

Tunnelbaukolloquium ETH Zürich

vom 24. Mai 2018

Vortrieb der 3. Röhre Belchen

(Sanierungstunnel Belchen, STB)

Geotechnische Aspekte

Flavio Chiaverio

Dipl. Bauing. ETH/SIA,
Aegerter & Bosshardt AG, Basel

Ueli Straumann, Emch + Berger AG
Sebastian Böheim, ILF AG

Inhalt

1. Die Ausgangslage

2. Die Erfahrung

3. Die Herausforderungen

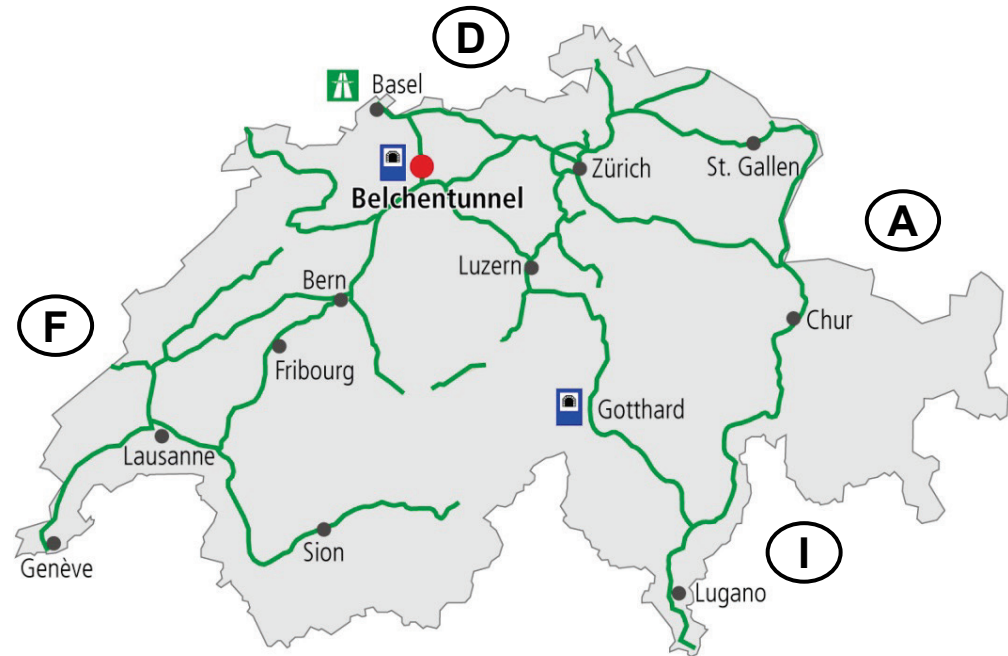
4. Die Planung

5. Die Realisierung

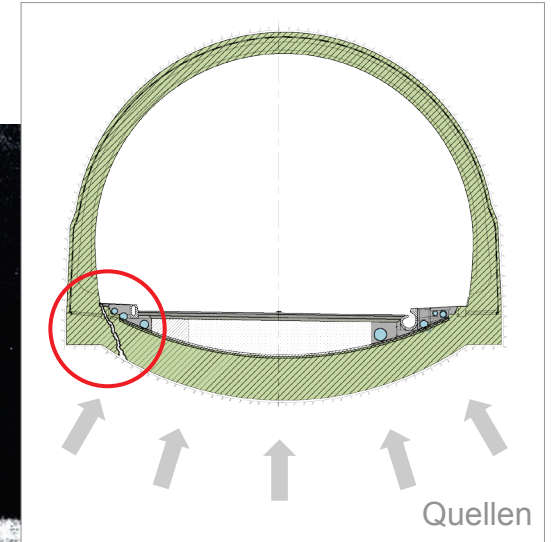
6. Lehren

Der Belchentunnel

- 2 richtungsgetrennte Doppelspurröhren
- Länge ~ 3.2 km
- An wichtiger Achse A2 gelegen
 - ▶ Transit Deutschland-Italien
 - ▶ Verbindung Basel-Bern/Luzern
- Verkehr
 - ▶ Durchschnittlicher Tagesverkehr: 52.000 Fz/24h
 - ▶ Schwerverkehr: 11.5%
- 1970 eröffnet; 48 Jahre in Betrieb



Schadensbild während dem Bau des Belchentunnels



Aufschieben / Bruch
Sohlgewölbe infolge
Quellen von Anhydrit
in der Sohle

Ersatz von **ca. 1 km**
bereits erstelltem
Sohlgewölbe

Schadensbilder in der Betriebsphase infolge fortlaufenden Quellprozessen



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

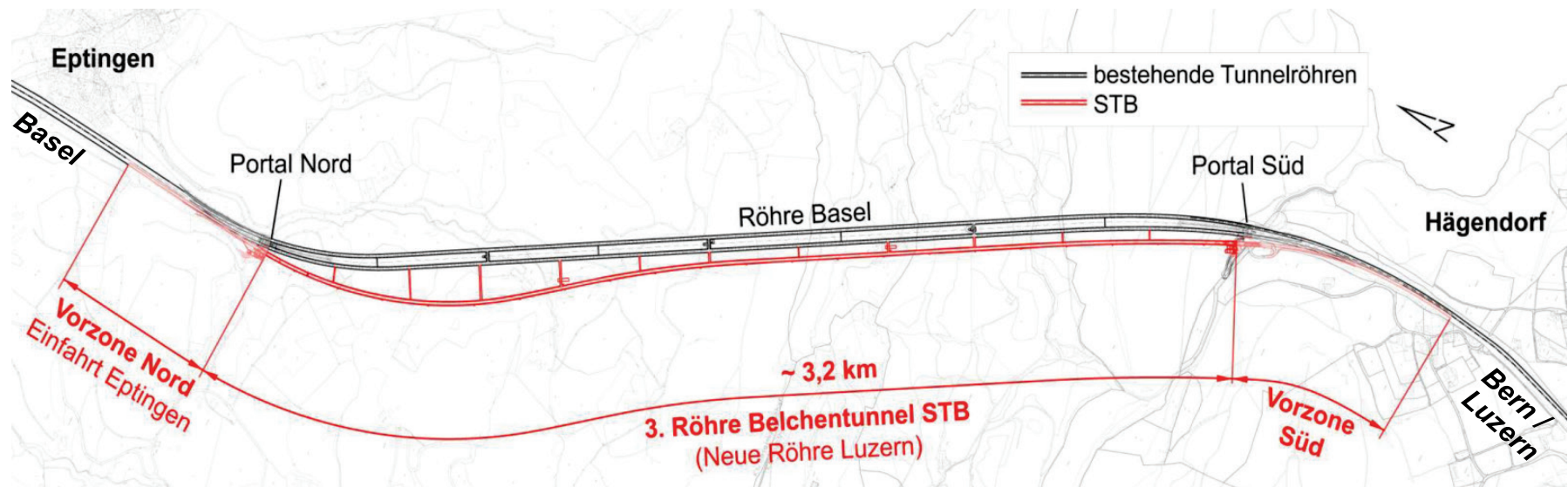
- Etappenweise Instandsetzung in reinen Nachtsperrungen, d. h. 1 Röhre nachts für Arbeiten gesperrt, Gegenverkehr in der anderen Röhre, tagsüber Normalverkehr
- ➔ **Bauzeit: 2 x 6 - 7 Jahre, total ca. 14 Jahre**

Entscheid des Bundesrats:

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

Sanierungstunnel Belchen (3. Belchentunnelröhre)

- Nationalstrasse 1. Klasse
- Ausbaugeschwindigkeit: 100 km/h
- Länge: ca. 3'200 m
- Anpassungen an Trasse im Nord- und Südbereich
- Realisierung mittels Tunnelbohrmaschine



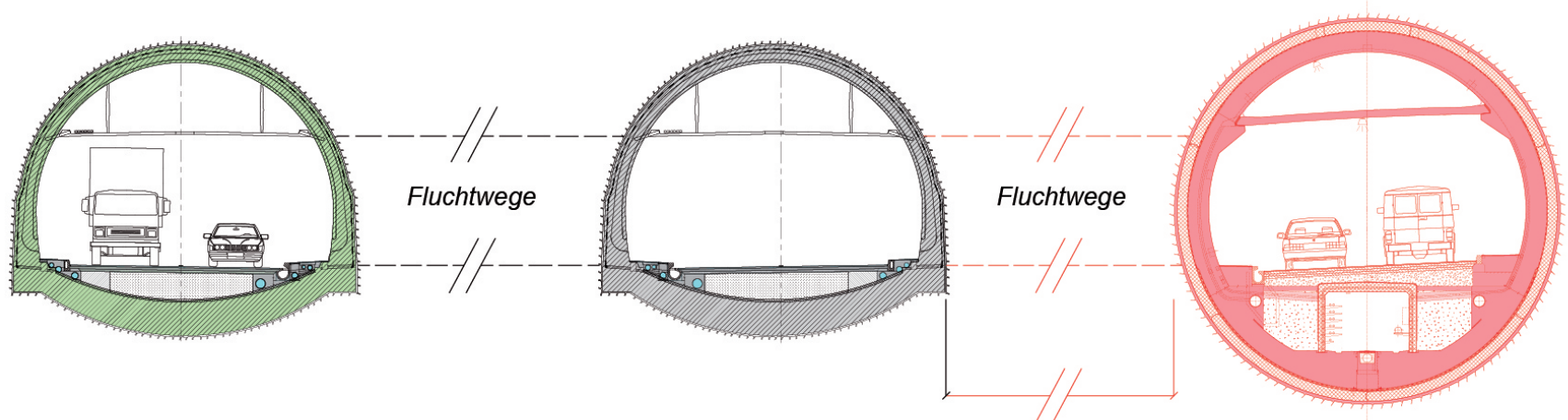
Sanierungstunnel Belchen (3. Belchentunnelröhre)

- Abstand zu bestehender Röhre Mitte 40 m ÷ 116 m
- Max. Überdeckung 360 m
- Ausbruchvolumen 470'000 m³ fest
- Bauzeit 09/2014 bis 2022
- Kosten ca. 500 Mio. CHF

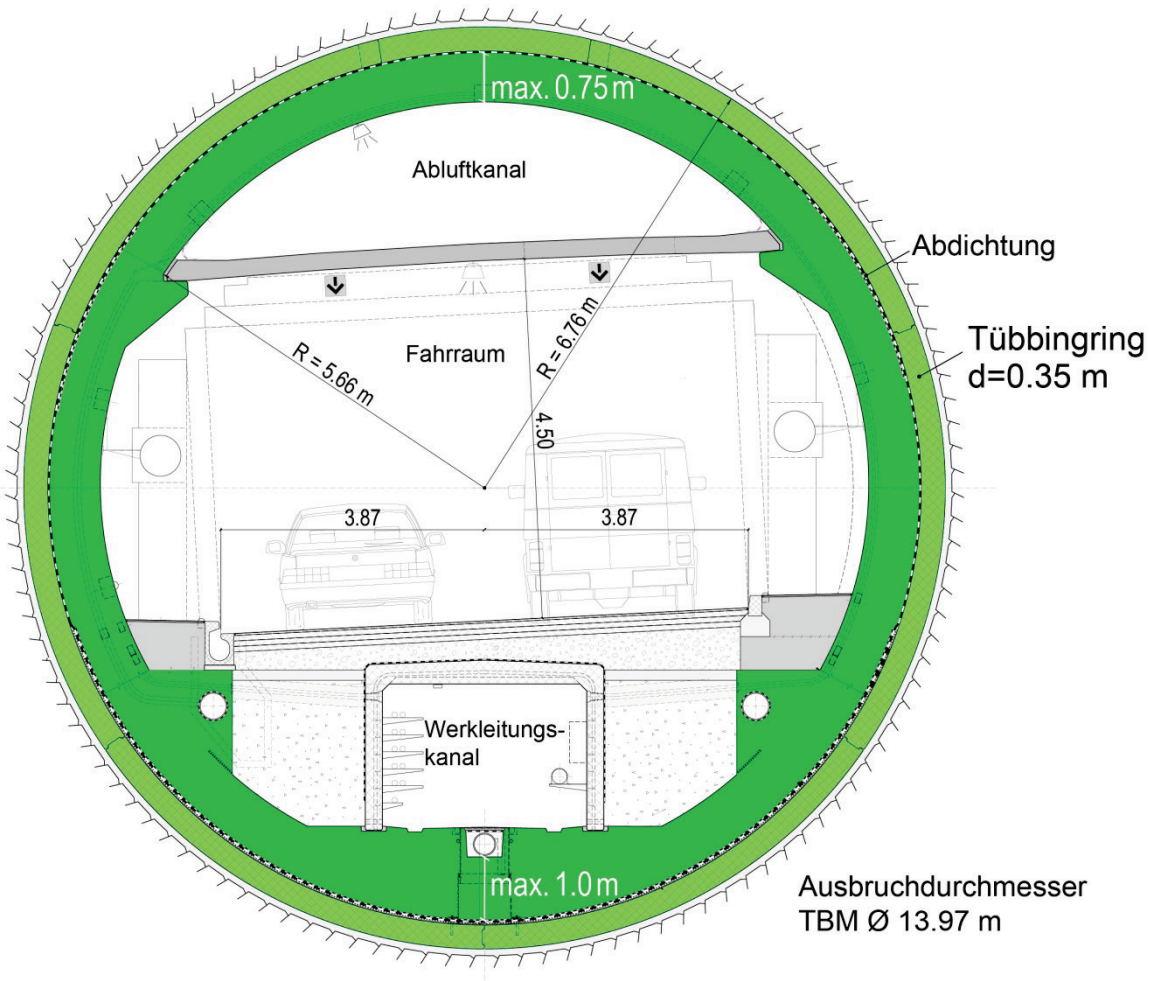
Bestehender Tunnel (saniert)
Fahrtrichtung Basel

Bestehender Tunnel (saniert)
Flucht-/Unterhaltsröhre

Sanierungstunnel Belchen
Fahrtrichtung Luzern



Normalprofil TBM-Vortrieb



Tübbingring:

- 6+1 Tübbingelemente (konische Ringe)
- Stärke 0,35m, Beton C55/67
- Epoxidharzbeschichtung im Gipskeuper

Innengewölbe:

- Maximale Stärken im Gipskeuper:
Sohle: 1,00 m
Gewölbe: 0,75 m
- PVC Abdichtungsfolie zwischen Tübbingring und Innengewölbe

Vortriebskonzept

Ausgeschrieben wurden der *konventionelle Vortrieb* und der *maschinelle Vortrieb*

**Vergabe: Maschinelles Vortrieb (TBM)
Tunnelbohrmaschine mit Schild**



Technische Daten:

- Durchmesser Schild: 13,97 m
- Länge Nachläufer: ca. 75 m
- Max. Drehmoment: 20'700 kNm
- Max. Vorschubkraft: 82'600 kN
- Anzahl Disken: 79 Stück
- Gesamtgewicht: ca. 2'000 to

Projektbeteiligte

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
Ausführung:	ARGE Marti Belchen bestehend aus: Marti Tunnelbau AG Marti Solothurn AG Marti Basel AG

Maschinelle Vortriebe im Juragestein

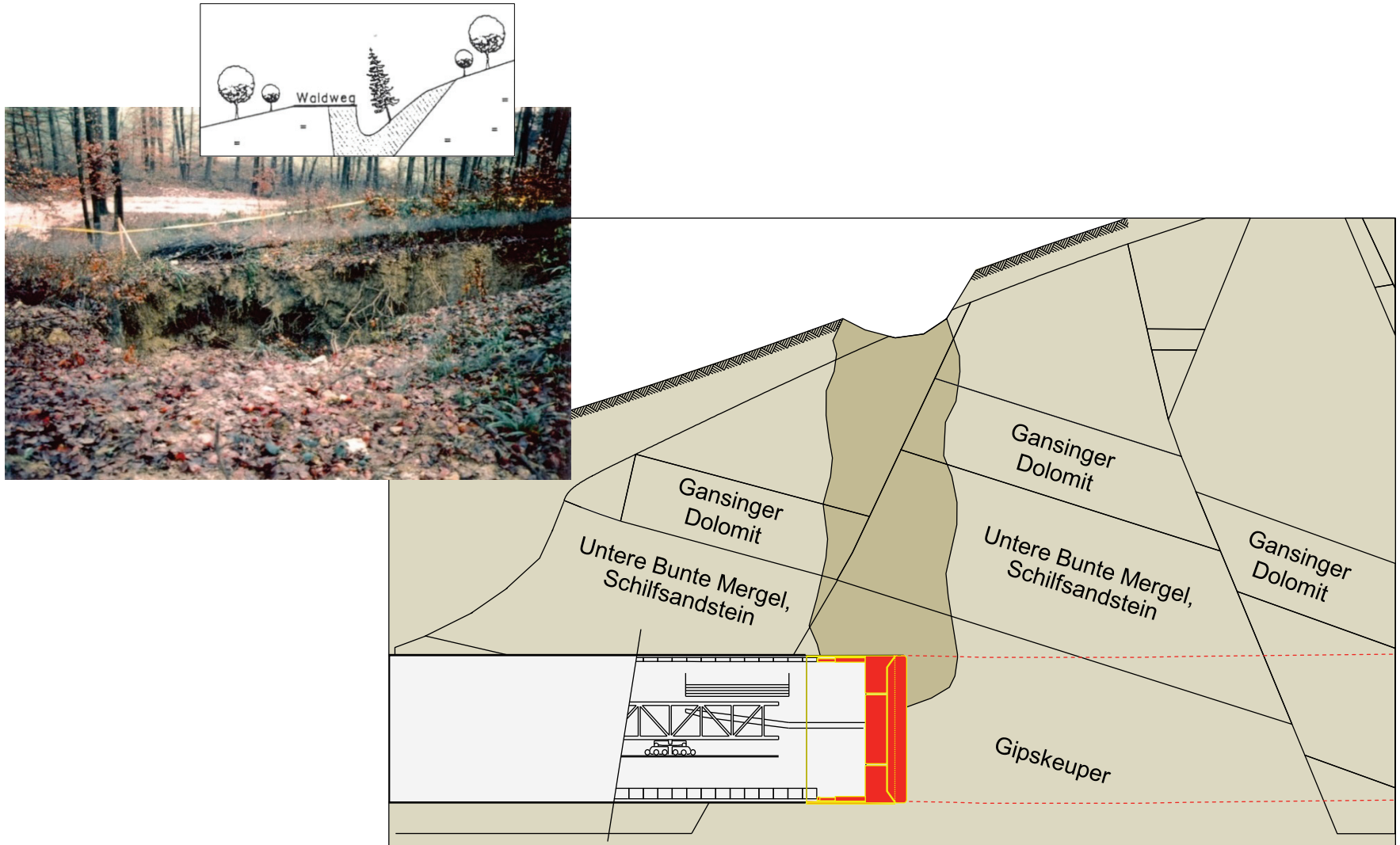
Zum Beispiel:

SBB Adlertunnel (1995-1997)

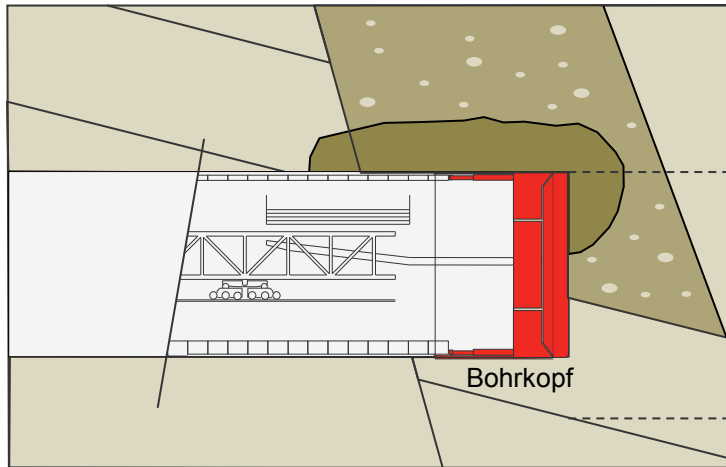


- 4,1 km TBM Vortrieb
- Durchmesser Schild: 12.53 m

Tagbruch beim oberflächennahen Vortrieb (Überdeckung ca. 25-30 m)

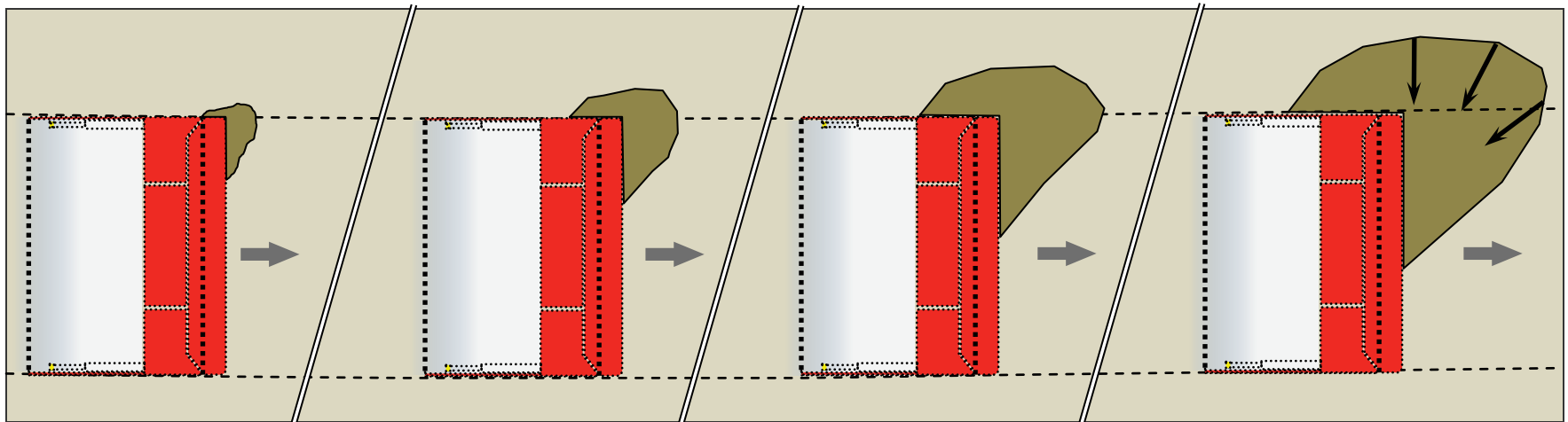


Vortriebsstillstände in den Übergangs-/Störzonen



- ➔ nachbrüchig; Gleithorizonte
kleine Gebirgsfestigkeit
kleine Kohäsion
- ➔ nachbrechendes Gebirgsmaterial nach jedem Vortriebsschub

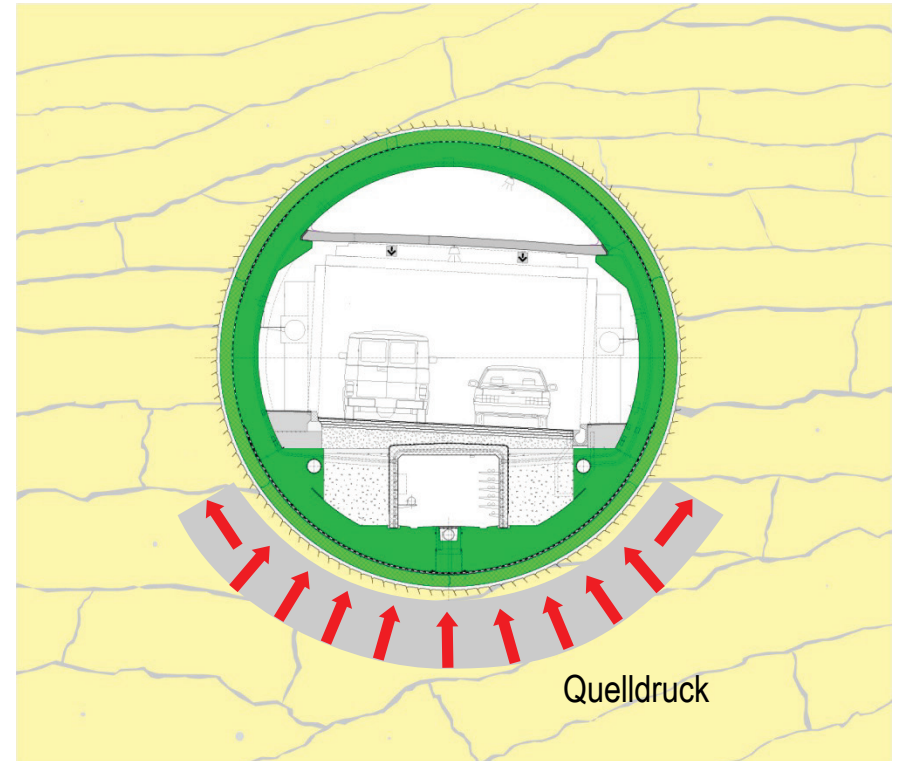
Bis mehrmonatige Vortriebsunterbrüche und Mehrkosten



Aus geotechnischer Sicht

▪ **Quelldruck**

- Tongesteine
- Anhydritgestein (Gipskeuper)
- Widerstandsprinzip:
Bemessung auf Quelldruck
4 MPa im Gipskeuper und
2 MPa im Opalinuston
($\gamma_f = 1.0$; $\gamma_m = 1.5$)

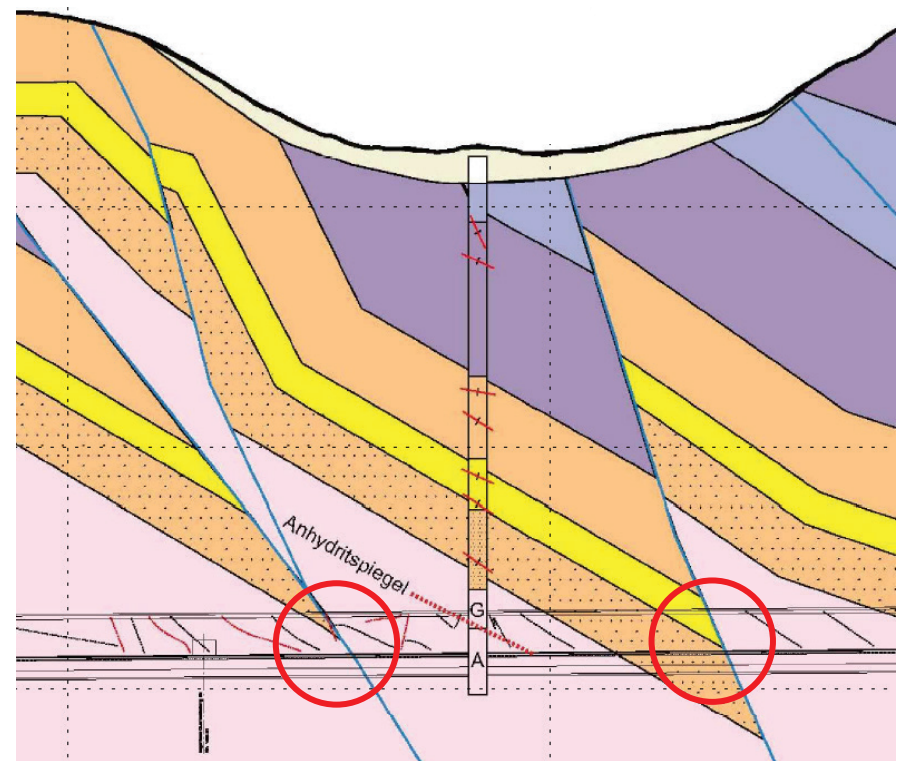


Aus geotechnischer Sicht

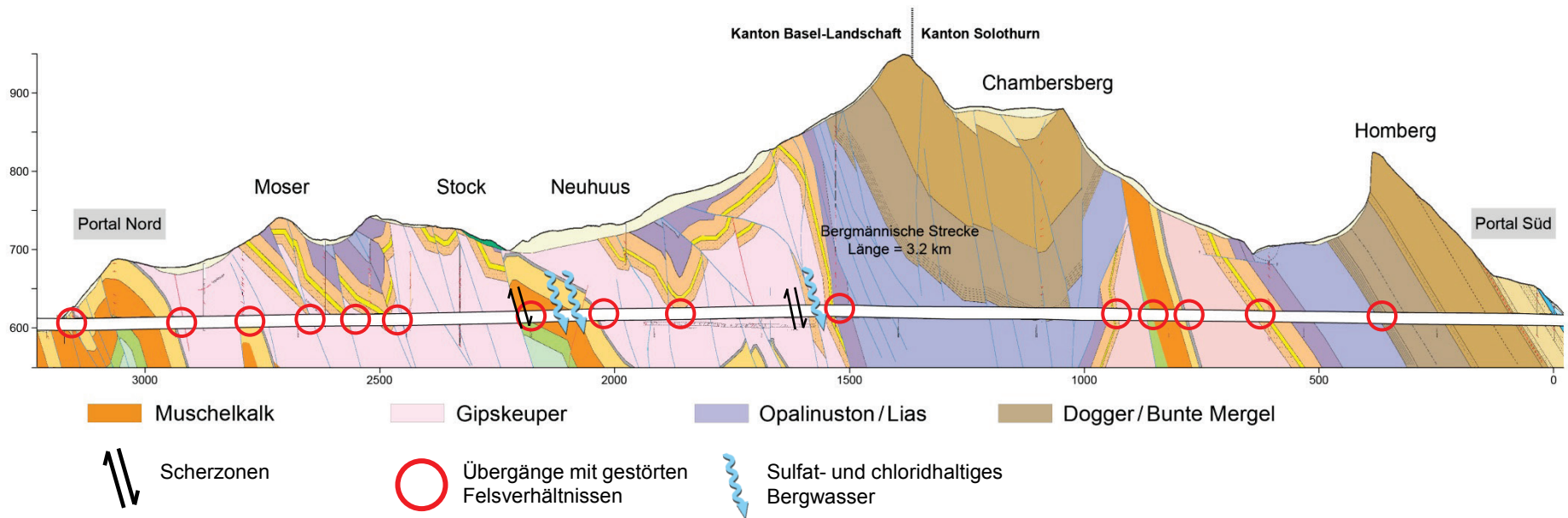
- **Tektonisch gestörte Gebirgszonen**

- ➔ Minimale Kohäsion
- ➔ Kleine Gebirgsfestigkeit
- ➔ Wasser / Wasserdruck
- ➔ Klüfte
- ➔ Rutschharnische

- **Schichtübergänge / Störzonen**



Geologisches Profil mit Störzonen



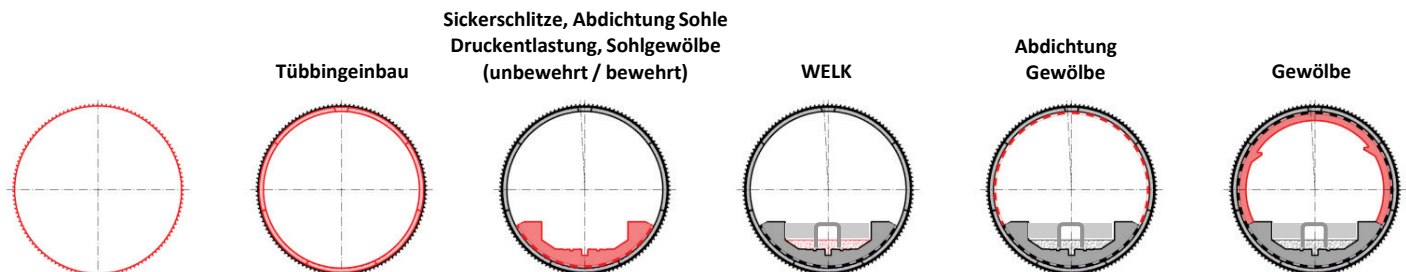
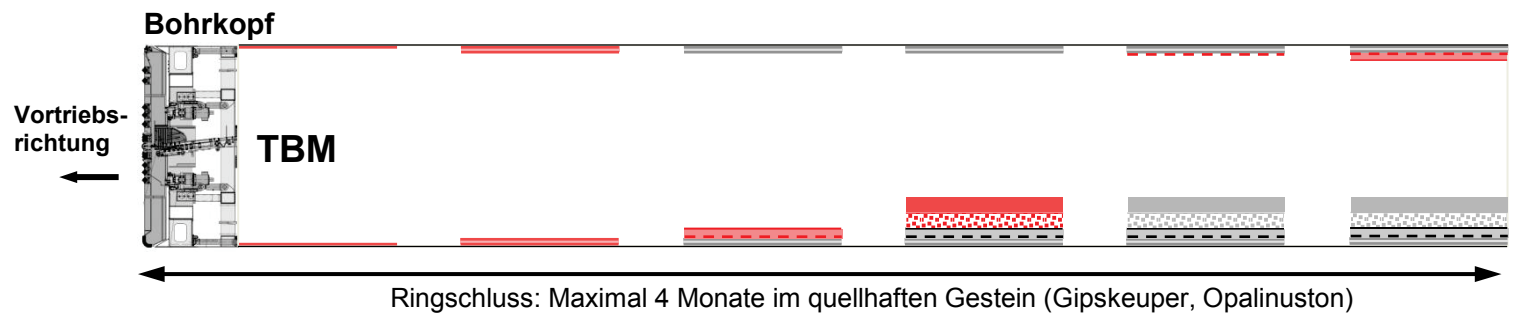
Gefährdungsbilder und Massnahmen

Gefährdungsbild

Quellhebungen/Quelldruck

Massnahme

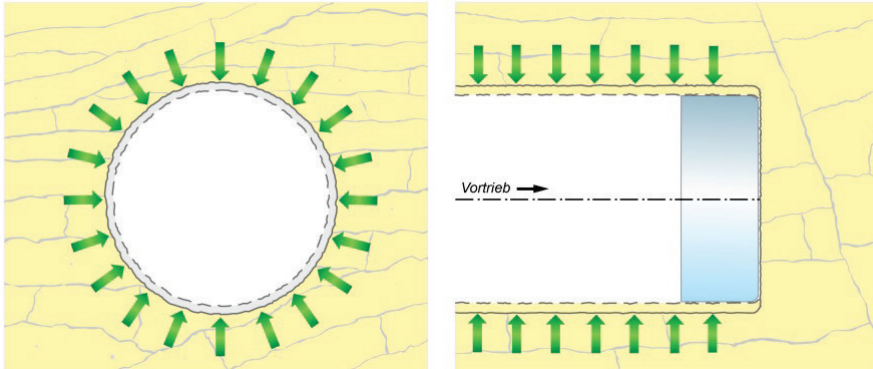
- Rascher Ringschluss mit Tübbingem
- Bemessung der Tragelemente (Tübbinge/Innengewölbe) auf Quelldruck
- Ringschluss mit dem Innengewölbe spätestens 4 Monate nach der Ausbruchfront



Gefährdungsbilder und Massnahmen

Gefährdungsbild

Vortriebsstillstand infolge Verklemmen des Schildes



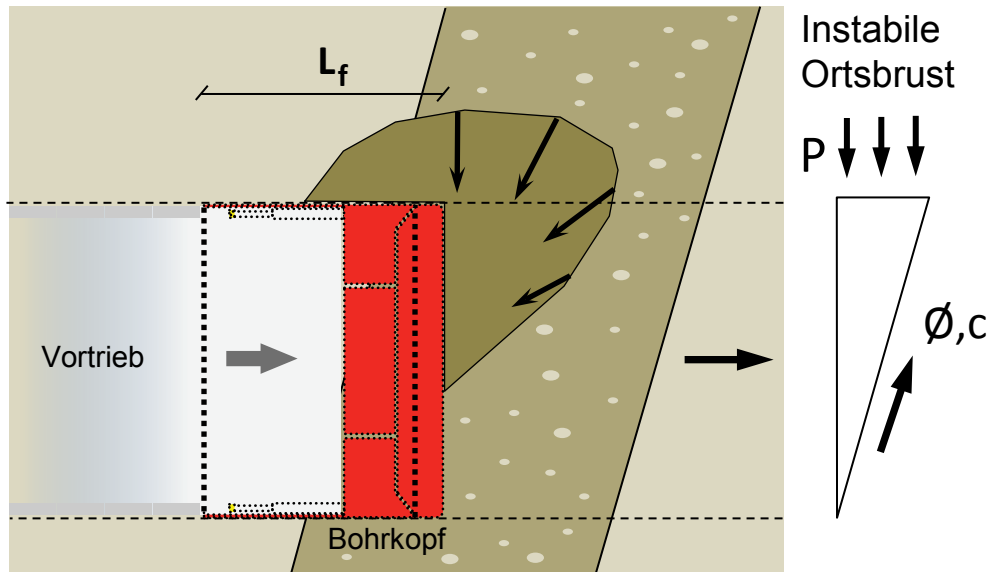
Massnahmen an der Vortriebsausrüstung

- Überschchnitt vor geplanten Stillständen
- konisch ausgebildeter Schildmantel
- Umlaufende systematische Schildschmierung bei aufliegendem Gebirge bzw. bei Quelldruck auf Schild

Gefährdungsbilder

Gefährdungsbild

Vortriebs-Stillstand aufgrund instabiler Ortsbrust und/oder Ausbruch aus der Firste



L_f : ungestützter Felsbereich = ca. 10 m

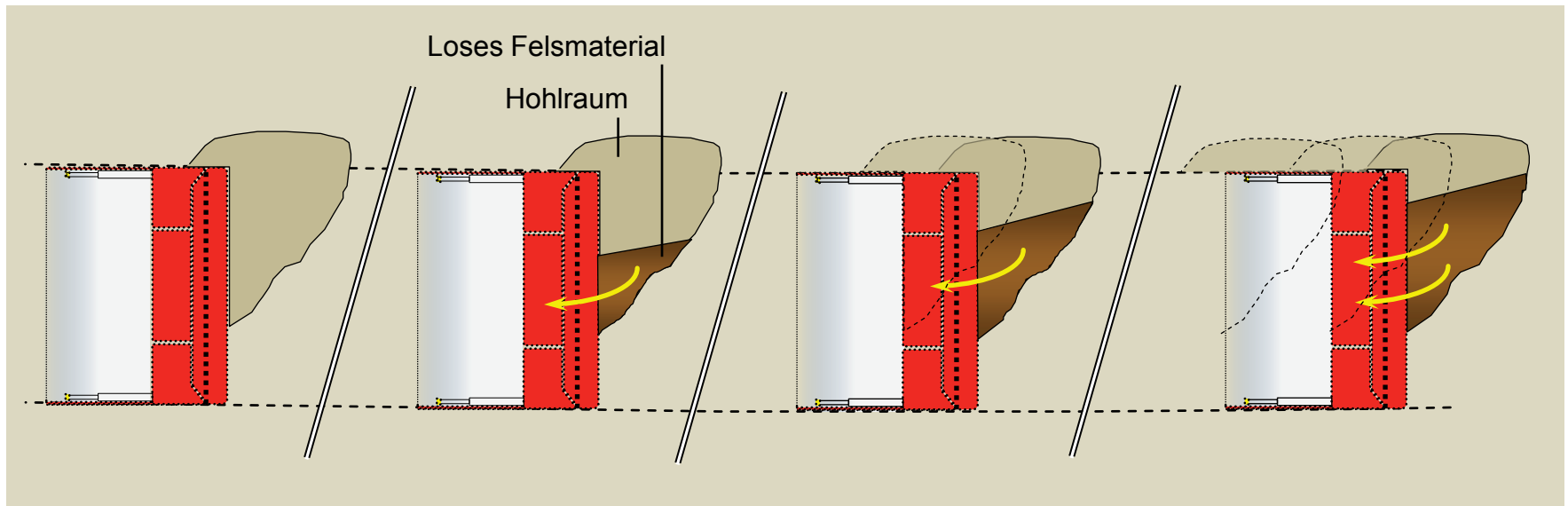
- Ursachen:
- reduzierte Gebirgskennwerte
 - Kluftsysteme
 - Rutschharnische / tonige Zwischenlagen

Folgen der instabilen Ortsbrust:

Hereinbrechendes Felsmaterial verstopft die Räumler

Grössere Blöcke führen zu Problemen bei der Bandanlage

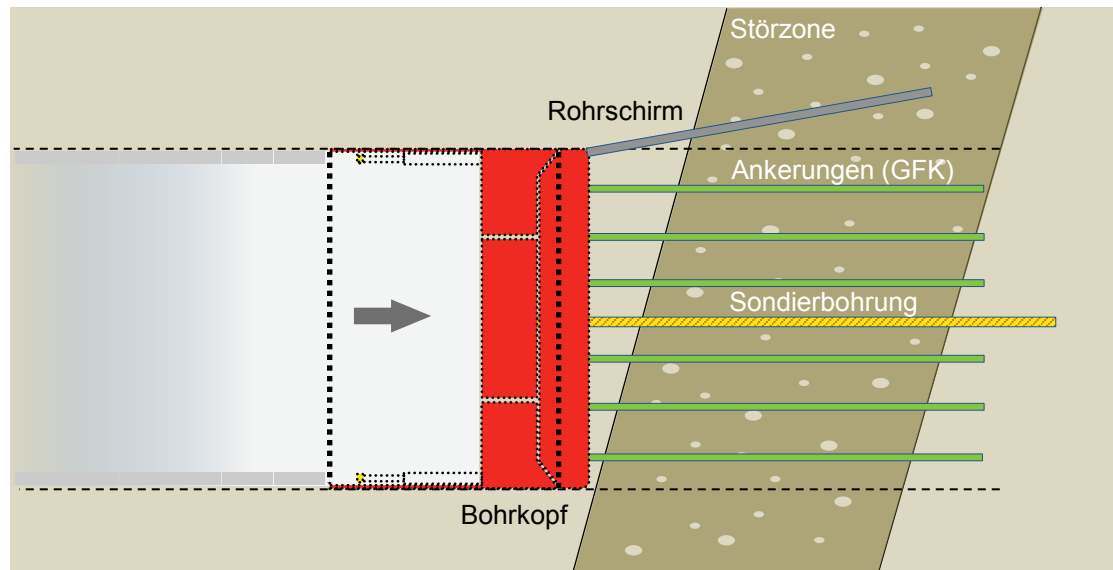
- ➔ Vortriebs-Stillstand
- ➔ Entfernen des Felsmaterials «von Hand» aus den Räumen



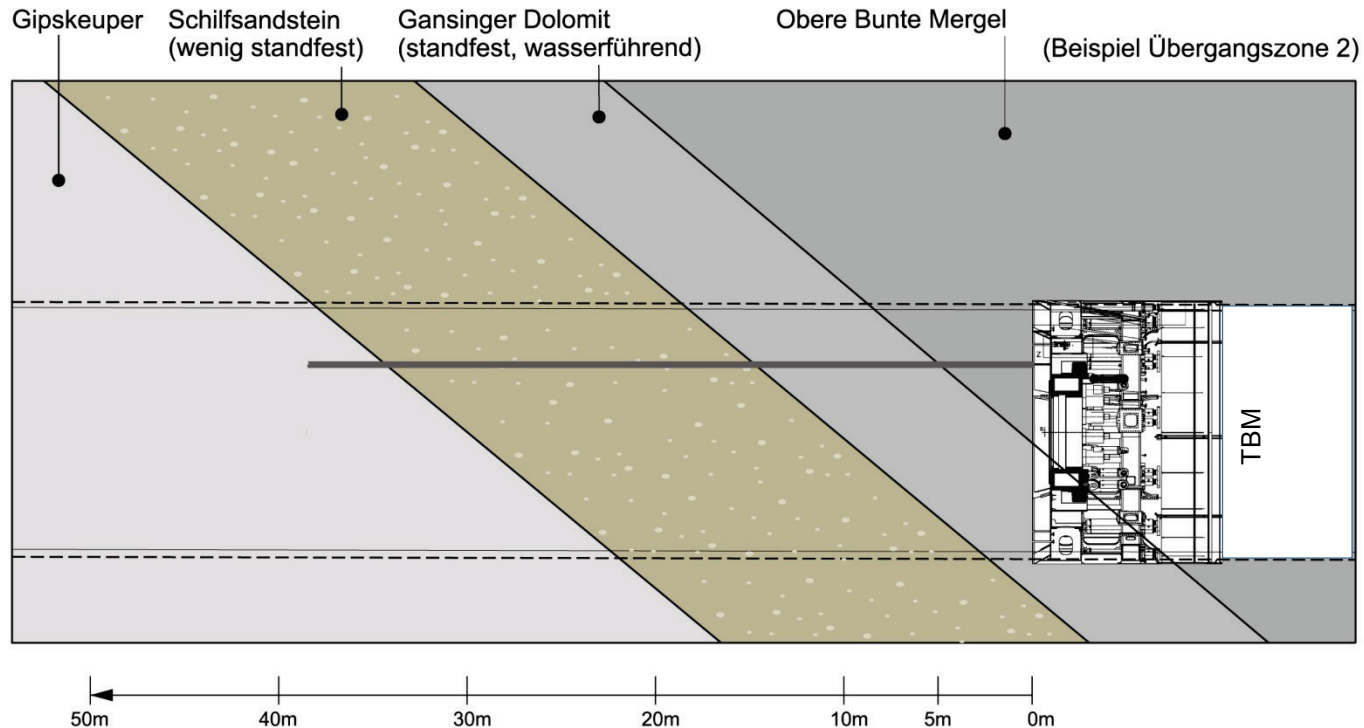
Massnahmen

Mögliche Massnahmen aus der TBM heraus:

- Vorauserkundung mittels Bohrungen
- Ortsbrustsicherung mittels Ankerungen
- Rohrschirm



Systematische Sondierbohrungen (Vorausbohrungen)



Bohrungen durch den Bohrkopf/Drehschlagbohrung

- \varnothing 64
- mit/ohne Kernentnahme
- Länge bis 40 m

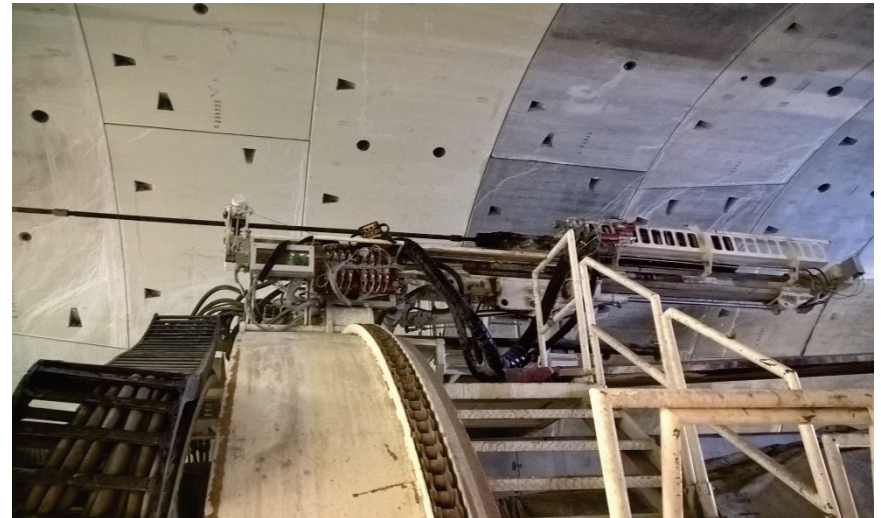
Ziel: Erkennen möglicher Störungszonen, bevor diese erreicht werden

➔ Massnahmen

Bohrlafette



Bohrlafette

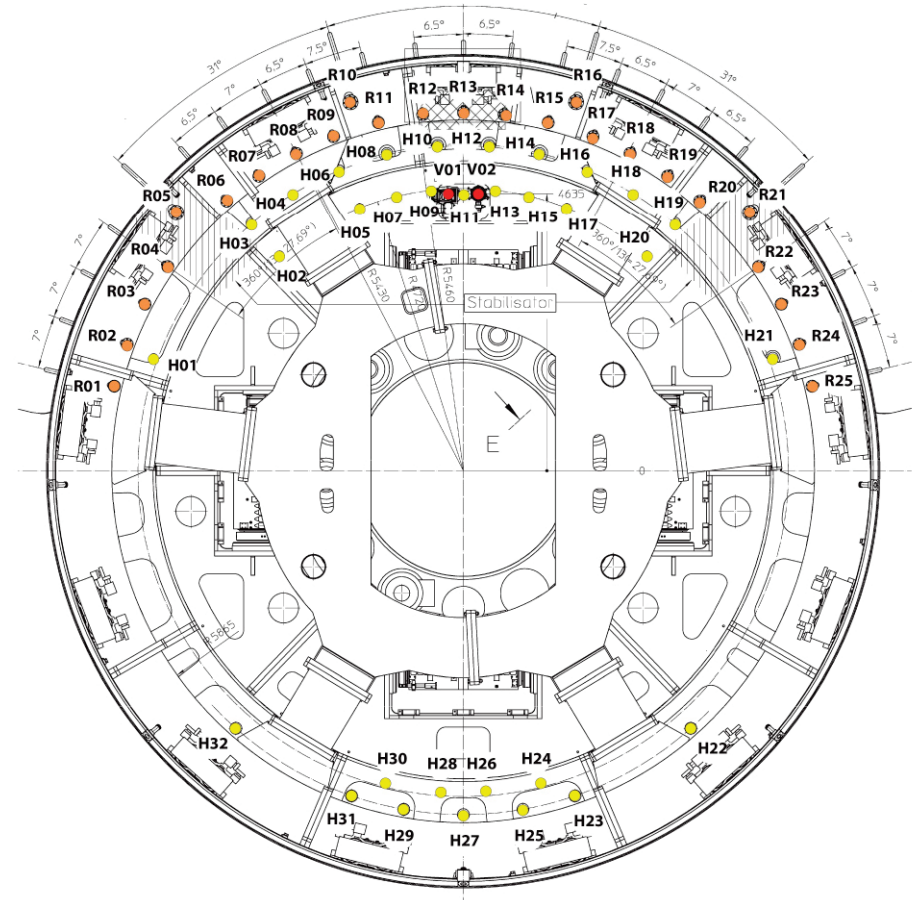


Massnahmen aus der TBM hinaus

Insgesamt 57 Bohrstandorte

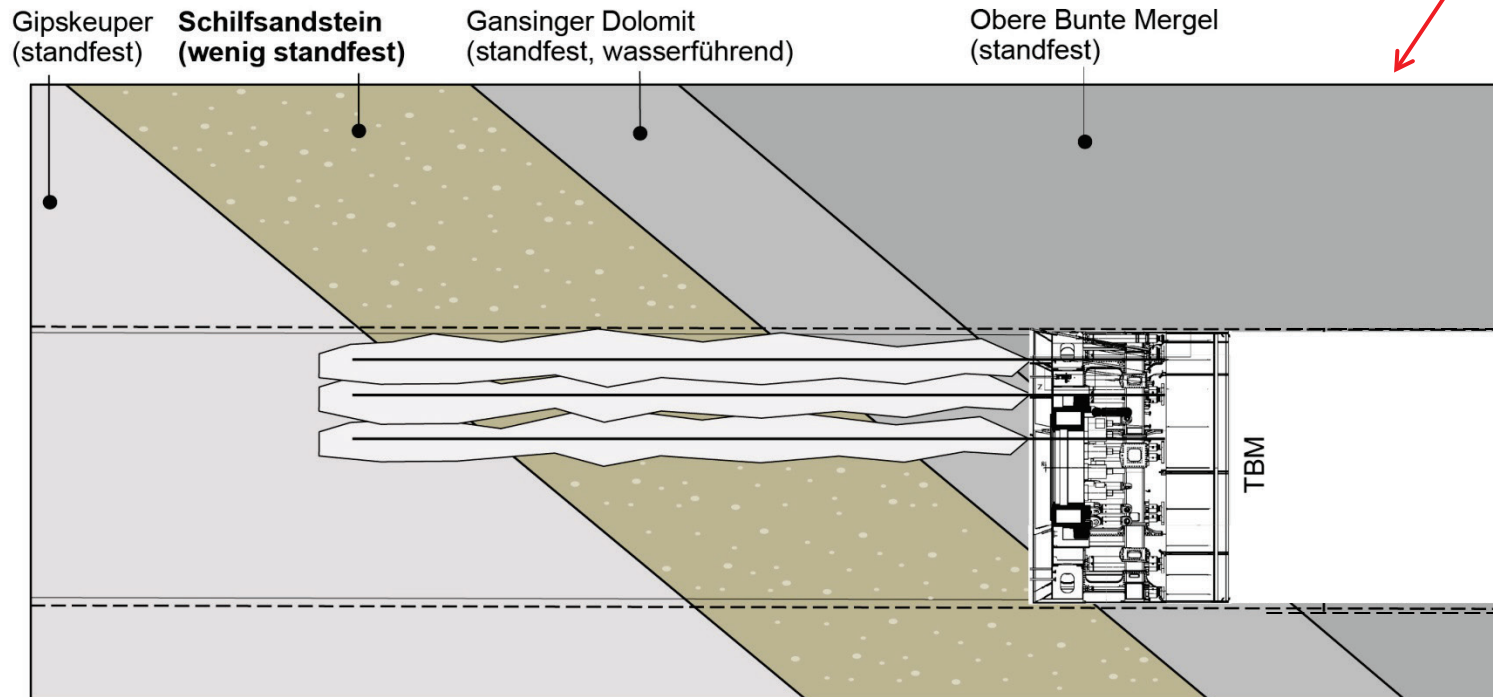
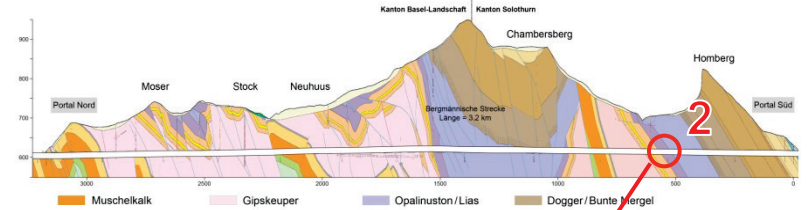


Bohrstandorte durch den Bohrkopf



© Marti/Herrenknecht

Ankerungen durch den Bohrkopf Übergangszone 2



Ankerungen durch den Bohrkopf

- Ankertyp: Sireg Durglass SD 32/15
GFK-Selbstbohranker; d=32 mm
versetzt in das vorgebohrte Bohrloch
- Anzahl: 9 Stück je Querschnitt
- Bohrung: Drehschlagbohrung \varnothing 64 mm
- Material: Injektionsmörtel auf Zementbasis
- Dauer: Bohrungen / Versetzen Anker /
Injektionen
Total: 2,5 Tage Vortriebsstillstand
- Nach der
Massnahme: Erfolgreiches Durchfahren der
Störzone ohne grössere Nieder-
brüche und Ablösungen aus der
Ortsbrust / Durchlaufbetrieb 27 m
in 28 Stunden Vortrieb



Termine:

2. Februar 2016: Vortriebsbeginn TBM

21. Juni 2017: Durchschlag
plangemäss nach
3,2 km Vortrieb

Ende 2018: Rohbauende /
anschliessend BSA

2021: Inbetriebnahme

Kosten Total: ca. 500 Mio CHF



Lehren/Empfehlungen

- Die geologisch/geotechnischen Homogenbereiche/Störzonen sind in enger Zusammenarbeit des Ingenieurs mit dem Geologen zu identifizieren.
- Das Erkennen der möglichen Gefährdungsbilder und die Planung der Massnahmen sind massgebend für den Projekterfolg → dazu gehört auch eine umfassende Risikoanalyse.
- Massnahmen aus der TBM hinaus (Bohrungen, Anker, Injektionen, Rohrschirm) sind nach heutigem Stand der Maschinenteknik möglich – sie müssen aber konkret und umfassend so «bestellt» werden.
- Die prognostizierten Schwierigkeiten in den Übergangszonen bezüglich Standfestigkeit / Ausbrüche Ortsbrust sind eingetreten. Mit den getroffenen Massnahmen konnte die Dauer der Stillstände eingegrenzt werden.
- Systematische Sondierbohrungen durch die TBM erlauben eine optimale Einsatzplanung notwendiger zusätzlicher Massnahmen.
- Das Vorgehen, nach 4 Monaten einen kompletten Ringschluss zu erreichen, hat sich bewährt.

Literaturhinweise

- [1] *Chiaverio, F.*: Dritte Belchentunnelröhre, STUVA 2017
- [2] *Chiaverio, F.*: Wahl der Vortriebsverfahren für die Dritte Belchentunnelröhre, WTC 2013
- [3] *Anagnostou, G.*: Zur Problematik des Tunnelbaus in quellfähigem Gebirge; Quellprobleme in der Geotechnik. Mitteilung Nr. 154 der Schweiz. Gesellschaft für Boden- und Felsmechanik, 2007.
- [4] *Amstad, Ch., Kovári, K.*: Untertagbau in quellfähigem Fels. Forschungsauftrag 52/94 ASTRA, 2001.
- [5] *Kirschke, D.*: Approaches to technical solutions for tunnelling in swellable ground/ Lösungsansätze für den Tunnelbau in quell- und schwellfähigem Gebirge. Geomechanis and Tunnelling 3 (2010) Nr. 5, S. 547-556
- [6] *Chiaverio, F.*: Gross-TBM-Vortrieb in schwierigen Verhältnissen, STUVA 1997