentunnel

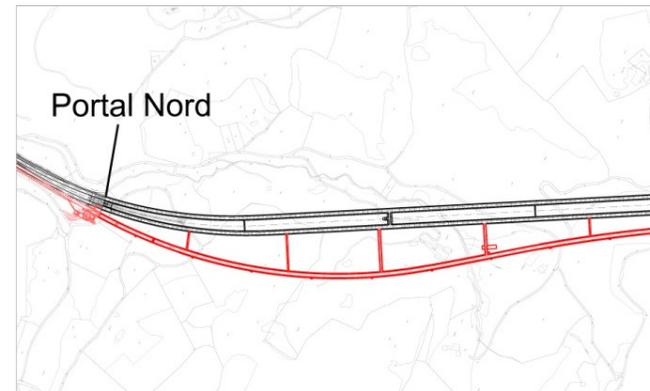
Gefährdungsbild  
Hebung des ganzen  
Tunnelrohres



Liegt der Tunnel im quellhaften Gipskeuper und beträgt die Überlagerung weniger als ca. 50 m ist ein Anheben der ganzen Tunnelröhre samt Oberfläche möglich

**Projektmassnahme:**

Trassewahl erfolgt so, dass Überlagerung im Gipskeuper immer  $\geq 50$  m

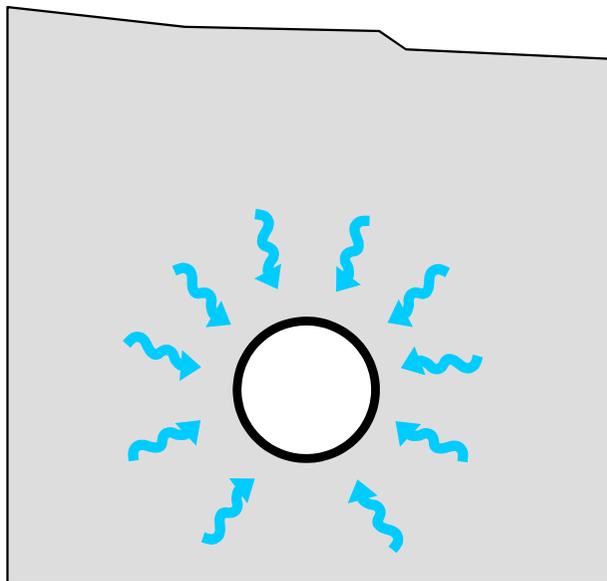


Bereich Portal Nord



## 2. Das Projekt 3. Röhre Belchentunnel

Gefährdungsbild  
Betonaggressive  
Bergwässer



Bergwasser mit:

- Sulfat ➔ Ettringittreiben im Beton
- Chlorid ➔ Korrosion Armierung

Projektmassnahme

- Spezielle Betonrezepturen:
  - C55/67
  - tiefer w/z-Faktor
- Rundumabdichtung
- Beschichtung Tübbinge mit Epoxidharzbeschichtung

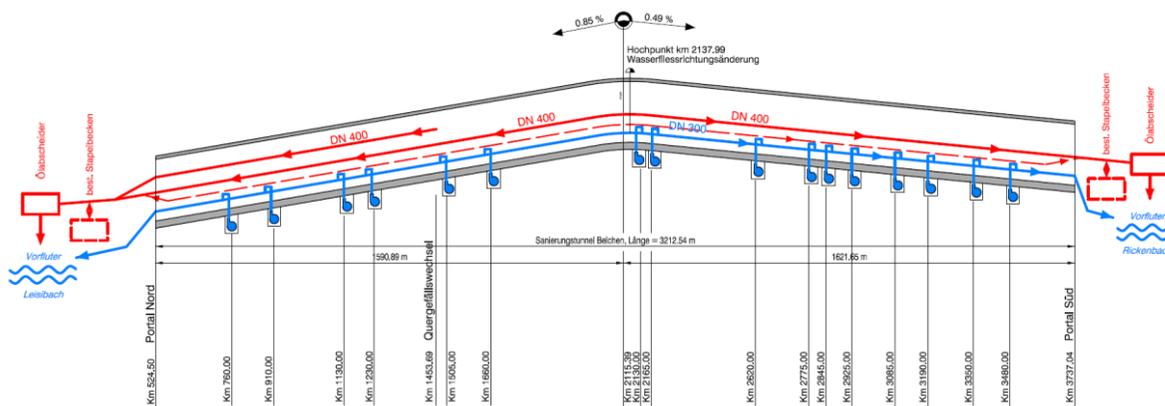


# 2. Das Projekt 3. Röhre Belchentunnel

Gefährdungsbild  
Längsläufigkeit  
des Wassers

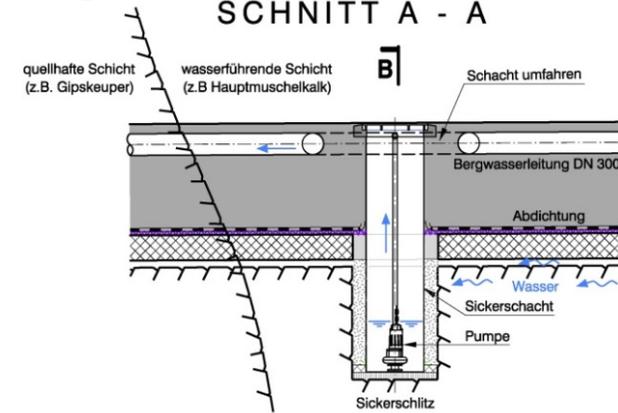
Projektmassnahme

- Unterbindung der Längsläufigkeit mittels Sickerschlitzten; geplant 16 Stück



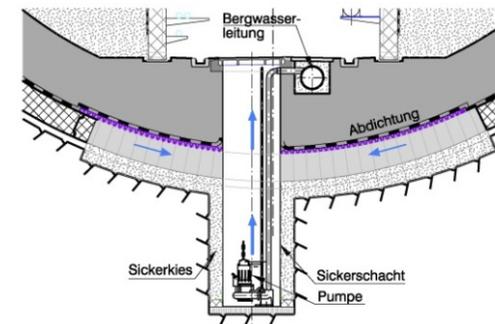
längs:

SCHNITT A - A



quer:

SCHNITT B - B





## **2. Das Projekt 3. Röhre Belchentunnel**

Ausblick

Baubeginn: **1. Quartal 2015**

Inbetriebnahme STB: **ca. 2023**



## 2. Das Projekt 3. Röhre Belchentunnel

Am Projekt Beteiligte:

Bauherr: Bundesamt für Strassen ASTRA  
Filiale Zofingen

Bauherrenunterstützung/OBL: Jauslin + Stebler Ingenieure AG, Muttenz

Projekt: Ingenieurgemeinschaft STB:  
Emch + Berger AG, Bern  
Aegerter & Bosshardt AG, Basel  
ILF AG, Zürich

Geologie: Geologengemeinschaft:  
Pfirter + Nyfeler AG, Muttenz  
Geotechnisches Institut AG, Basel

Planung Lüftung: Pöyry Infra AG, Zürich

Planung BSA: IUB AG, Bern



## **2. Das Projekt 3. Röhre Belchentunnel**

**Danke für Ihre Aufmerksamkeit**