

Dritte Belchentunnelröhre: Neue Lösungen für Vortrieb und Konstruktion beim Tunnelbau in stark quellendem Gebirge

Referent:

Flavio Chiaverio

Dipl.-Ing. ETH/SIA, Aegerter & Bosshardt AG

Co-Autoren:

Ulrich Straumann

Dipl.-Ing. ETH/SIA, Emch + Berger AG

Sebastian Böheim

Dipl. Bauing. FH, ILF AG

Sergio Massignani

Dipl. Bauing. FH, Marti Tunnelbau AG



Inhalt

- ▶ Projektübersicht
- ▶ Anforderungen an die Planung
- ▶ Anforderungen an die Ausführung
- ▶ Ausgewählte Ausführungsdetails
- ▶ Zusammenfassung und Ausblick

Content

- ▶ *Project overview*
- ▶ *Requirements for planning*
- ▶ *Requirements for the execution*
- ▶ *Selected execution details*
- ▶ *Summary and outlook*

9. Februar 2016



3'176 m Vortrieb

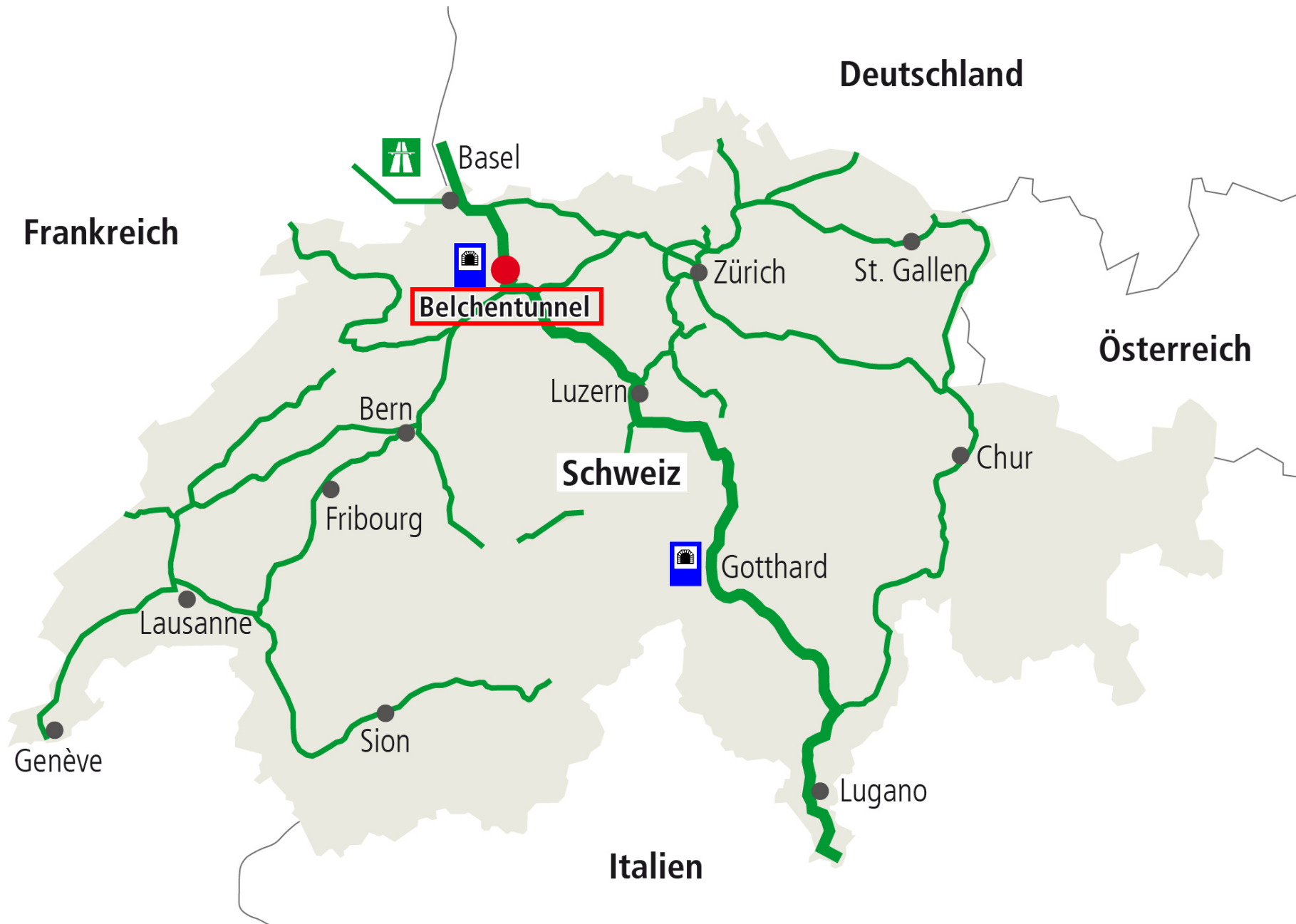


Inhalt

- ▶ **Projektübersicht**
- ▶ Anforderungen an die Planung
- ▶ Anforderungen an die Ausführung
- ▶ Ausgewählte Ausführungsdetails
- ▶ Zusammenfassung und Ausblick

Content

- ▶ *Project overview*
- ▶ *Requirements for planning*
- ▶ *Requirements for the execution*
- ▶ *Selected execution details*
- ▶ *Summary and outlook*



Inhalt

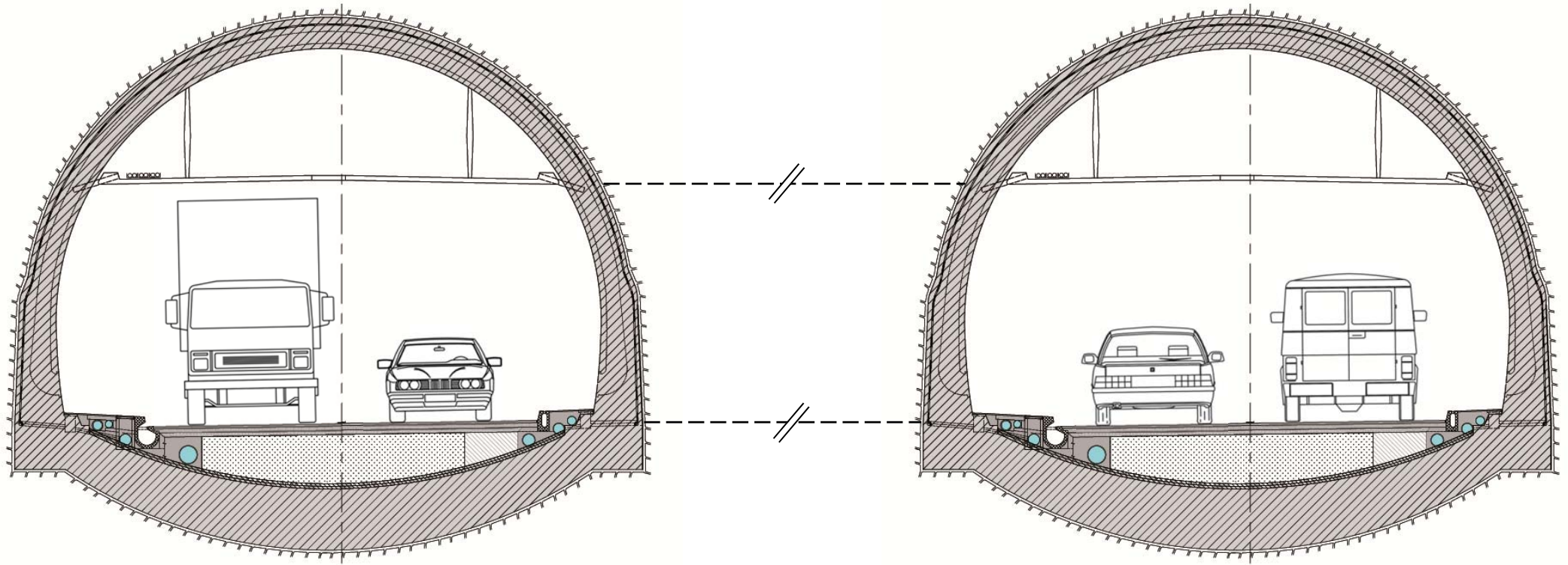
- ▶ Projektübersicht
- ▶ Anforderungen an die Planung
- ▶ Anforderungen an die Ausführung
- ▶ Ausgewählte Ausführungsdetails
- ▶ Zusammenfassung und Ausblick

Content

- ▶ *Project overview*
- ▶ *Requirements for planning*
- ▶ *Requirements for the execution*
- ▶ *Selected execution details*
- ▶ *Summary and outlook*

Bestehende Belchentunnelröhren

- ▶ Inbetriebnahme im Jahr 1970
Commissioning in 1970
- ▶ 3,2 km lang – 2 x 2 Spuren
- ▶ Durchschnittlicher täglicher Verkehr:
52'000 Fahrzeuge (11% LKW-Anteil)
- ▶ Rund 60% in quellhaften Gesteinsformationen
(Anhydrit- und Tongesteine)
davon 1,2 km im Gipskeuper (Anhydritgestein)
*Around 60% in swelling rock formation
(anhydrites and clay rock)
thereof 1,2 km in Gipskeuper (anhydrite rock)*



Inhalt

- ▶ **Projektübersicht**
- ▶ Anforderungen an die Planung
- ▶ Anforderungen an die Ausführung
- ▶ Ausgewählte Ausführungsdetails
- ▶ Zusammenfassung und Ausblick

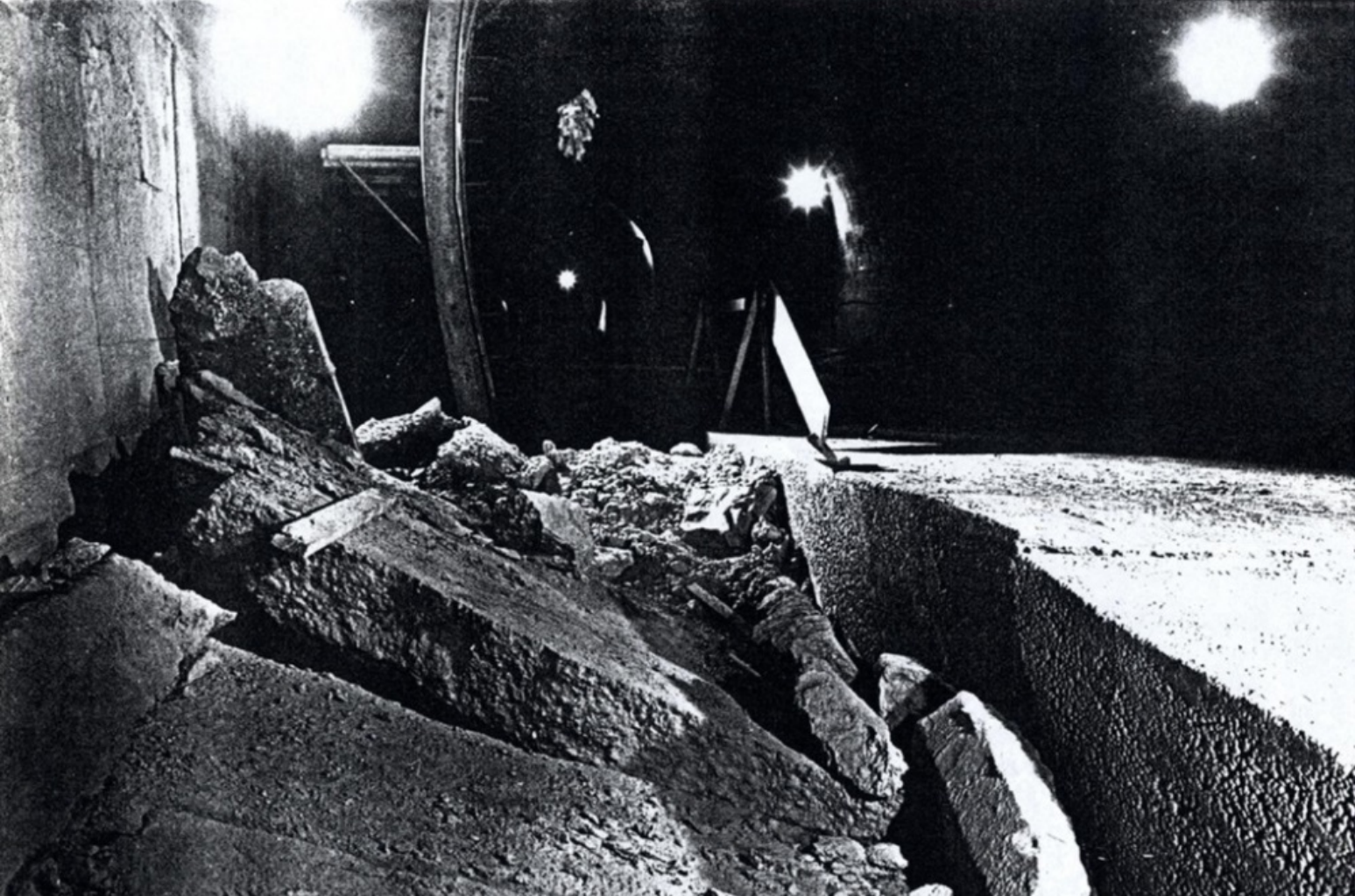
Content

- ▶ **Project overview**
- ▶ *Requirements for planning*
- ▶ *Requirements for the execution*
- ▶ *Selected execution details*
- ▶ *Summary and outlook*

Schadensbilder während dem Bau



Damage symptoms during construction



Inhalt

- ▶ **Projektübersicht**
- ▶ Anforderungen an die Planung
- ▶ Anforderungen an die Ausführung
- ▶ Ausgewählte Ausführungsdetails
- ▶ Zusammenfassung und Ausblick

Content

- ▶ **Project overview**
- ▶ *Requirements for planning*
- ▶ *Requirements for the execution*
- ▶ *Selected execution details*
- ▶ *Summary and outlook*

Schadensbilder in der Betriebsphase



Damage symptoms during the operating phase



Inhalt

- ▶ **Projektübersicht**
- ▶ Anforderungen an die Planung
- ▶ Anforderungen an die Ausführung
- ▶ Ausgewählte Ausführungsdetails
- ▶ Zusammenfassung und Ausblick

Content

- ▶ *Project overview*
- ▶ *Requirements for planning*
- ▶ *Requirements for the execution*
- ▶ *Selected execution details*
- ▶ *Summary and outlook*

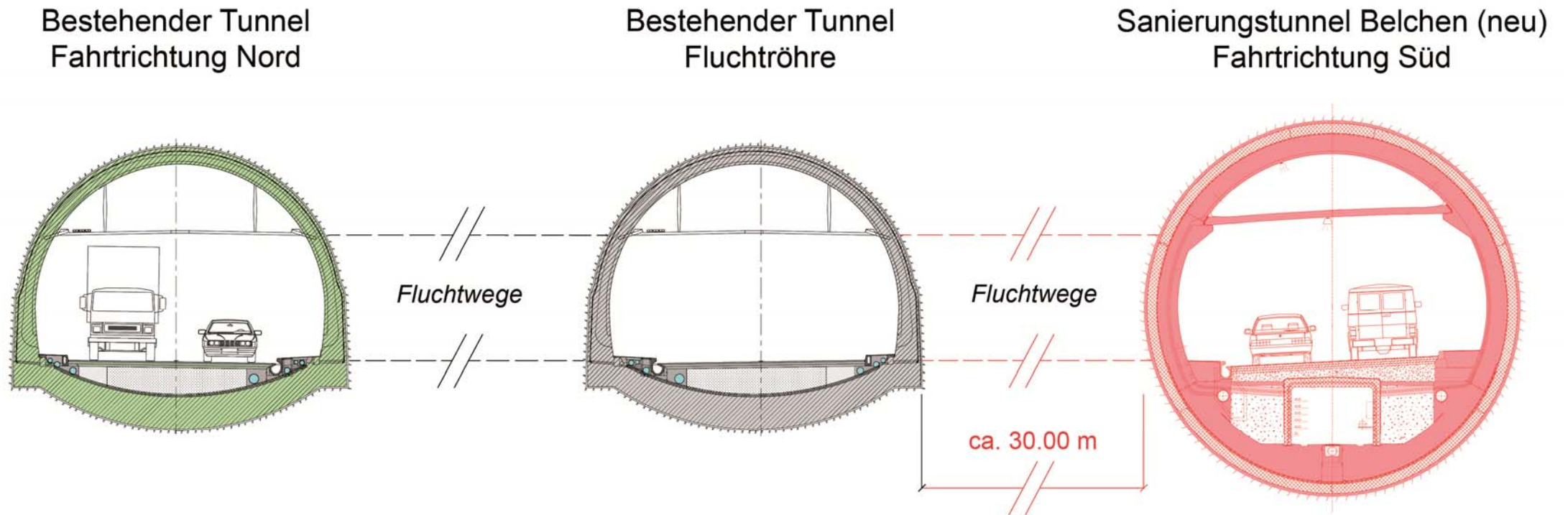


Zunahme der Schäden an der Tragstruktur

- ▶ **Entscheid für eine umfangreiche, nachhaltige Sanierung**
- ▶ **Vorgabe: Aufrechterhaltung von 2 x 2 Spuren am Tag während Sanierung**

- ▶ **Entscheid für eine dritte Belchentunnelröhre**
(Sanierungstunnel, STB), damit auch während der Sanierung der bestehenden Röhren immer 2 x 2 Fahrspuren zur Verfügung stehen

Decision for a third Belchen tunnel tube (rehabilitation tunnel) to ensure 2 x 2 lanes even during the rehabilitation of the existing tubes.



Die bestehenden 2 Tunnelröhren werden nach Eröffnung des STB saniert
The existing tunnel tubes will be rehabilitated after the opening of the STB

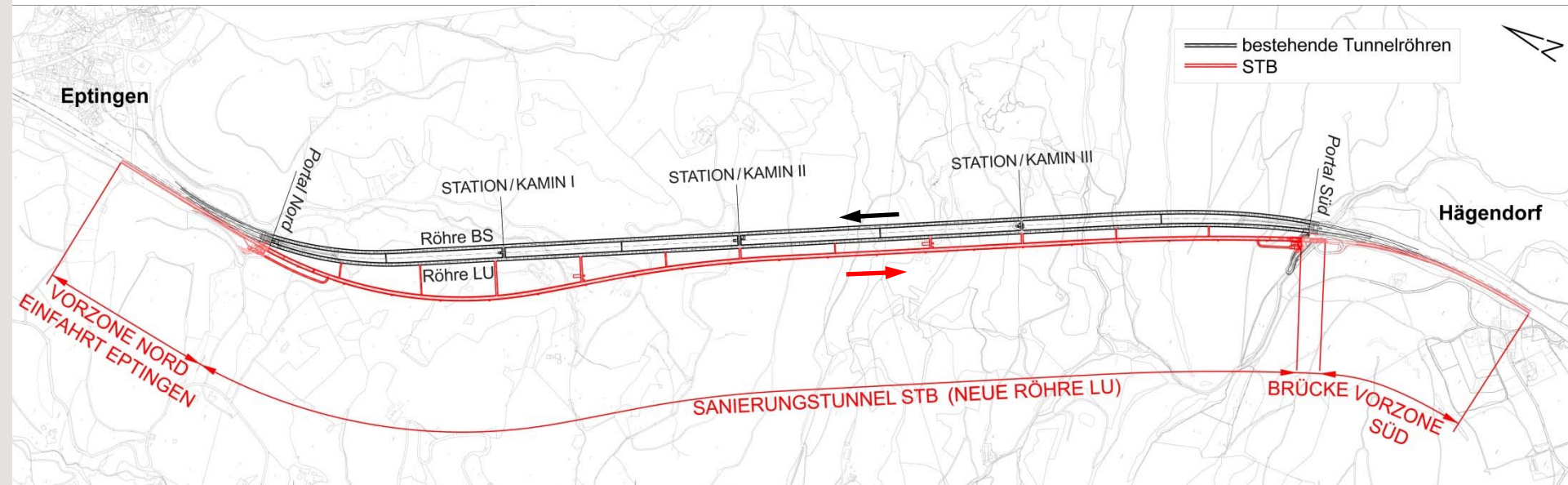
Inhalt

- ▶ Projektübersicht
- ▶ Anforderungen an die Planung
- ▶ Anforderungen an die Ausführung
- ▶ Ausgewählte Ausführungsdetails
- ▶ Zusammenfassung und Ausblick

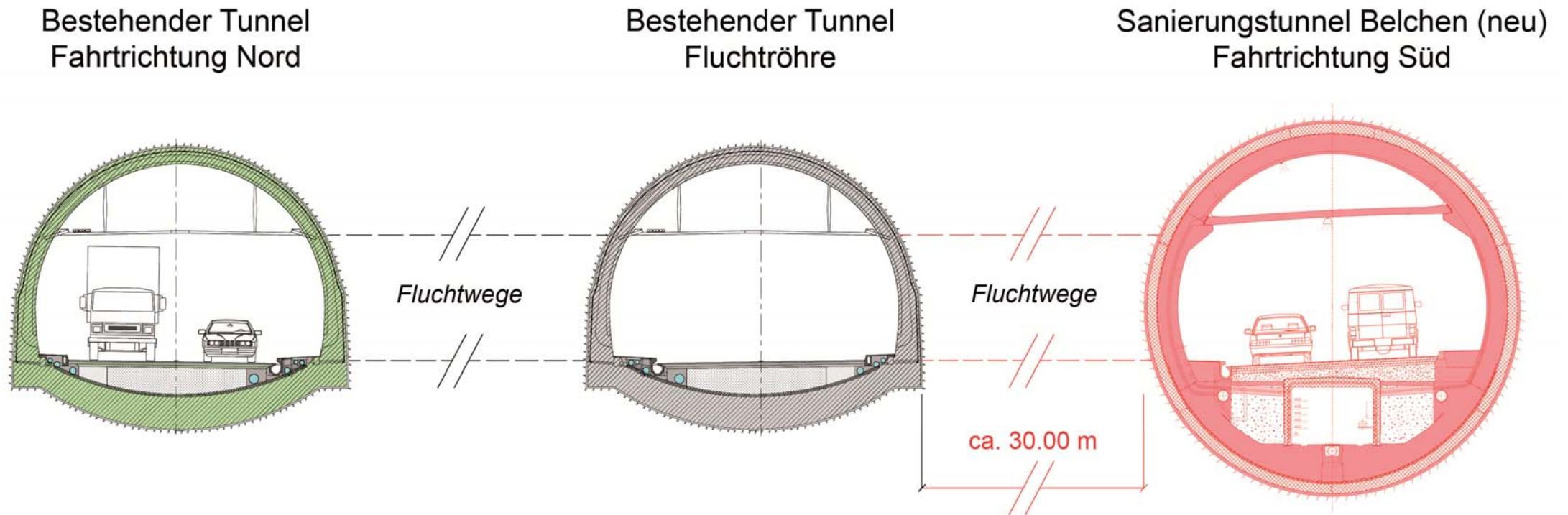
Content

- ▶ *Project overview*
- ▶ *Requirements for planning*
- ▶ *Requirements for the execution*
- ▶ *Selected execution details*
- ▶ *Summary and outlook*

Situation



11 (6 begehbar / 5 befahrbar) neue Querverbindungen zur bestehenden Röhre



Die bestehenden 2 Tunnelröhren werden nach Eröffnung des STB saniert
The existing tunnel tubes will be rehabilitated after the opening of the STB

Inhalt

- ▶ **Projektübersicht**
- ▶ Anforderungen an die Planung
- ▶ Anforderungen an die Ausführung
- ▶ Ausgewählte Ausführungsdetails
- ▶ Zusammenfassung und Ausblick

Content

- ▶ **Project overview**
- ▶ *Requirements for planning*
- ▶ *Requirements for the execution*
- ▶ *Selected execution details*
- ▶ *Summary and outlook*

Geologischer Längsschnitt

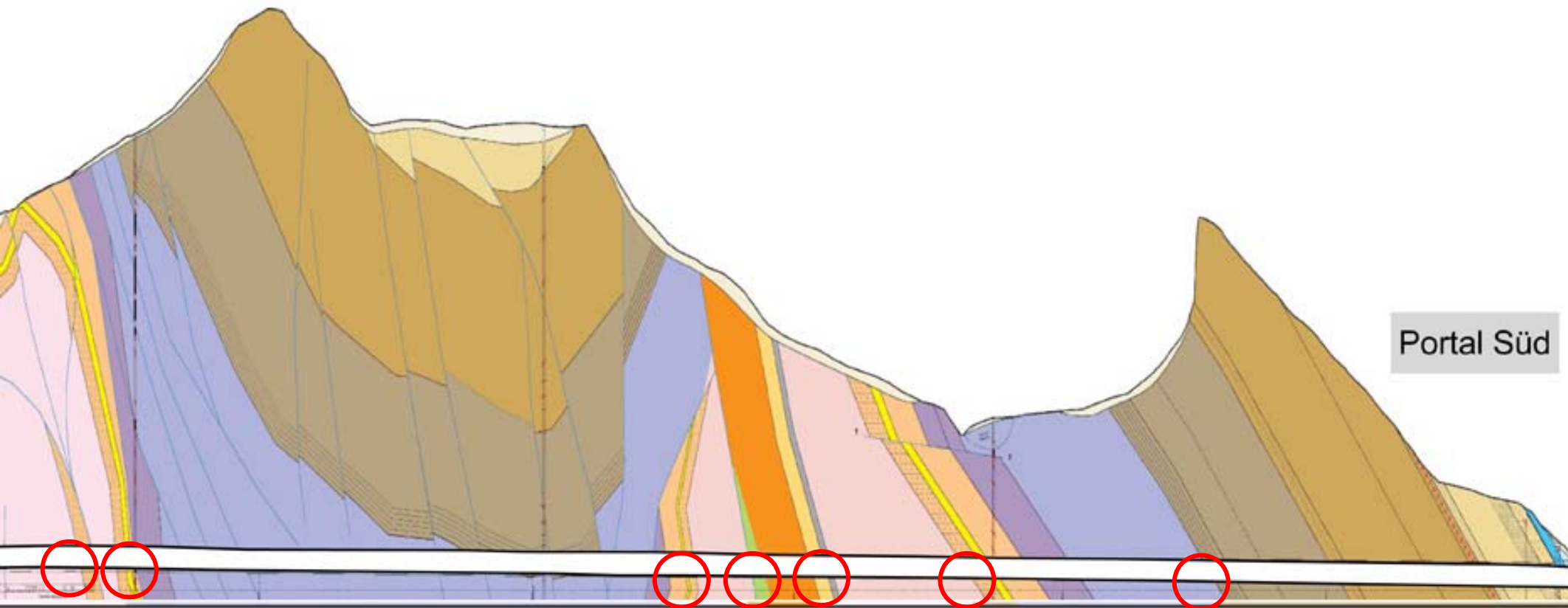


Bergmännische Strecke: Länge = 3,2 km

Gipskeuper (Tone, Mergel, Anhydrit)	40% der Strecke
Opalinustone	20% der Strecke
Kalk-/Mergelgestein	40% der Strecke

➔ stark quellfähig / strongly swelling rock

➔ quellfähig / swelling rock



Portal Süd

Gipskeuper

Opalinuston / Lias

Schichtübergänge mit gestörten Felsverhältnissen

Inhalt

- ▶ Projektübersicht
- ▶ **Anforderungen an die Planung**
- ▶ Anforderungen an die Ausführung
- ▶ Ausgewählte Ausführungsdetails
- ▶ Zusammenfassung und Ausblick

Content

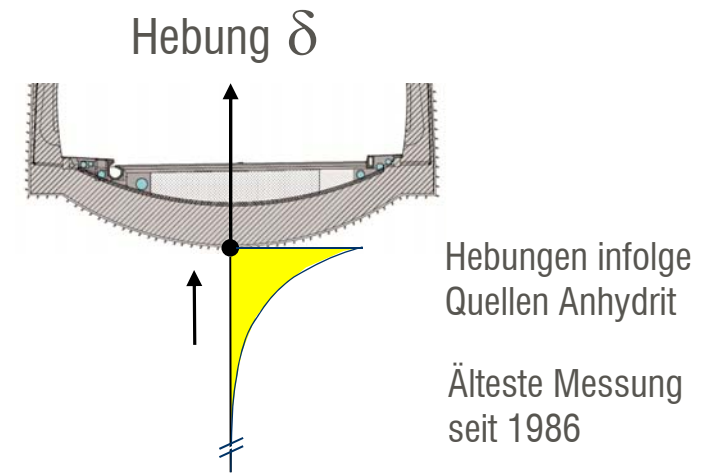
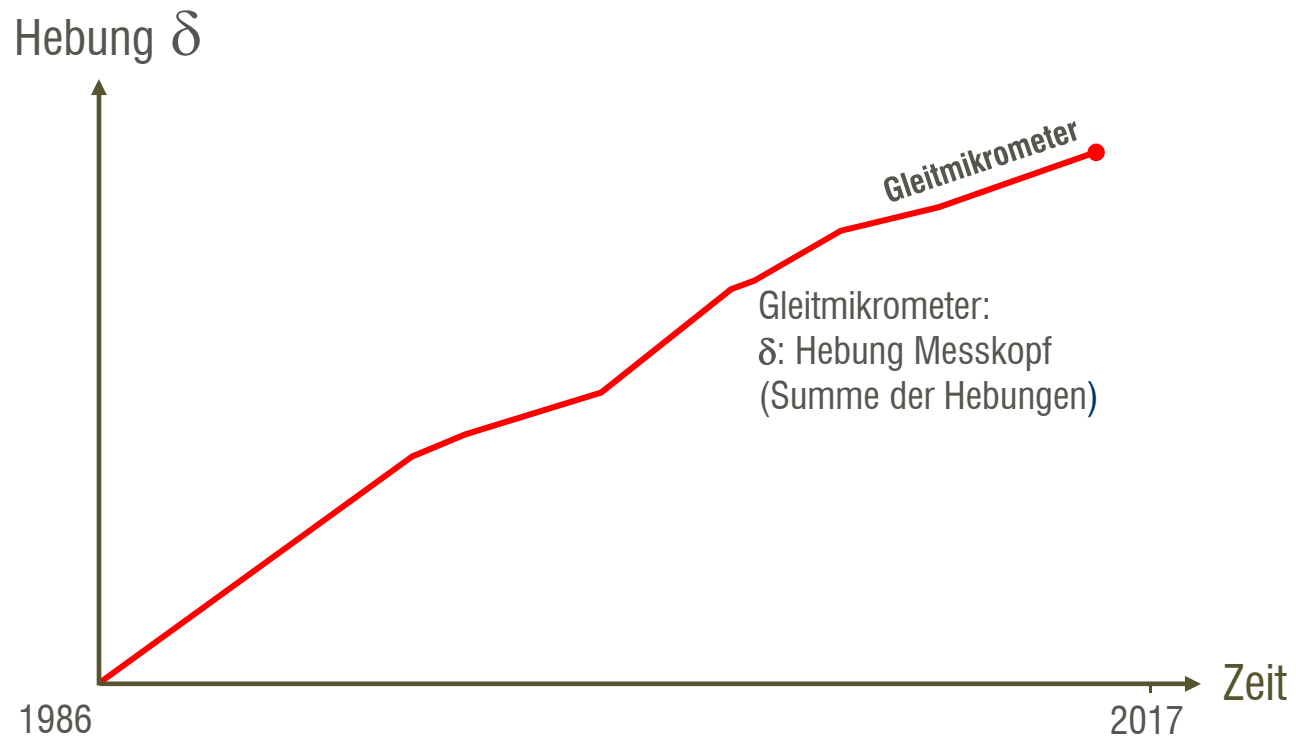
- ▶ *Project overview*
- ▶ ***Requirements for planning***
- ▶ *Requirements for the execution*
- ▶ *Selected execution details*
- ▶ *Summary and outlook*

Anforderungen an die Planung

Gefährdungsbild: Quelldruckbelastung im Gipskeuper
(Anhydrit → Gips)

Hazard scenario: swelling pressure in the Gipskeuper
(anhydrite -> gypsum)

- ▶ Entscheid Widerstandsprinzip
- ▶ Hohe Drücke auf das Tunnelgewölbe im Widerstandsprinzip
- ▶ Lang anhaltende Quellverformungs- und Quelldruckentwicklung



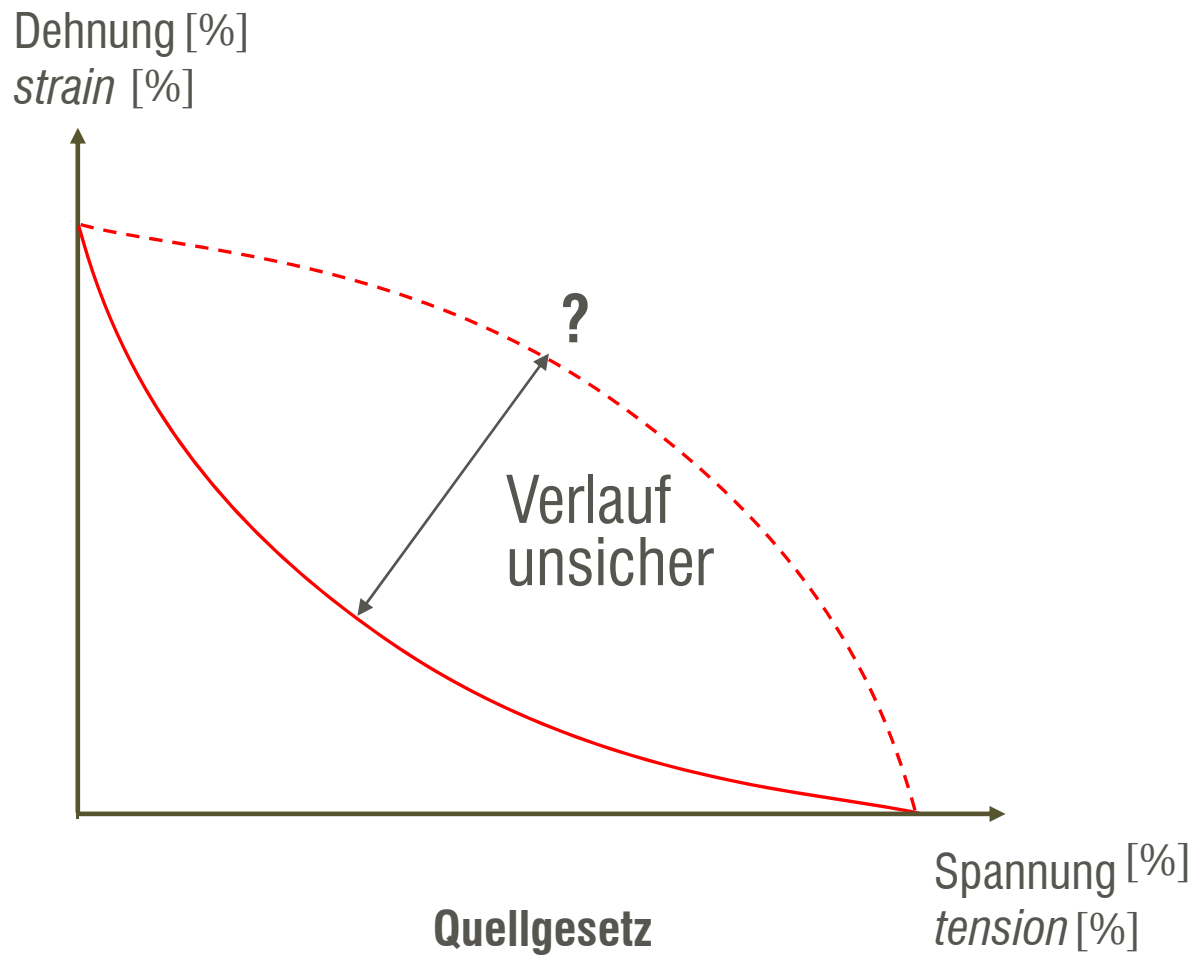
Inhalt

- ▶ Projektübersicht
- ▶ **Anforderungen an die Planung**
- ▶ Anforderungen an die Ausführung
- ▶ Ausgewählte Ausführungsdetails
- ▶ Zusammenfassung und Ausblick

Content

- ▶ *Project overview*
- ▶ ***Requirements for planning***
- ▶ *Requirements for the execution*
- ▶ *Selected execution details*
- ▶ *Summary and outlook*

- ▶ Unsicherheiten beim Quellgesetz
Uncertainties with the law of swelling
 - Meistens lang andauernder Quellprozess
 - Trotz Deformationen, hoher zu erwartender Quelldruck
→ Hoher Tragwerkswiderstand notwendig



Zunehmende Verformung
 \neq
abnehmender Druck auf
eine lange Zeit betrachtet

Inhalt

- ▶ Projektübersicht
- ▶ **Anforderungen an die Planung**
- ▶ Anforderungen an die Ausführung
- ▶ Ausgewählte Ausführungsdetails
- ▶ Zusammenfassung und Ausblick

Content

- ▶ *Project overview*
- ▶ ***Requirements for planning***
- ▶ *Requirements for the execution*
- ▶ *Selected execution details*
- ▶ *Summary and outlook*

Bemessung im Widerstandsprinzip

Ansatz:

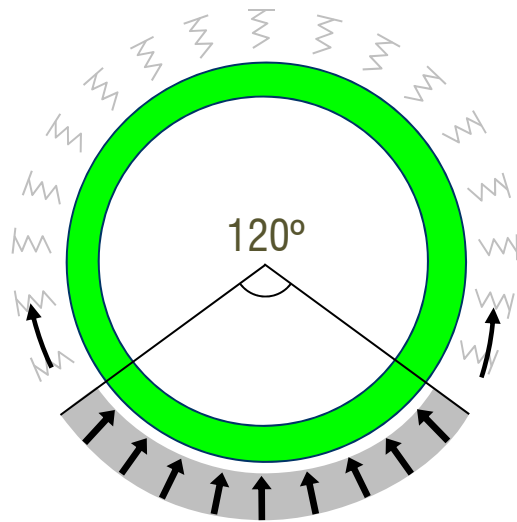
Quelldruck als äussere Einwirkung auf die Tunnelkonstruktion

- ▶ Festlegen (empirisch) eines maximal zu erwartenden Quelldrucks (Maximum beim STB: $q=4,0$ MPa) als äussere Einwirkung

Approach:

Swelling pressure as an external influence on the tunnel construction

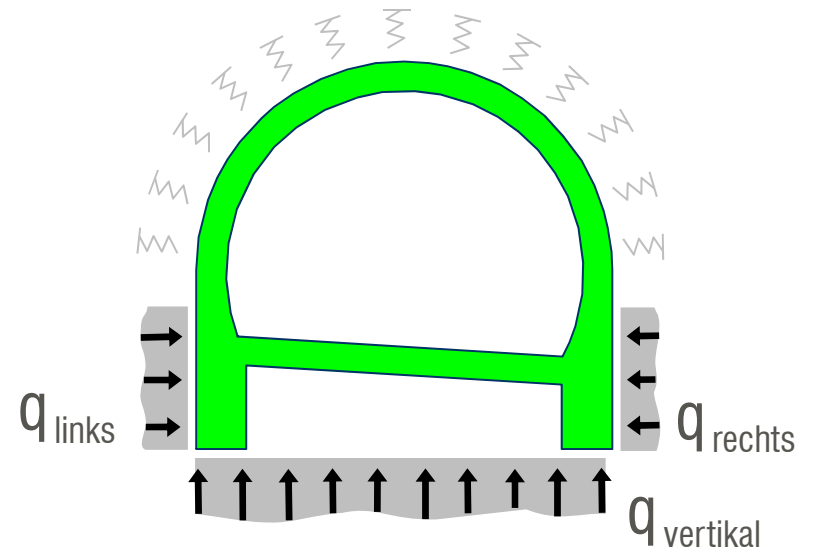
- ▶ Unterschiedliche Lastangriffe möglich (*Different load applications are possible*)



Endzustand
 $q = 4\text{MPa}$
auf Tübbinge
und
Innengewölbe

Lastfaktor: $\gamma_f = 1,0$
Widerstandsbeiwert
Beton: $\gamma_m = 1,5$

Beispiel Chienbergtunnel (Schweiz)



Horizontale und vertikale
Verformungen infolge
Quelldruck im gleichen
Querschnitt messbar

Inhalt

- ▶ Projektübersicht
- ▶ **Anforderungen an die Planung**
- ▶ Anforderungen an die Ausführung
- ▶ Ausgewählte Ausführungsdetails
- ▶ Zusammenfassung und Ausblick

Content

- ▶ *Project overview*
- ▶ ***Requirements for planning***
- ▶ *Requirements for the execution*
- ▶ *Selected execution details*
- ▶ *Summary and outlook*

Bemessung im Widerstandsprinzip

Ansatz:

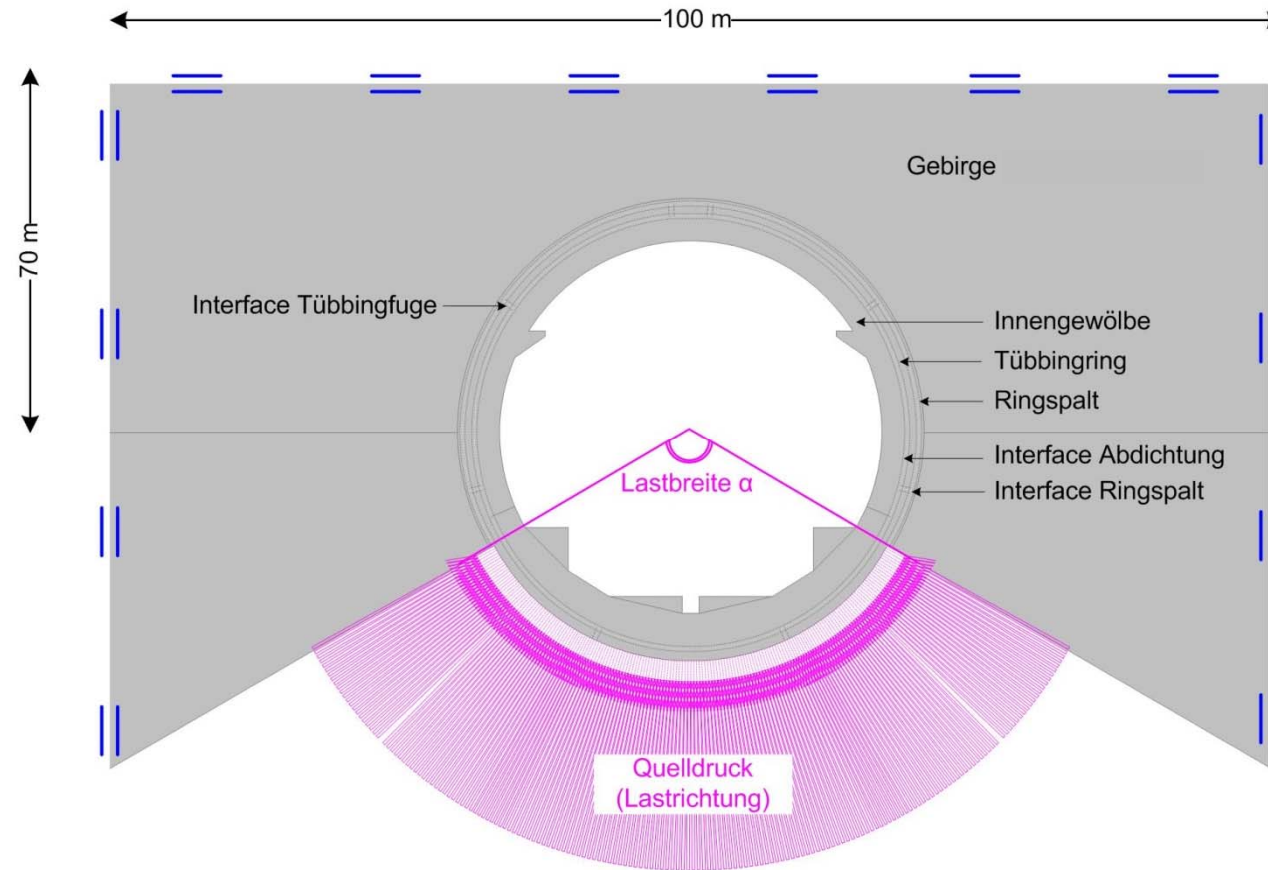
Quelldruck als äussere Einwirkung auf die Tunnelkonstruktion

- ▶ Festlegen (empirisch) eines maximal zu erwartenden Quelldrucks (Maximum beim STB: $q=4,0$ MPa) als äussere Einwirkung

deshalb Lastfaktor: $\gamma_f = 1,0$

Widerstandsbeiwert Beton: $\gamma_m = 1,5$

► Ermittlung der Schnittkräfte mittels statischen Modellen



Inhalt

- ▶ Projektübersicht
- ▶ **Anforderungen an die Planung**
- ▶ Anforderungen an die Ausführung
- ▶ Ausgewählte Ausführungsdetails
- ▶ Zusammenfassung und Ausblick

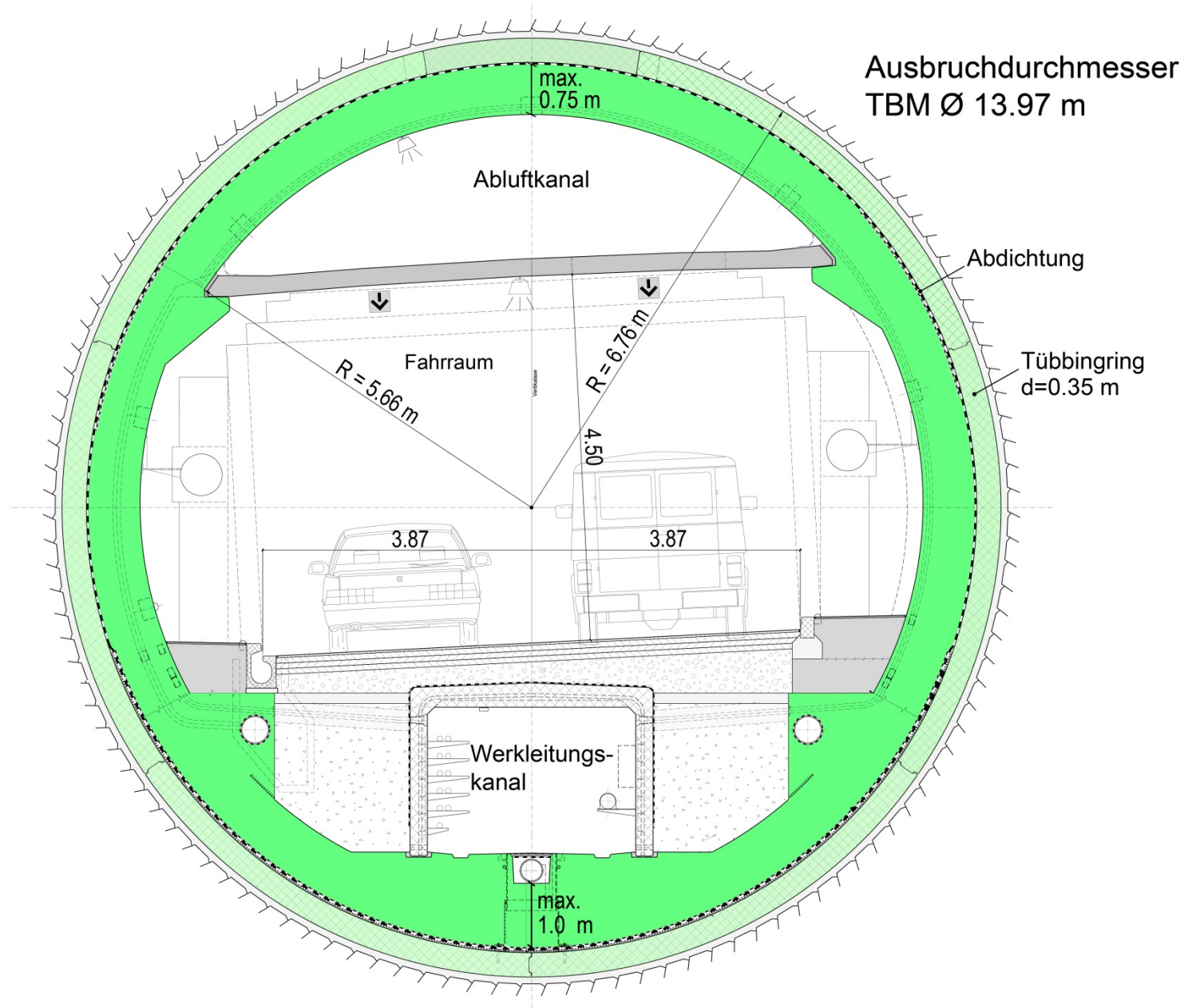
Content

- ▶ *Project overview*
- ▶ ***Requirements for planning***
- ▶ *Requirements for the execution*
- ▶ *Selected execution details*
- ▶ *Summary and outlook*

Normalprofil TBM-Vortrieb

Bemessung der Tübbinge und des Ortsbetoninnengewölbes

- ▶ Tübbingring (*Segment*):
 - 6+1 Tübbingelemente
 - Stärke 0,35m, Beton C55/67
 - Epoxidharzbeschichtung im Gipskeuper unmittelbar nach der Vorfabrikation aufgebracht
- ▶ Innengewölbe (*Tunnel lining*):
 - Maximale Stärken im Gipskeuper:
Sohle: 1,00 m
Gewölbe: 0,75 m
 - PVC Abdichtungsfolie zwischen Tübbingring und Innengewölbe



Inhalt

- ▶ Projektübersicht
- ▶ **Anforderungen an die Planung**
- ▶ Anforderungen an die Ausführung
- ▶ Ausgewählte Ausführungsdetails
- ▶ Zusammenfassung und Ausblick

Content

- ▶ *Project overview*
- ▶ ***Requirements for planning***
- ▶ *Requirements for the execution*
- ▶ *Selected execution details*
- ▶ *Summary and outlook*

Entwässerung

Gefährdung:

Bergwasser läuft längs entlang des Tunnels in quellhafte Gesteinszonen

Lösung:

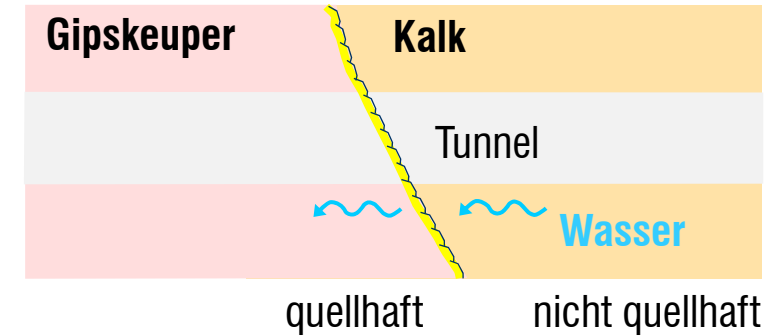
Sickerschlitz

Entnahme und Ableitung
Bergwasser, das längslaufend
entlang der Sohle zirkuliert

Anordnung:

Vor Übergang zu quellfähigem Gestein

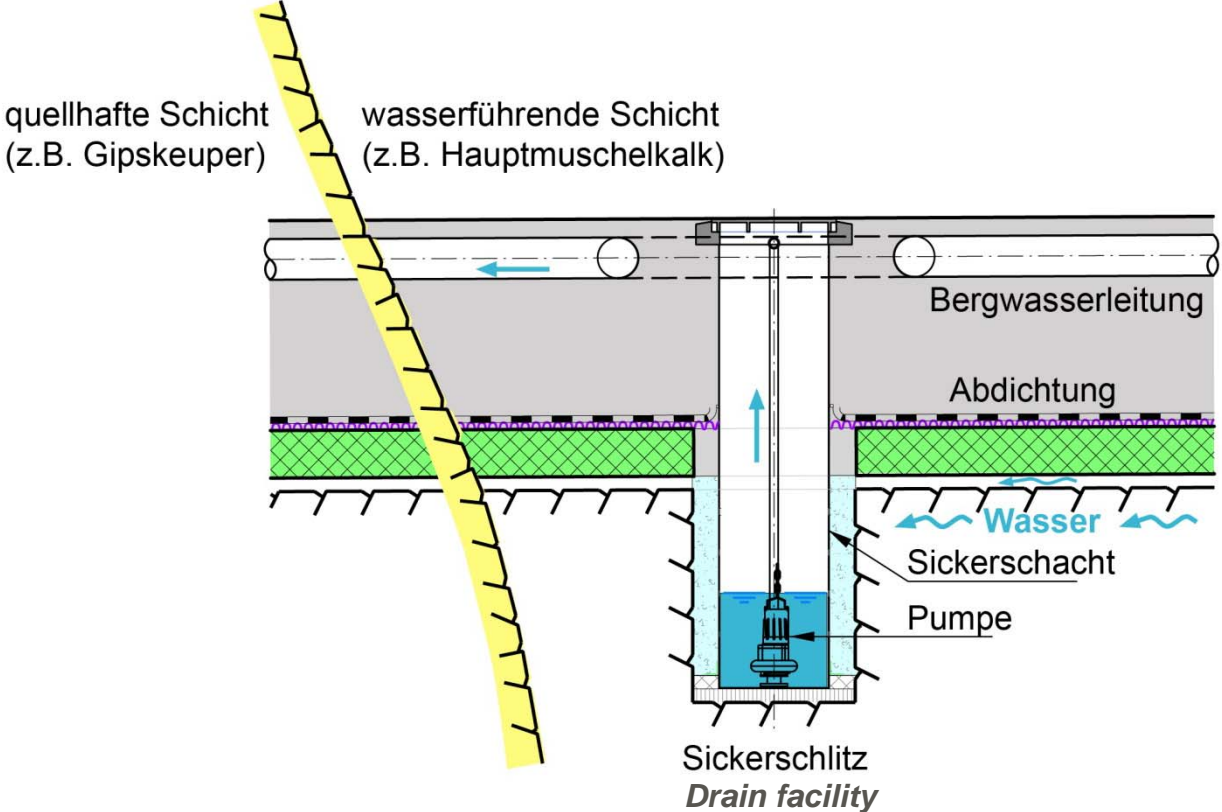
Total 16 Sickerschlitz



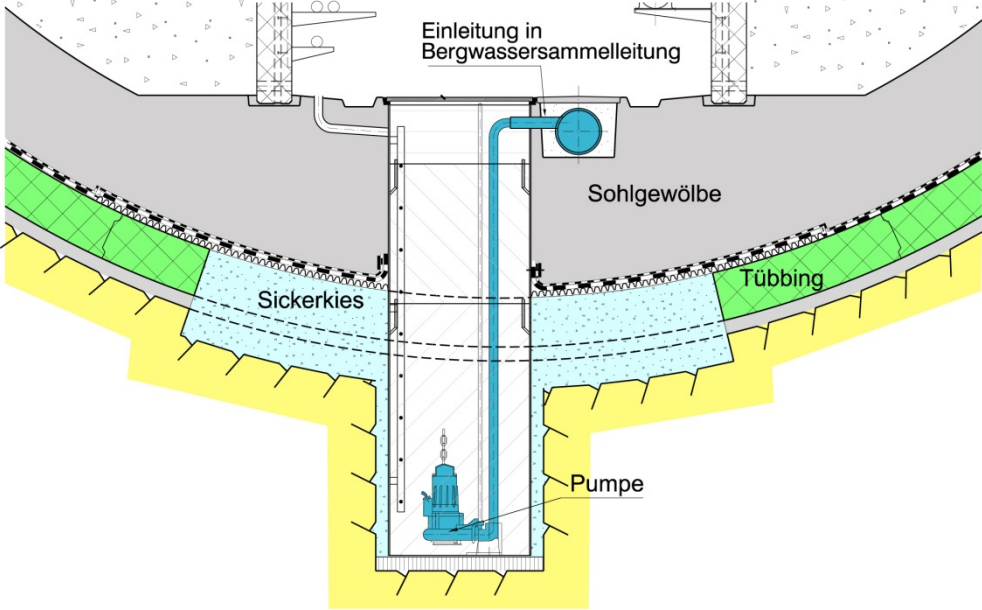
Drain facilities:

*Extraction and derivation of
mountain water circulating
alongside the tunnel invert*

Schnitt in Tunnellängsrichtung



Querschnitt



Inhalt

- ▶ Projektübersicht
- ▶ **Anforderungen an die Planung**
- ▶ Anforderungen an die Ausführung
- ▶ Ausgewählte Ausführungsdetails
- ▶ Zusammenfassung und Ausblick

Content

- ▶ *Project overview*
- ▶ ***Requirements for planning***
- ▶ *Requirements for the execution*
- ▶ *Selected execution details*
- ▶ *Summary and outlook*

Betonrezepturen (*Concrete mixes*)

Hohe Anforderungen an den Beton in quellhaften Gesteinszonen

- ▶ Hohe Festigkeiten / *High strength*
- ▶ Hohe Sulfatresistenz / *High sulfate resistance*

Ausnutzen der Möglichkeiten in der Betontechnologie

Spezielle Betonrezeptur: C55/67 für Tübbinge und Innengewölbe

Druckfestigkeit C55/67
 f_{ck} [N/mm²] nach 28 Tagen

Gewölbebeton (Ortsbeton):

193 Proben

Ø: 75.5 N/mm²

Maximaler Wert: 87 N/mm²

Tübbingbeton (Vorfabrikation):

133 Proben

Ø: 89.5 N/mm²

Maximaler Wert: 105 N/mm²



Inhalt

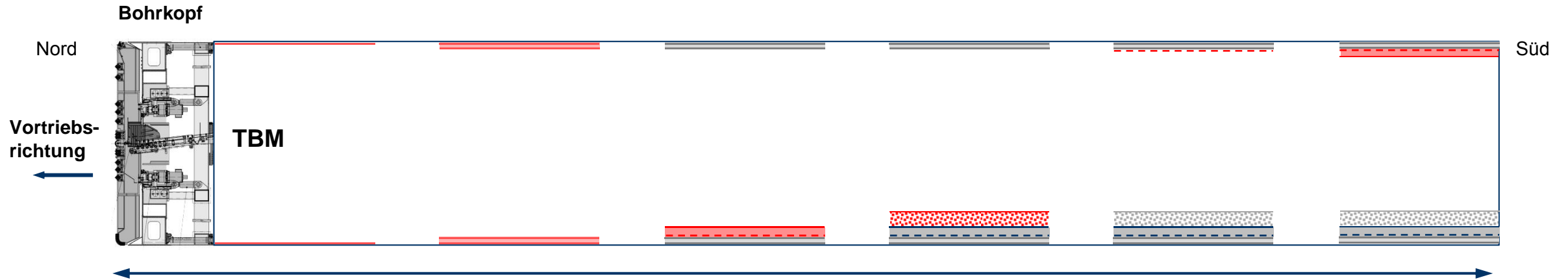
- ▶ Projektübersicht
- ▶ Anforderungen an die Planung
- ▶ **Anforderungen an die Ausführung**
- ▶ Ausgewählte Ausführungsdetails
- ▶ Zusammenfassung und Ausblick

Content

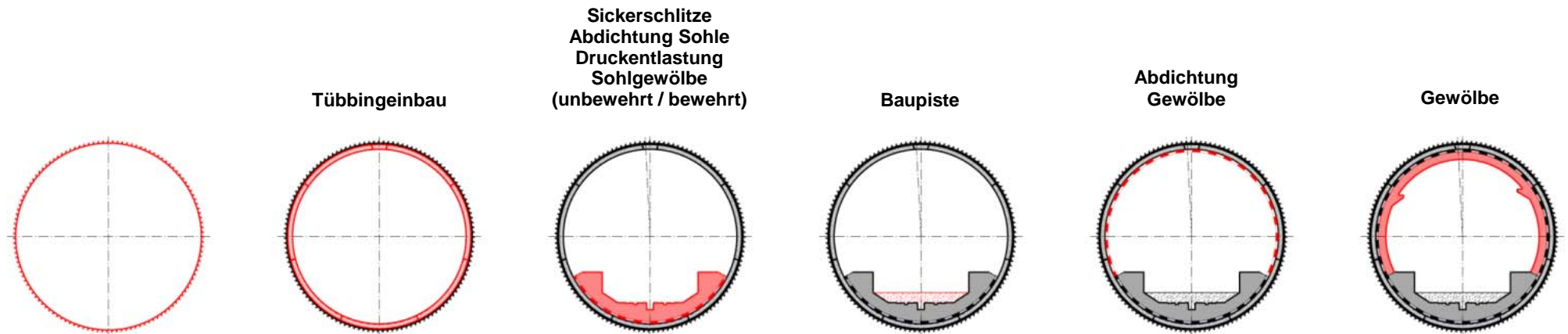
- ▶ *Project overview*
- ▶ *Requirements for planning*
- ▶ ***Requirements for the execution***
- ▶ *Selected execution details*
- ▶ *Summary and outlook*

Anforderungen an die Ausführung

- ▶ Rascher Ringschluss mit kraftschlüssigem Innengewölbe
Segment completion with force-locking tunnel lining
- ▶ Hohe Anforderungen an den Bauablauf und an die Logistik des Unternehmers



Ringschluss: Maximal 4 Monate im quellhaften Gestein (Gipskeuper, Opalinuston)
Ring closure: maximum of 4 months in dilative rock (Gipskeuper, Opalinus Clay)



Inhalt

- ▶ Projektübersicht
- ▶ Anforderungen an die Planung
- ▶ Anforderungen an die Ausführung
- ▶ **Ausgewählte Ausführungsdetails**
- ▶ Zusammenfassung und Ausblick

Content

- ▶ *Project overview*
- ▶ *Requirements for planning*
- ▶ *Requirements for the execution*
- ▶ ***Selected execution details***
- ▶ *Summary and outlook*

Ausgewählte Ausführungsdetails

Bewehrungskörbe (*Reinforcement cages*)

Bewehrung Innengewölbe mit vorkonfektionierten, steckbaren Bewehrungskörben

Reinforcement of the tunnel lining with prefabricated pluggable reinforcement cages

7 Teile; Breite 2.10 m x 4 = 28 Stk/Block
Ø 26, Gewicht: ca. 1.9 to/Korb

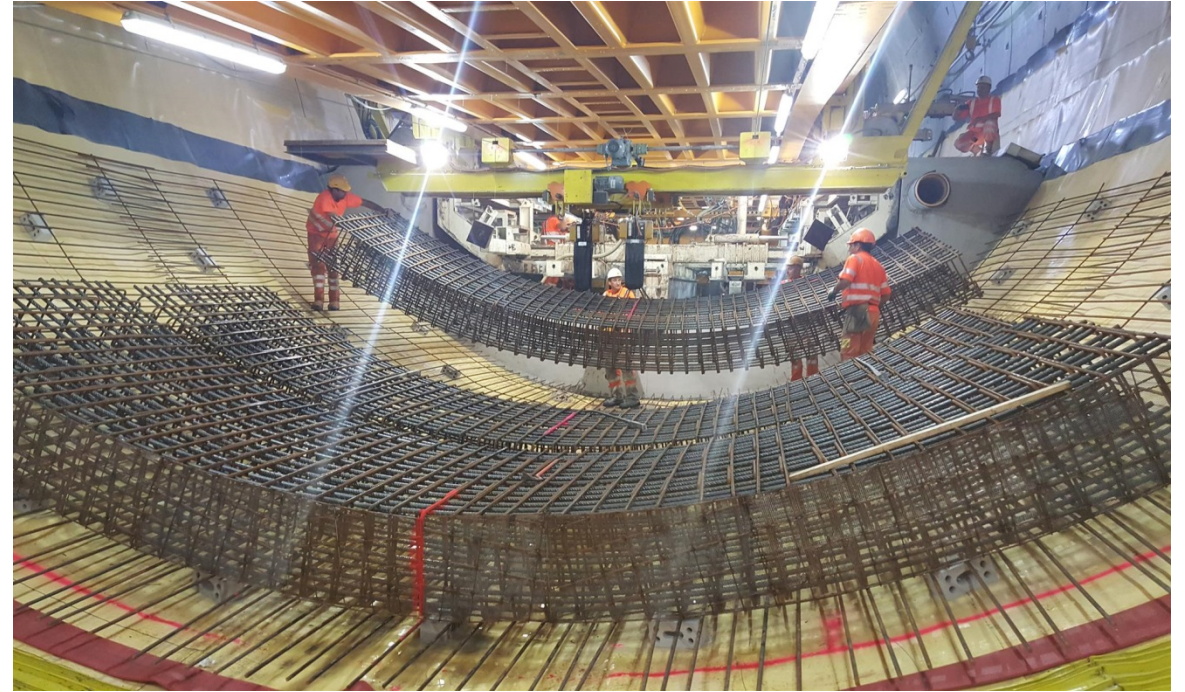
Verlegeleistung (Sohle + Gewölbe):
Laying capacity (invert + vault):

1 Block/Tag $\hat{=}$ 10 m $\hat{=}$ 53 to in 10 Std
Gesamtmenge = 11'000 to

Versetzeinrichtung Bewehrung



Gewölbe



Sohle

Inhalt

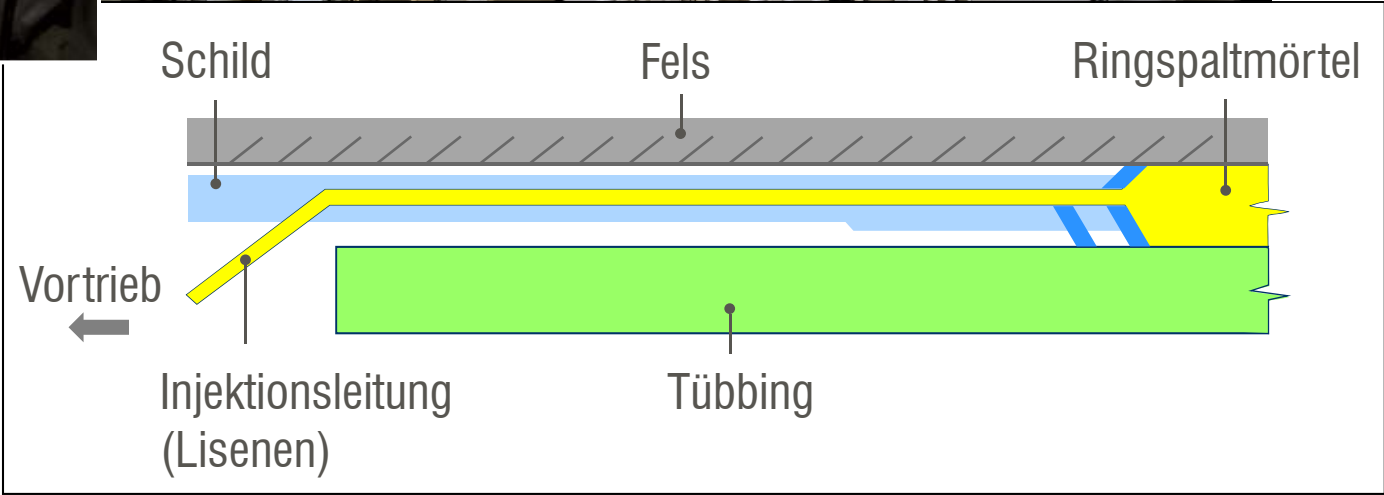
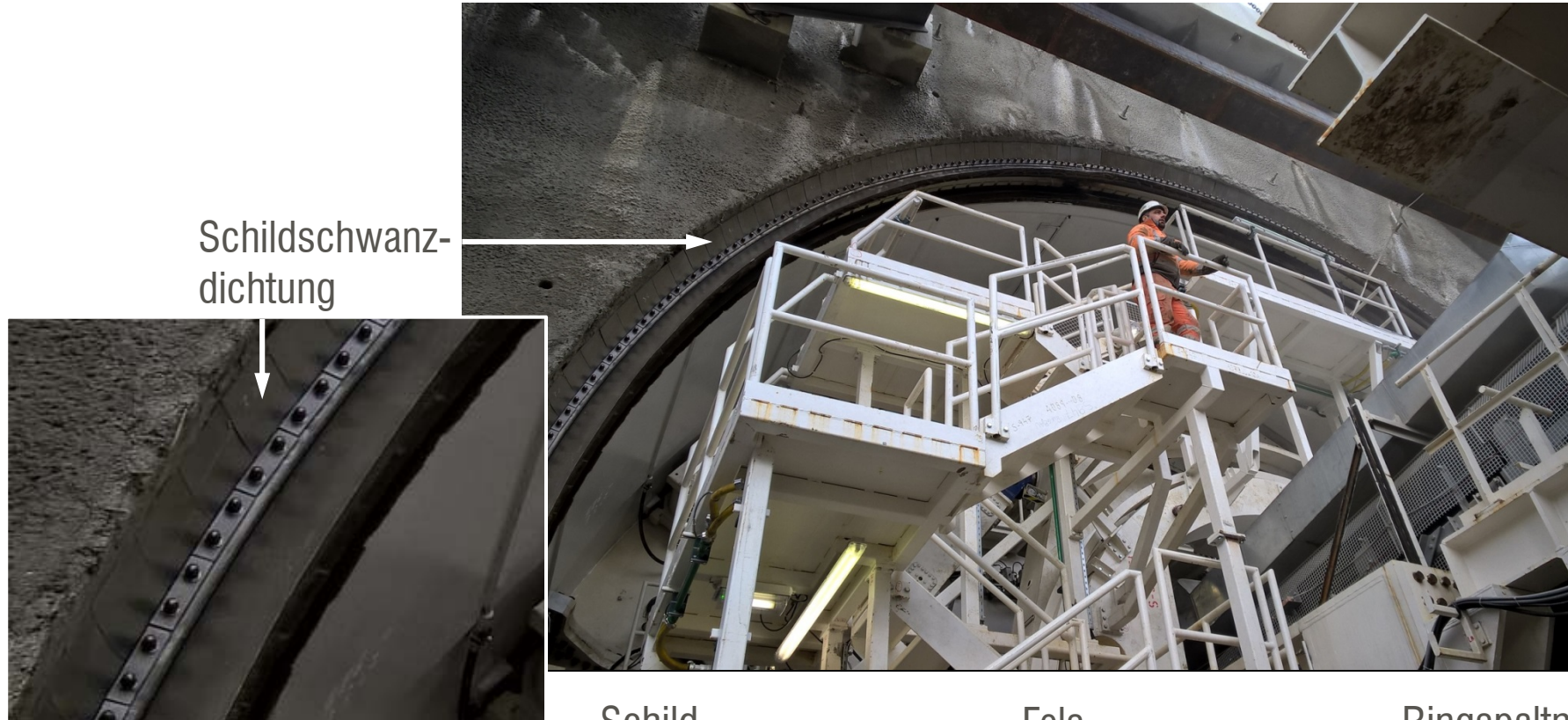
- ▶ Projektübersicht
- ▶ Anforderungen an die Planung
- ▶ Anforderungen an die Ausführung
- ▶ **Ausgewählte Ausführungsdetails**
- ▶ Zusammenfassung und Ausblick

Content

- ▶ *Project overview*
- ▶ *Requirements for planning*
- ▶ *Requirements for the execution*
- ▶ ***Selected execution details***
- ▶ *Summary and outlook*

Ringspaltmörtel (*Annular gap fill mortar*)

- ▶ Ziel:
Optimale Bettung des Gewölberinges und Unterbindung der Längsläufigkeit des Bergwassers
Optimal bedding of the arch element and prevention of longitudinal flow of the mountain water
- ▶ Lösung:
Vermörtelung Ringspalt beim Vortrieb;
Grouting of the annular gap during excavation
Vermörtelung direkt durch den Schildschwanz mit sulfatresistentem 2-Komponentenmörtel (erstmalig in CH)



Schema Verpressung Ringspalt

Inhalt

- ▶ Projektübersicht
- ▶ Anforderungen an die Planung
- ▶ Anforderungen an die Ausführung
- ▶ **Ausgewählte Ausführungsdetails**
- ▶ Zusammenfassung und Ausblick

Content

- ▶ *Project overview*
- ▶ *Requirements for planning*
- ▶ *Requirements for the execution*
- ▶ ***Selected execution details***
- ▶ *Summary and outlook*

Unikonischer, verschraubbarer Tübbingring, $B = 2,00 \text{ m}$
Unterschiedliche Belastung aus dem Quellen ergaben
3 Tübbingtypen, die sich in der Bewehrung unterscheiden:

Typ I «leicht»:	102 kg/m ³ Bewehrung
Typ II «mittel»:	133 kg/m ³ Bewehrung
Typ III «schwer»:	229 kg/m ³ Bewehrung

Alle Typen sind zusätzlich mit 30kg/m³ Stahlfasern bewehrt

- Reduktion der Stabbewehrung
- Kantenschutz

Additionally, all types are reinforced with 30kg/m³ steel fiber

- Reduction of reinforcement bars*
- Edge protection*



Tübbinglager



Quelle: Bekaert GmbH

Inhalt

- ▶ Projektübersicht
- ▶ Anforderungen an die Planung
- ▶ Anforderungen an die Ausführung
- ▶ Ausgewählte Ausführungsdetails
- ▶ **Zusammenfassung und Ausblick**

Content

- ▶ *Project overview*
- ▶ *Requirements for planning*
- ▶ *Requirements for the execution*
- ▶ *Selected execution details*
- ▶ ***Summary and outlook***

Zusammenfassung

- ▶ 3,2 km erfolgreicher Vortrieb bewältigt, trotz einigen geologischen Hürden in den prognostizierten Übergangszonen
- ▶ Pragmatisches, nachhaltiges und robustes Bemessungskonzept
- ▶ Anwendung neuester Betontechnologien
Optimierte Bemessung der Tübbinge und des Innengewölbes

- ▶ Beimischung von Stahlfasern in den Tübbing
- ▶ Erfolgreiche Realisierung eines engen Terminrahmens beim Ringschluss (max 4 Monate)
- ▶ Rundumvermörtelung des Ringspaltes durch den Schildschwanz mit 2-Komponenten Mörtel (erstmalig in CH)
- ▶ Innovative Bewehrung des Innengewölbes mit vorkonfektionierten Körben und Versetzeinrichtung

Inhalt

- ▶ Projektübersicht
- ▶ Anforderungen an die Planung
- ▶ Anforderungen an die Ausführung
- ▶ Ausgewählte Ausführungsdetails
- ▶ **Zusammenfassung und Ausblick**

Content

- ▶ *Project overview*
- ▶ *Requirements for planning*
- ▶ *Requirements for the execution*
- ▶ *Selected execution details*
- ▶ **Summary and outlook**

Ausblick

Betonieren letztes Innengewölbe in Ortsbeton:	Nov. 2017
Abschluss der Querverbindungs-vortriebe:	Frühjahr 2018
Abschluss Rohbau:	Ende 2018
Inbetriebnahme STB:	2021
Beginn Sanierung bestehender Tunnel:	2022
Gesamtkosten:	CHF 550 Mio.



Rohbauarbeiten

Inhalt

- ▶ Projektübersicht
- ▶ Anforderungen an die Planung
- ▶ Anforderungen an die Ausführung
- ▶ Ausgewählte Ausführungsdetails
- ▶ **Zusammenfassung und Ausblick**

Content

- ▶ *Project overview*
- ▶ *Requirements for planning*
- ▶ *Requirements for the execution*
- ▶ *Selected execution details*
- ▶ ***Summary and outlook***

Projektbeteiligte

Bauherr:

Bundesamt für Strassen ASTRA
Filiale Zofingen

Bauherrenunterstützung / OBL:

Jauslin + Stebler Ingenieure AG, Muttenz

Projekt / Bauleitung
Geologie Ausführung:

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

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



Inhalt

- ▶ Projektübersicht
- ▶ Anforderungen an die Planung
- ▶ Anforderungen an die Ausführung
- ▶ Ausgewählte Ausführungsdetails
- ▶ Zusammenfassung und Ausblick

Content

- ▶ *Project overview*
- ▶ *Requirements for planning*
- ▶ *Requirements for the execution*
- ▶ *Selected execution details*
- ▶ *Summary and outlook*

Projektbeteiligte

Bauherr:

Bundesamt für Strassen ASTRA
Filiale Zofingen

Bauherrenunterstützung / OBL:

Jauslin + Stebler Ingenieure AG, Muttenz

Projekt / Bauleitung
Geologie Ausführung:

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

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



Danke für Ihre Aufmerksamkeit

Glück auf!