

Kolloquium ETH Zürich

2. Röhre Gotthard-Strassentunnel Lockergesteinsvortriebe Nord

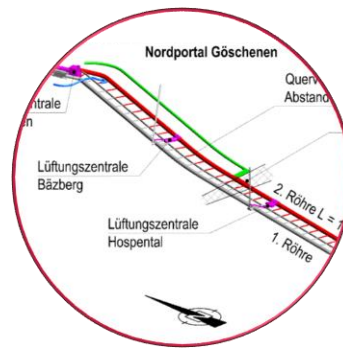
Eine Vielzahl an bautechnischen Herausforderungen

Referent

Dr. Florence Bieri & Dr. Andreas Stöcklin
B+S AG, Bern

25 Minuten

Inhalt



Projekt- übersicht



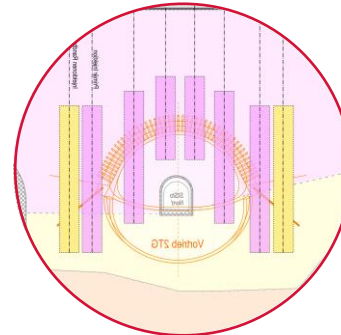
Zugangsstollen Nord

Herausforderungen während Projektierung und Ausführung



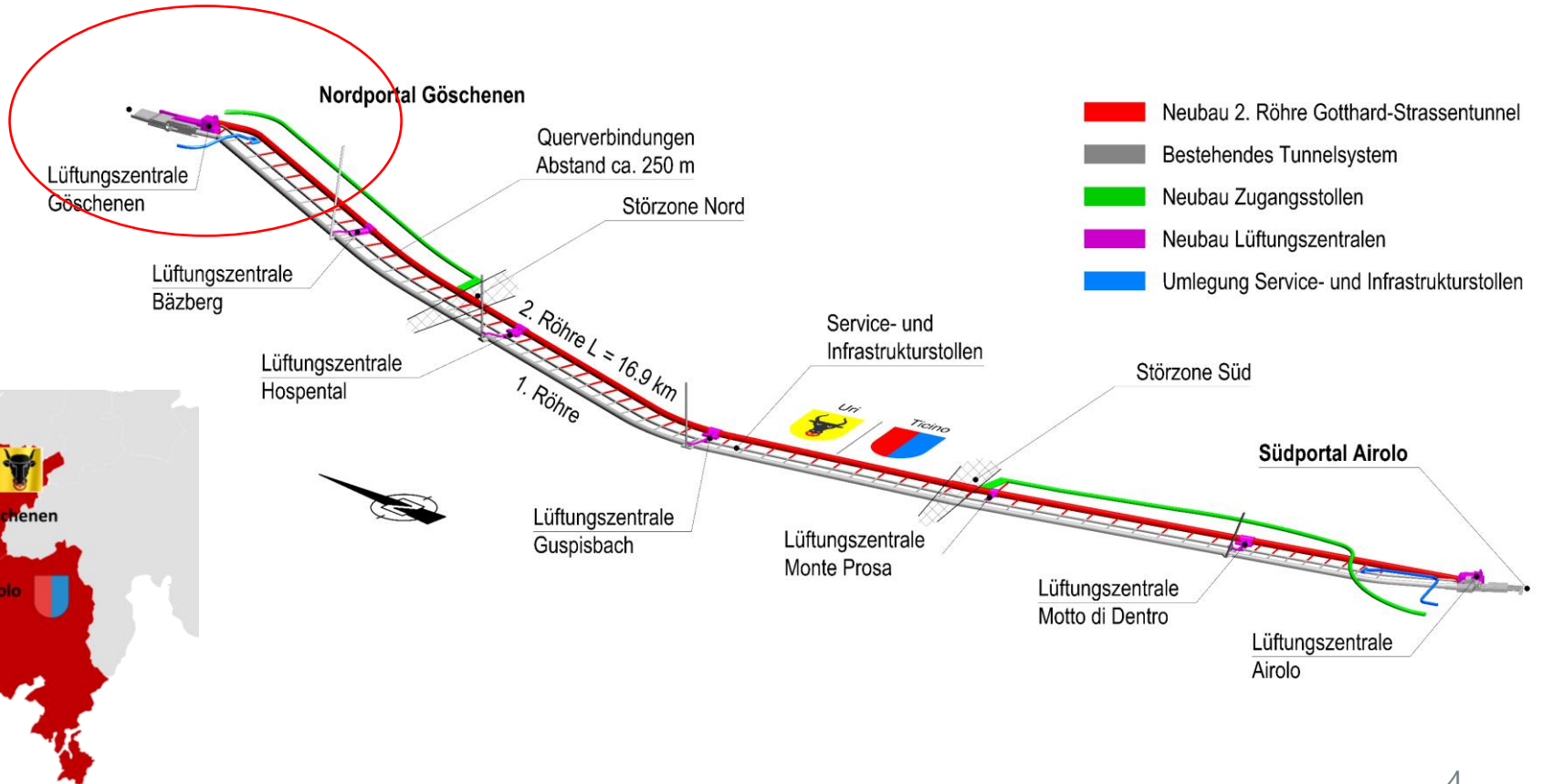
Umlegung SISto Nord

Berücksichtigung der Erfahrungen bei der Ausführungsprojektierung für die Hauptröhre

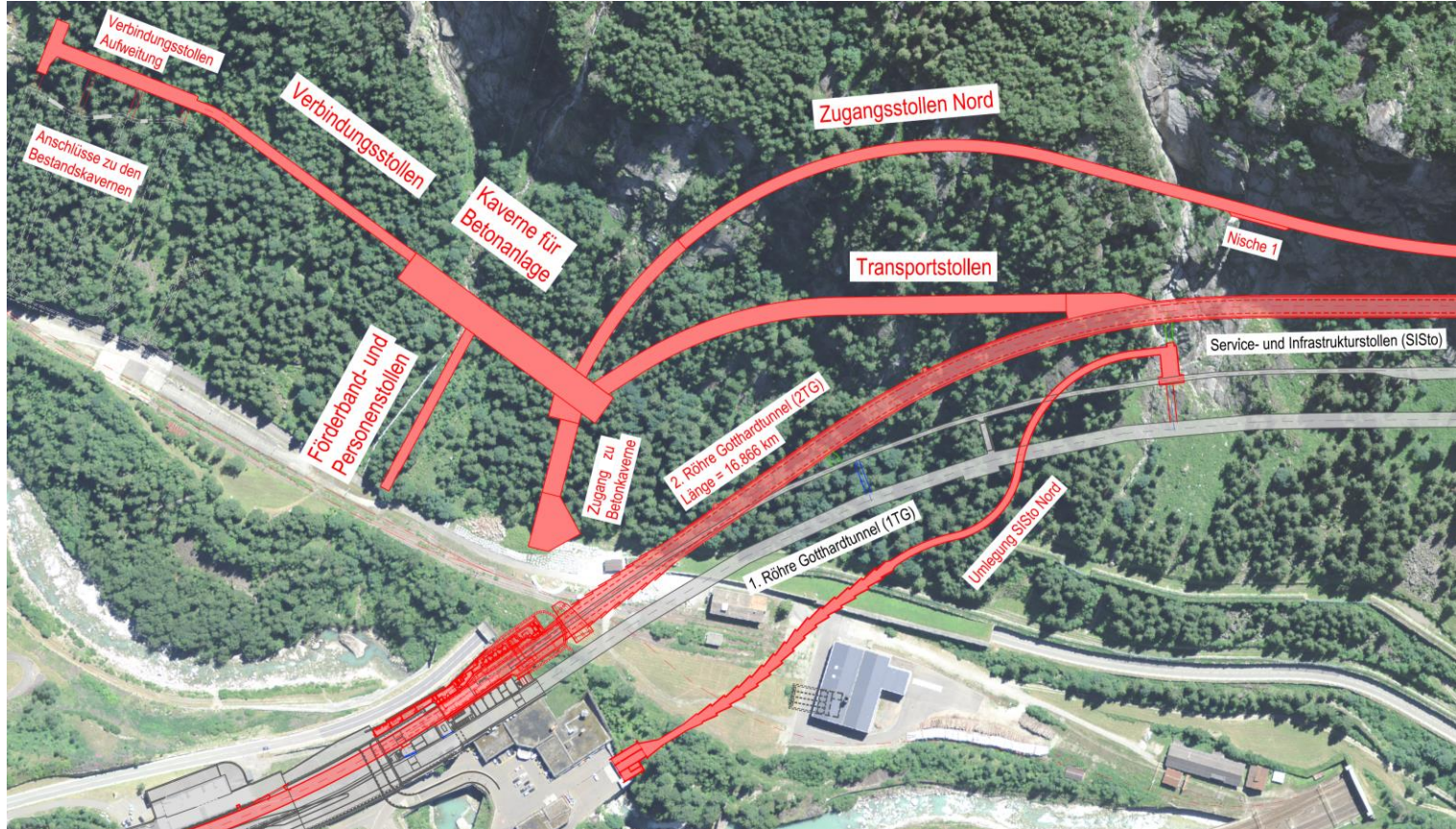


Projektübersicht

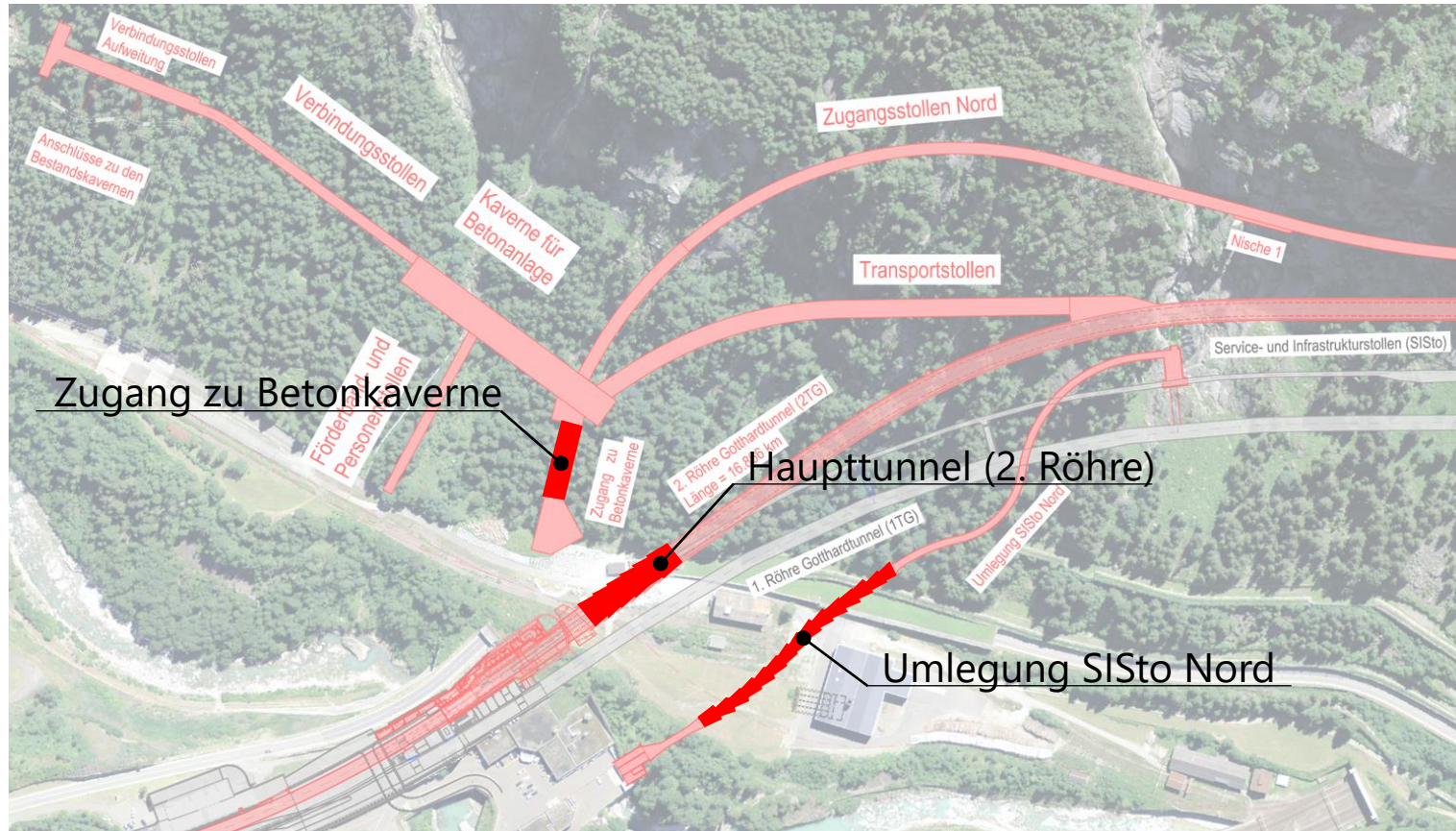
Projekt 2. Röhre Gotthard-Strassentunnel (2TG)



Lockergesteinsvortriebe Nord des Projekts 2TG



Lockergesteinsvortriebe Nord des Projekts 2TG

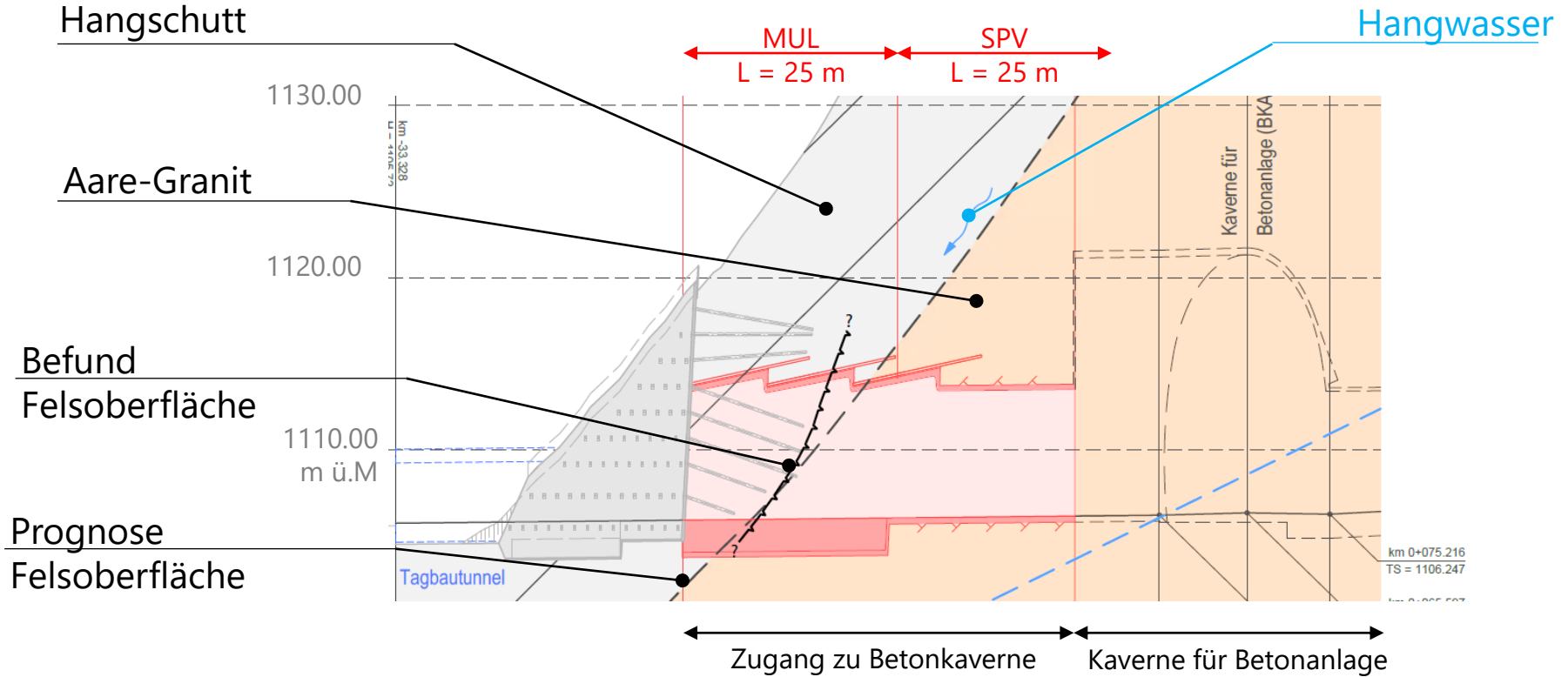


Lockergesteinsstrecke Zugangsstollen Nord (Zugang zu Betonkaverne)

Lockergesteinsstrecke Zugang zu Betonkaverne



Vortrieb im Hangschutt



Vortrieb im Hangschutt

- Steine und Kies, schwach sandig
- Blöcke mit Blockdurchmesser 0.3 bis 5 m
- Blockzwischenräume z.T. hohl, z.T. mit Feinmaterial verfüllt
- Mitteldicht bis dicht gelagert

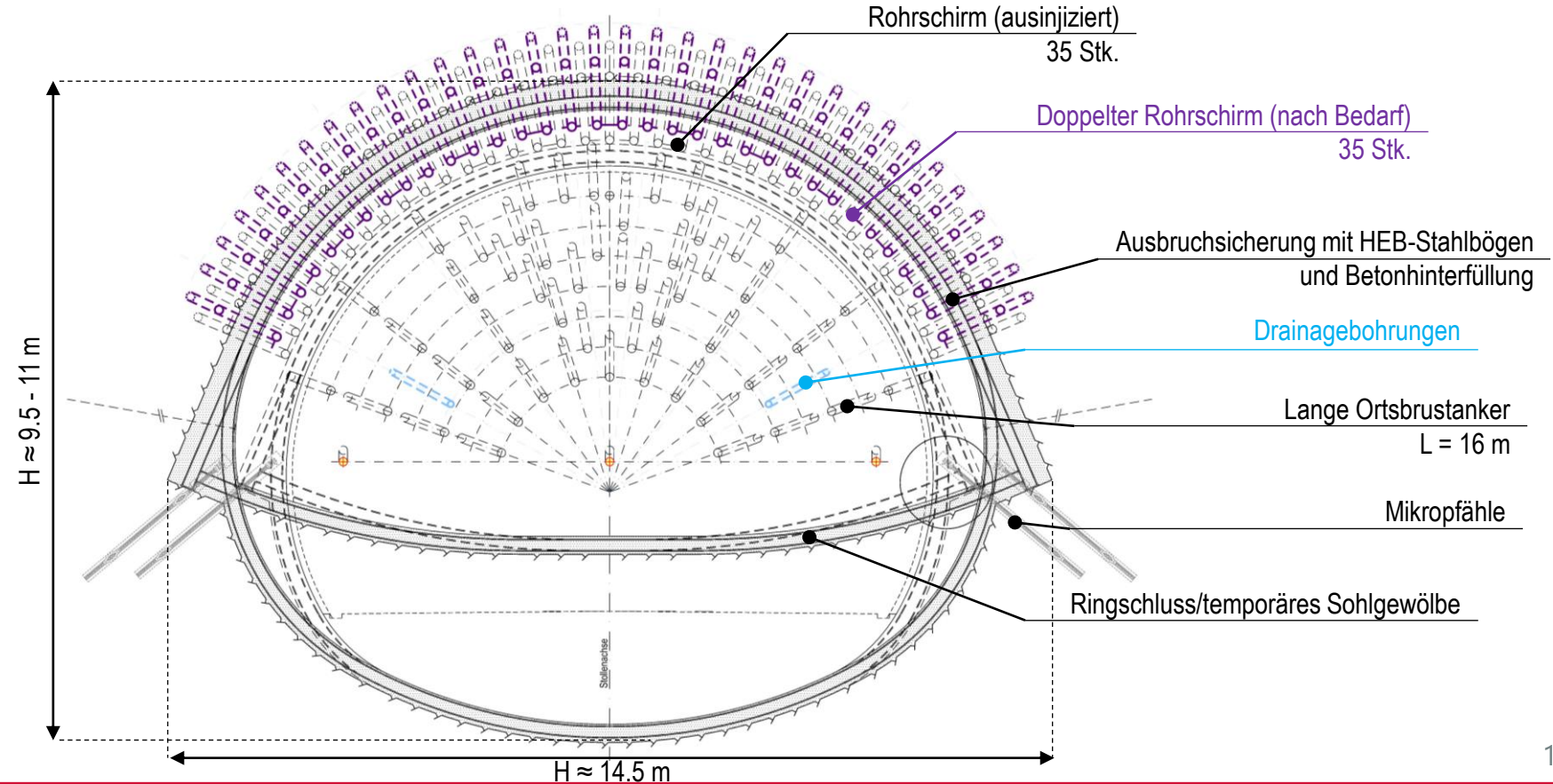


Druckreduzierungsstollen Göschenen

*Bau
Eisenbahn-
tunnel*



Kalottenvortrieb mit anschliessendem Abbau Strosse/Sohle im Schutze eines (doppelten) Rohrschirms

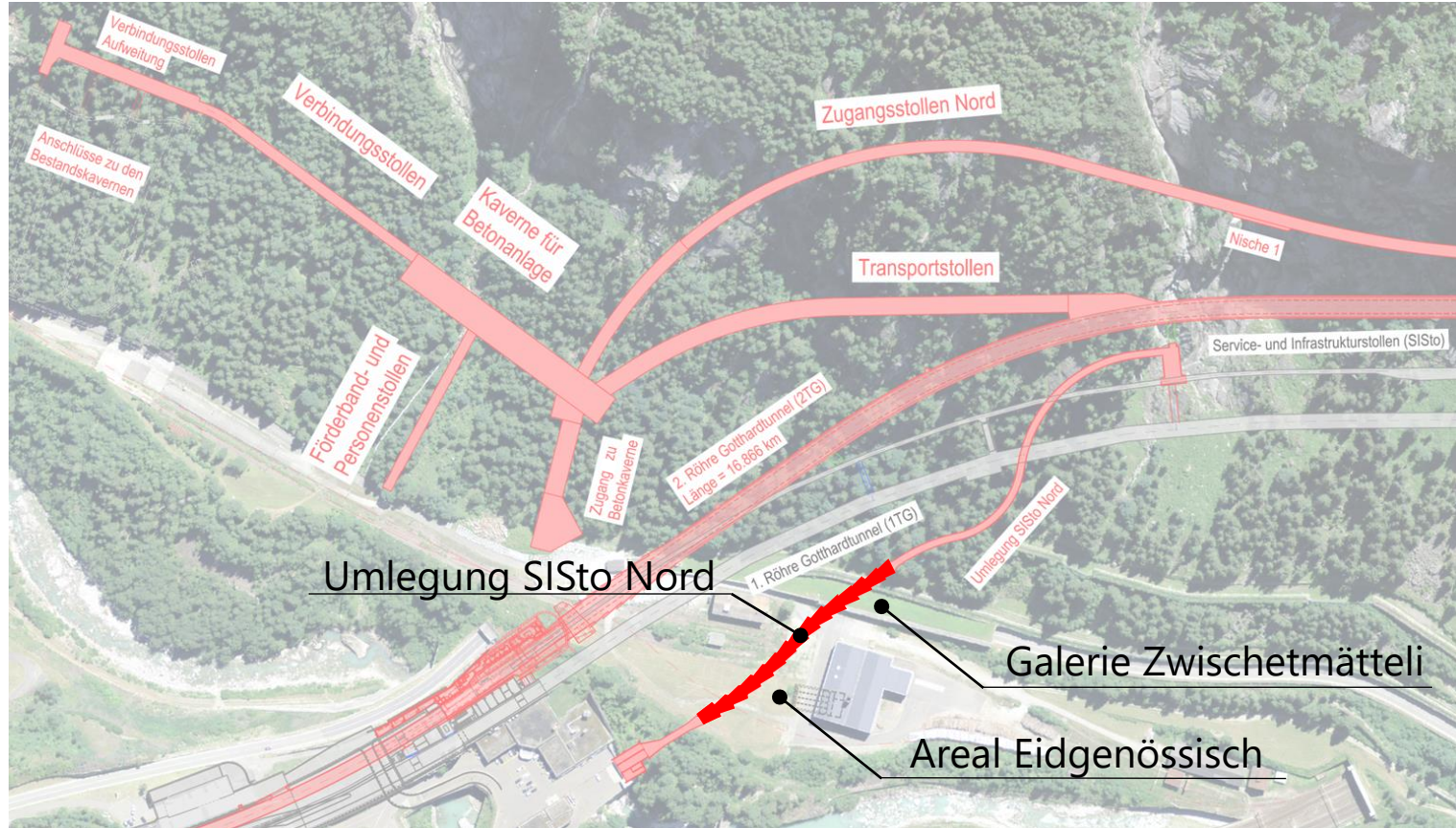


Erfolgreicher Rohrschirmvortrieb



Lockergesteinsstrecke Umlegung SISto Nord

Lockergesteinsstrecke Umlegung SISto Nord



Vortrieb im Deponiematerial / Hangschutt

Unterquerung Areal Eidgenössisch

Unterquerung Galerie
Zwischetmätteli

Deponiematerial

Hangschutt

Galerie Zwischetmätteli

1100.00
1090.00
1080.00
m ü.M

ca. 9 m

Tm 50.0

Tm 100.0

Tm 150.0

Aare-Granit

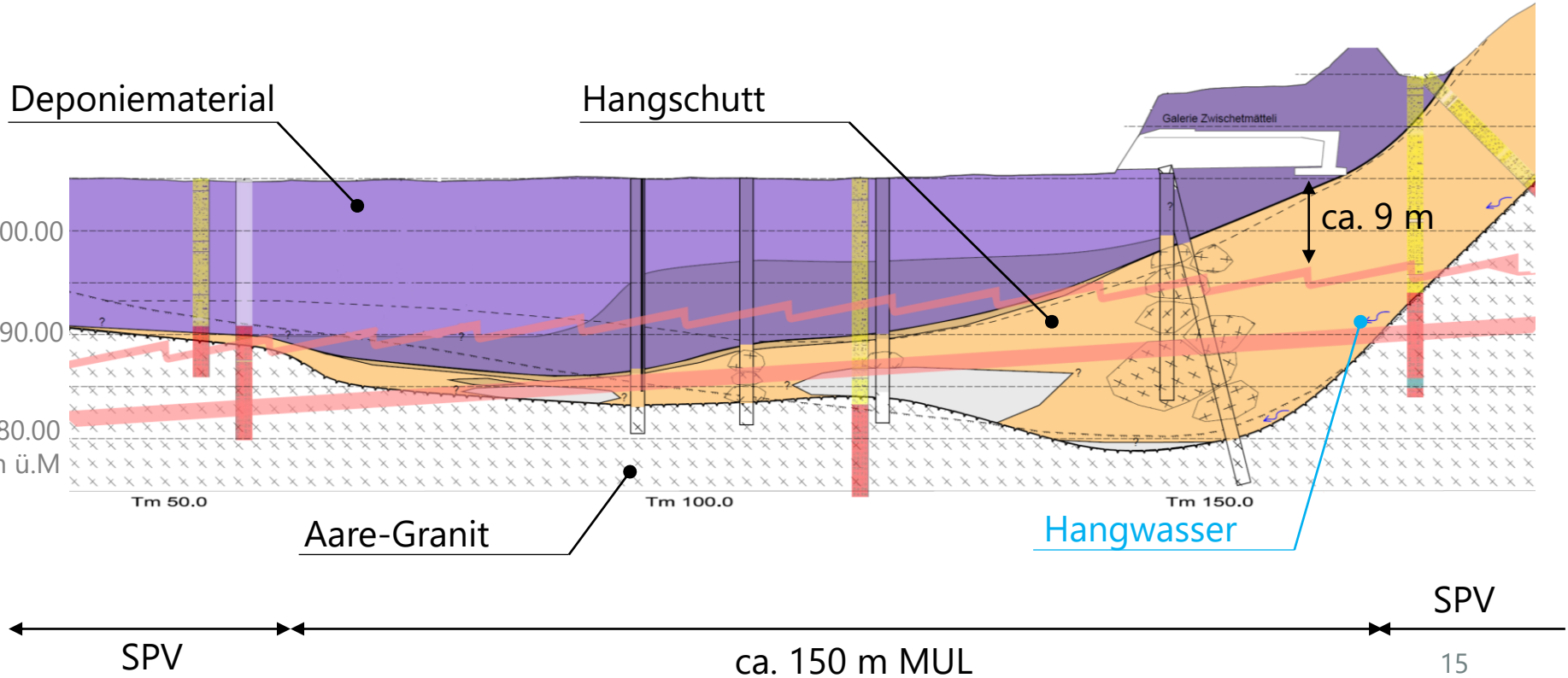
Hangwasser

SPV

SPV

ca. 150 m MUL

15

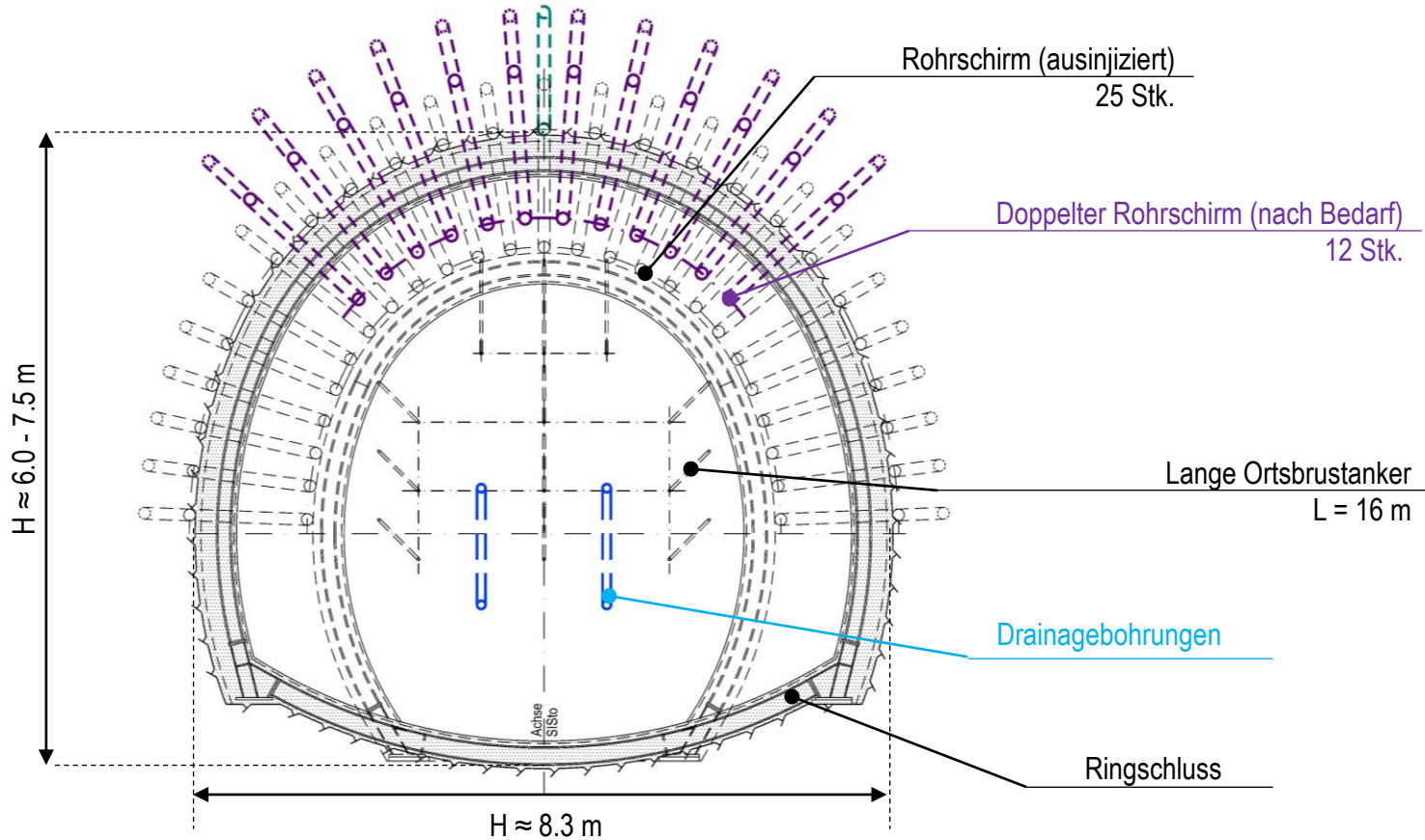


Vortrieb im Deponiematerial (gemäss geologischer Prognose)



- Ausbruchmaterial des Gotthard-Bahntunnels von 1882
 - Steine und Kies, zumeist sandig
 - Blöcke mit Blockdurchmesser bis 3 m
 - Hohlräume zwischen den Blöcken
 - Mitteldicht bis dicht gelagert
- Gemäss geol. Prognose: Eigenschaften analog Hangschutt erwartet

Vollausbruch im Schutze eines Rohrschirms



Sanduhreffekt infolge sehr locker gelagertem, kohäsionslosem Deponiematerial



Tagbruch Areal Eidgenössisch



Quelle: IG 2G-BN

Anpassung des Vortriebs- und Sicherungskonzepts während Ausführung



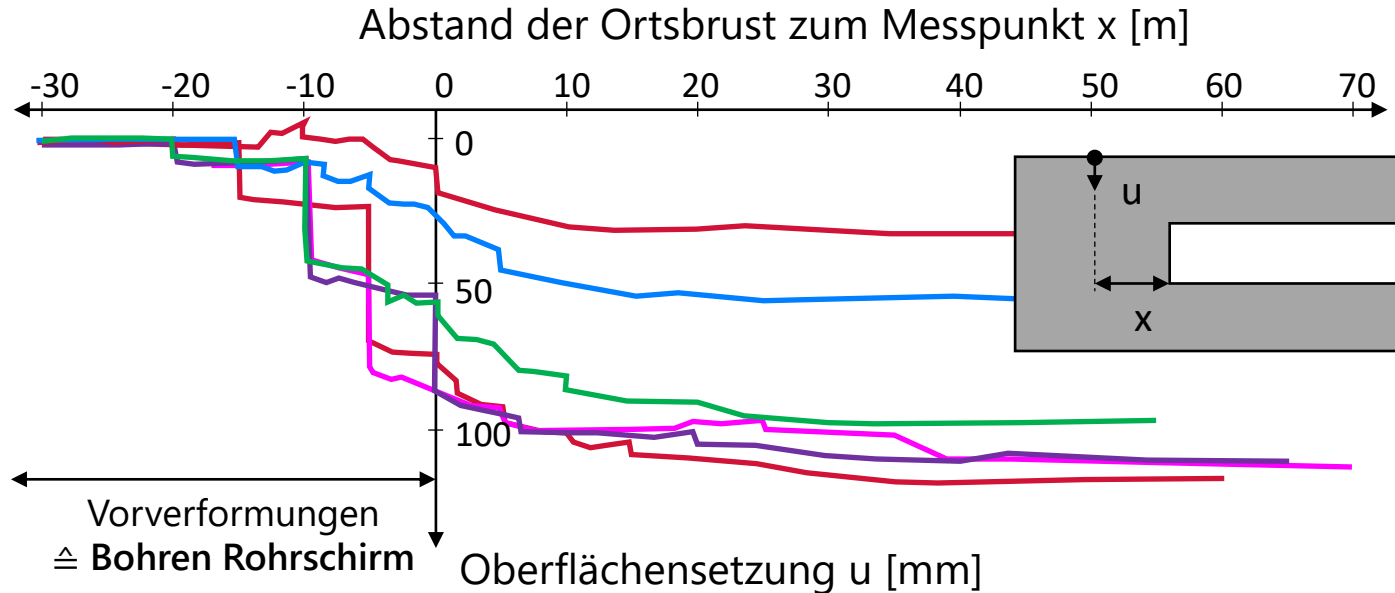
- Verkleinerung der Abstände zwischen den Rohrschirmrohren (auf 30 cm)
→ Verringerung Einrieseln des Baugrunds zwischen den Rohren
- Optimierung des Injektionsmittels. Ziel: dickflüssigeres Injektionsmittel
→ Verringerung des «Wegfliessens» des Injektionsguts
- Erhöhung der Injektionsmenge
→ Erhöhung des Einflussbereichs der Injektionen
- Erstellung eines systematischen Spiessschirms zwischen den Rohrschirmrohren
→ Einbringen von zusätzlichem Injektionsmittel zwischen den Rohren
- Erstellung von Kontrollbohrungen vor jedem Abschlag zwischen den Rohrschirmrohren
→ Kontrolle des Erfolges der Injektionsmassnahme

Weiterer, sicherer Vortrieb ohne Stabilitätsprobleme...



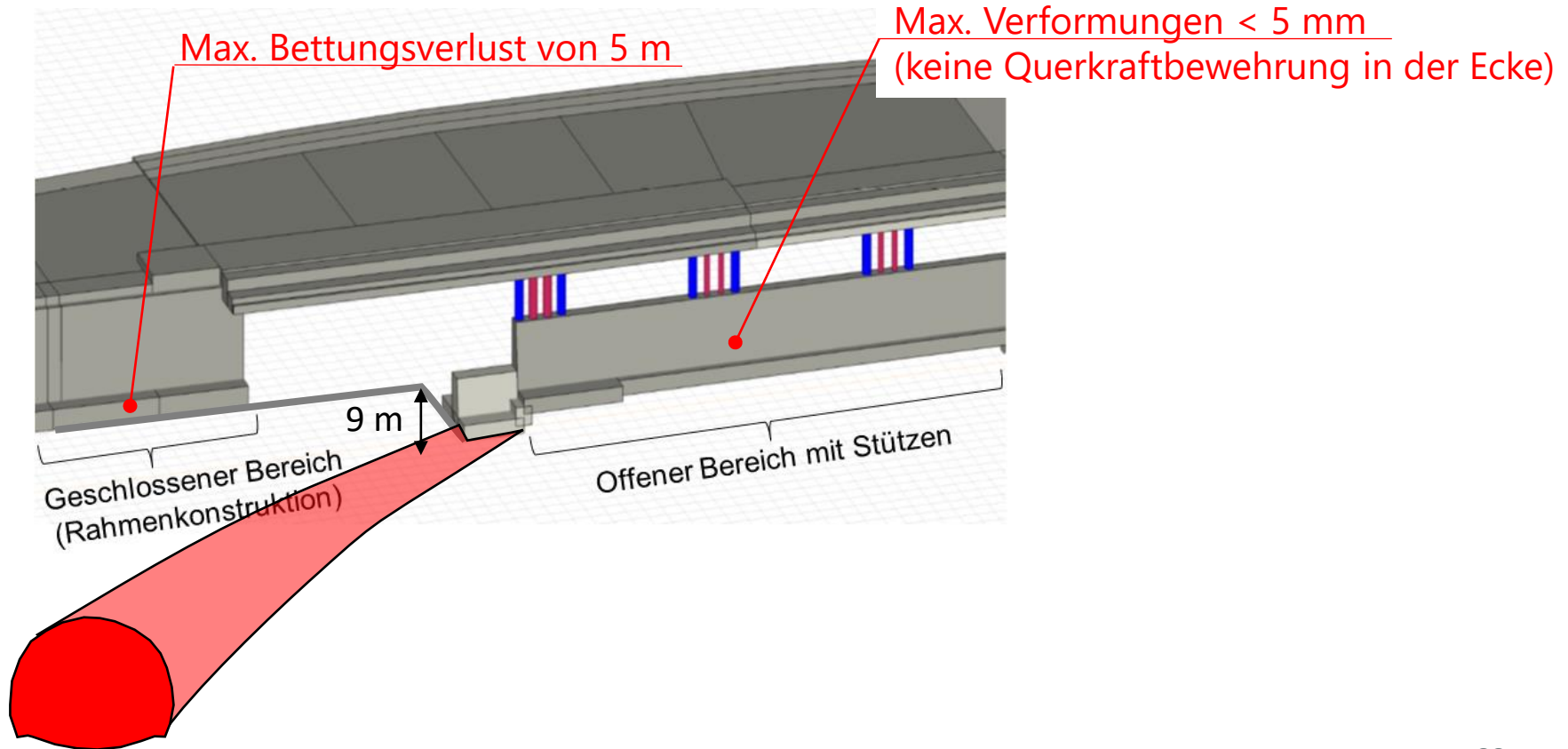
Quelle: IG 2G-BN

ABER: Oberflächensetzungen von bis zu 10 cm



- Areal Eidgenössisch: Setzungen aus bautechnischer Sicht wenig relevant
- Unterquerung bestehende Galerie Zwischetmätteli: Zusatzmassnahmen?

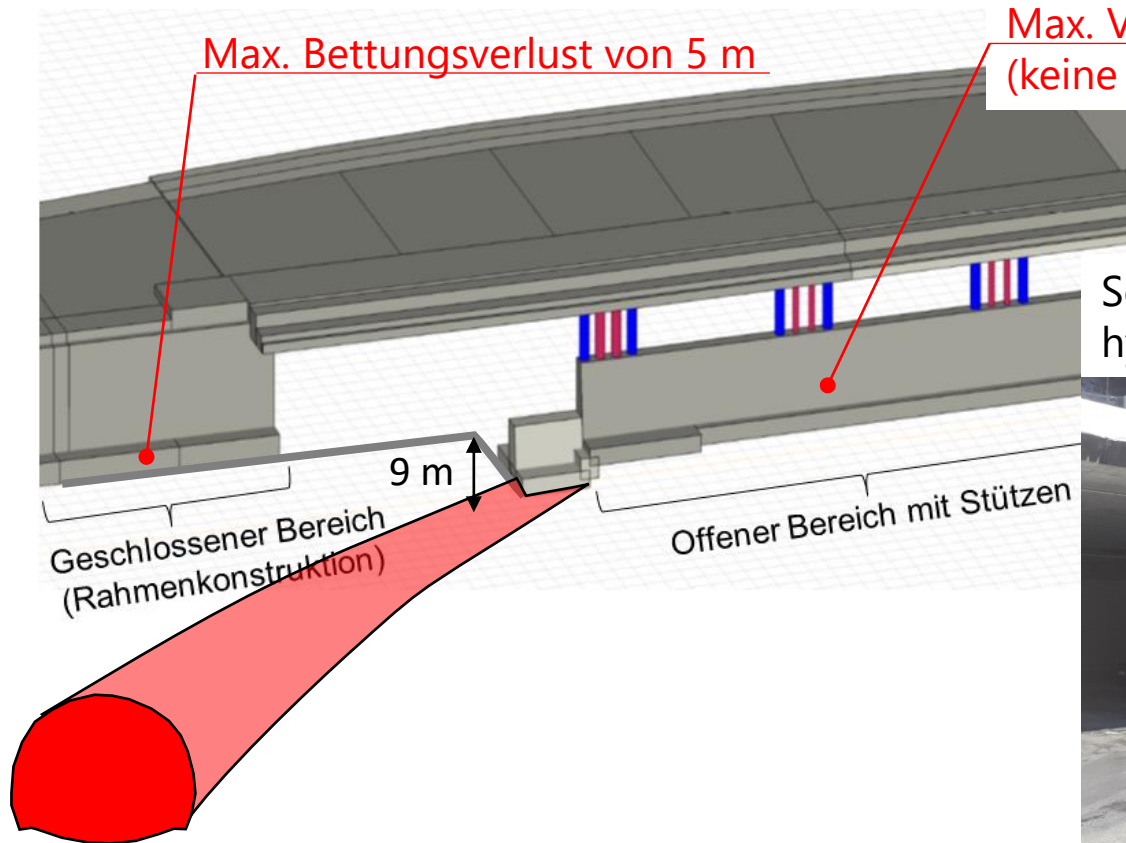
Situation Unterquerung Galerie Zwischetmätteli



Massnahmen zur Unterquerung der Galerie Zwischetmätteli

- Intensivierung Überwachung Galerie (inkl. Einbau von Dehnmessstreifen)
- Anpassung Bohrverfahren Rohrschirm (von Nassbohren auf Trockenbohren)
→ sehr kleine Verringerung der Setzungen (< 1 cm)
- Erstellung von Hebungsinjektionen mittels PU-Schaum direkt unterhalb der Fundamente und somit Kompensation der Setzungen
→ Vorversuch gescheitert: Injektionsgut fliesst weg

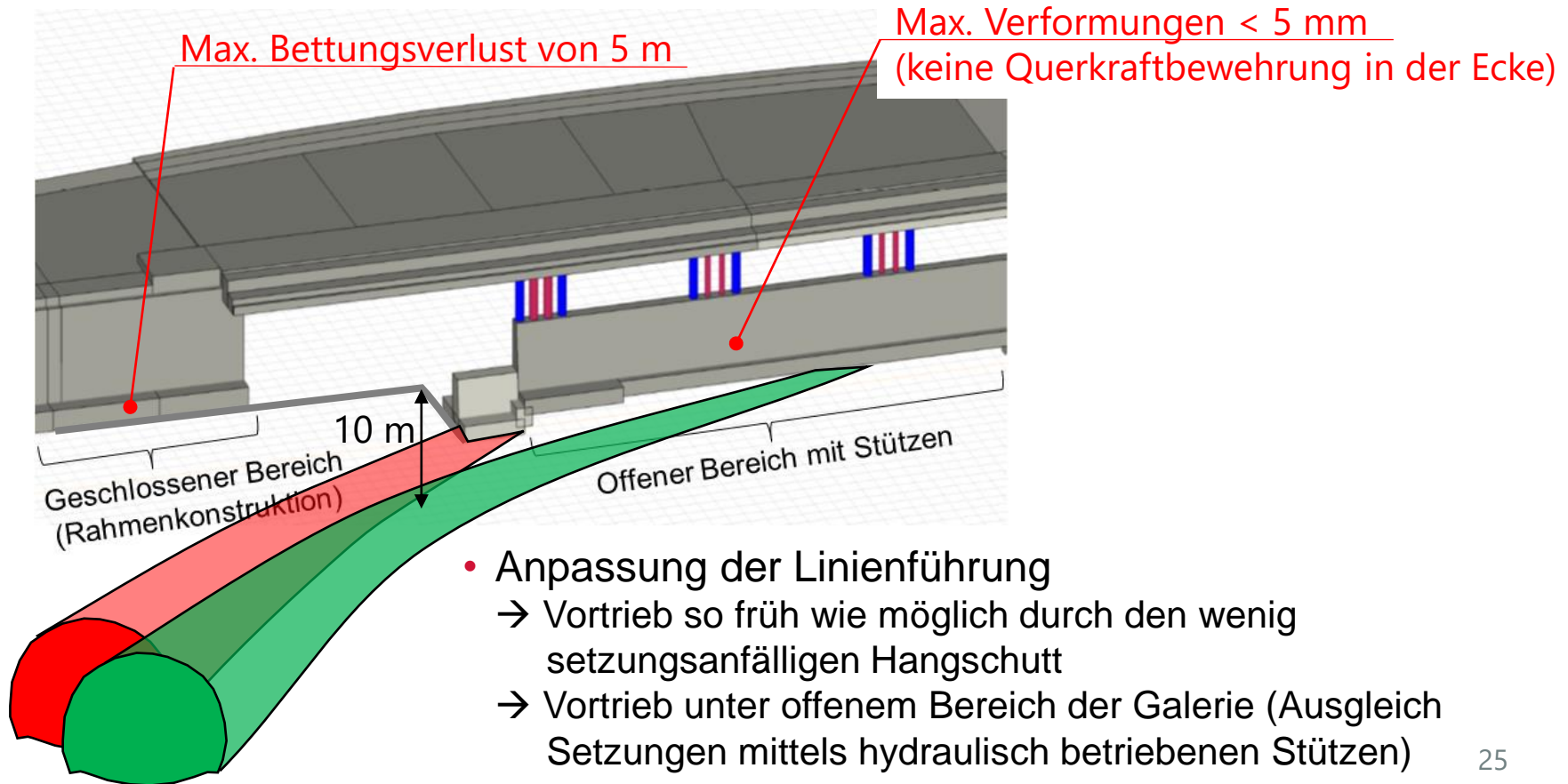
Massnahmen zur Unterquerung der Galerie Zwischetmätteli



Setzungskompensation mittels hydraulisch betriebenen Stützen:



Massnahmen zur Unterquerung der Galerie Zwischetmätteli

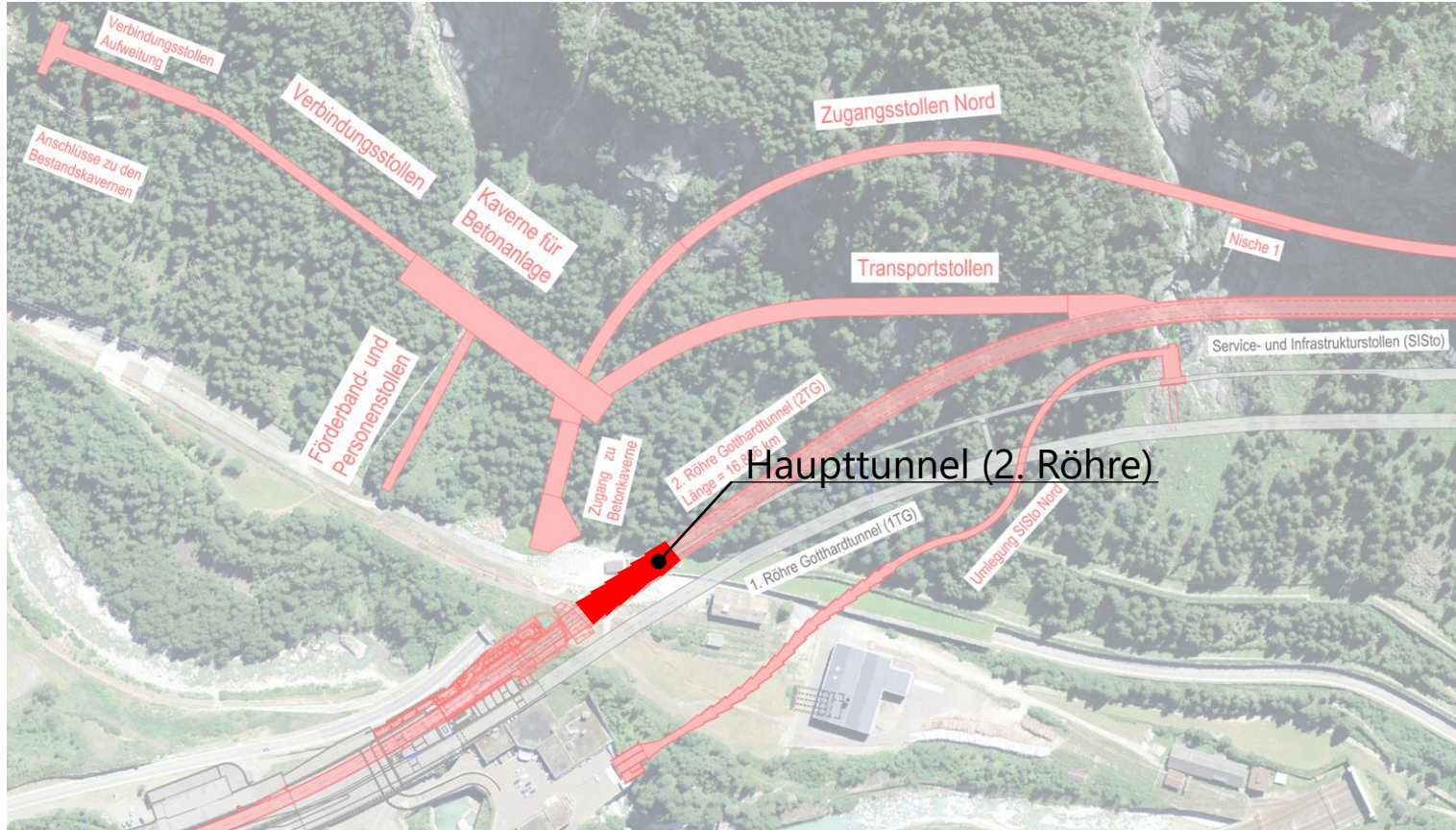


Anspruchsvoller Vortrieb erfolgreich abgeschlossen



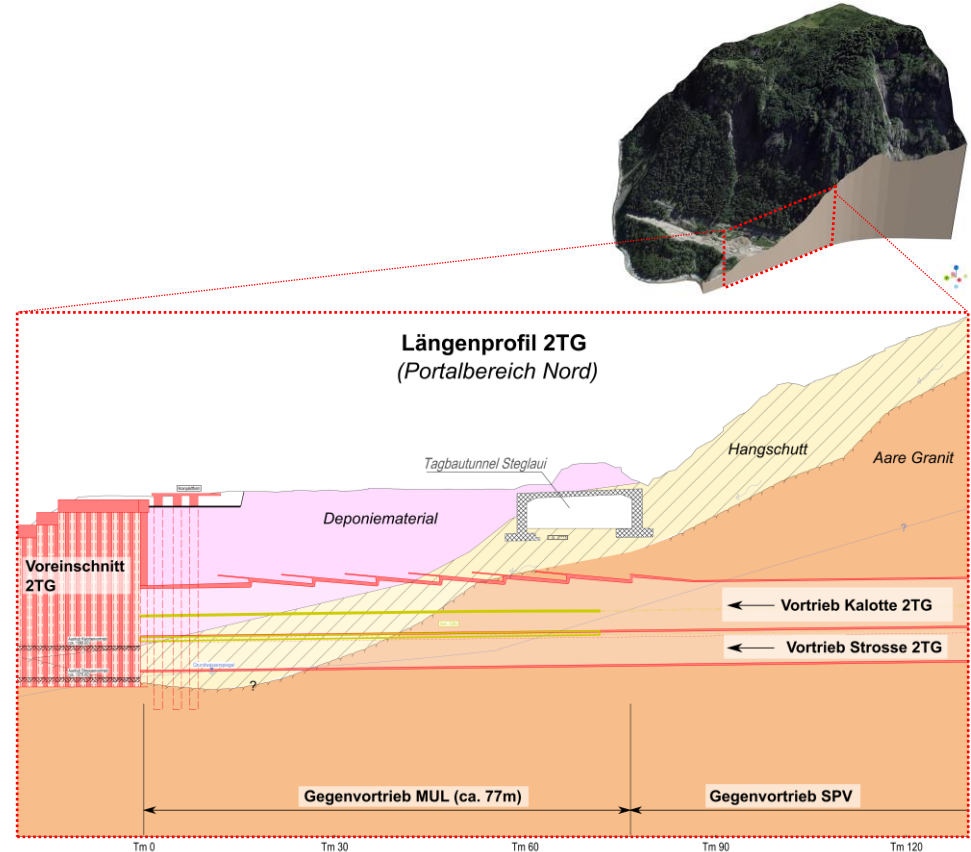
Lockergesteinsstrecke Haupttunnel

Lockergesteinsstrecke Haupttunnel



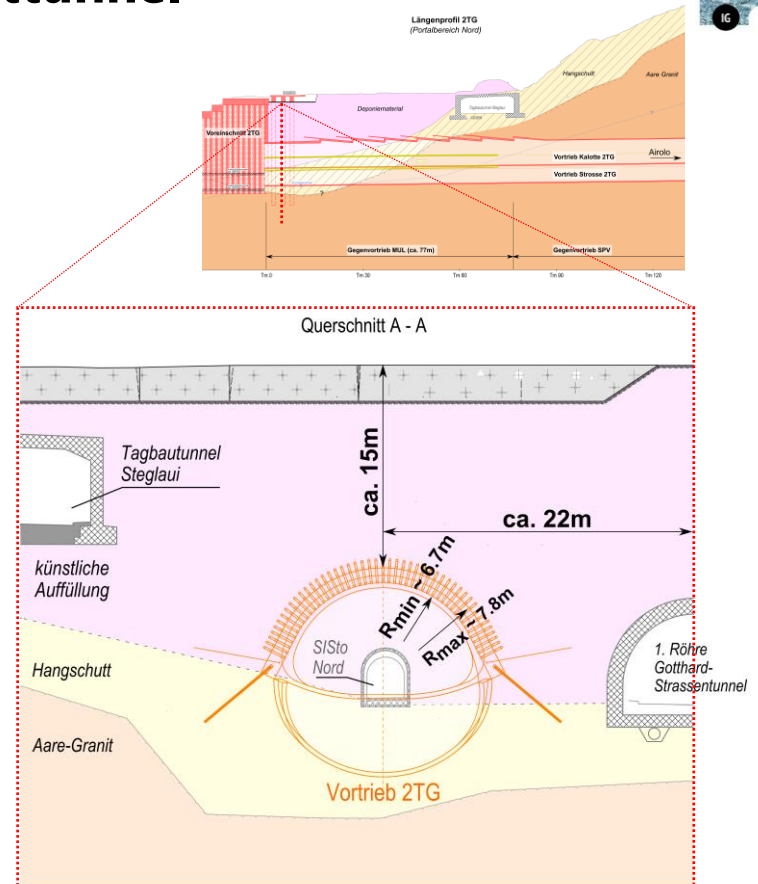
Übersicht Lockergesteinsstrecke Haupttunnel

- Gegenvortrieb in Richtung bergm. Portal Göschenen (Ausführungsvariante)
- Die letzten ca. 77 m des Vortriebs erfolgen (teilweise) im Lockergestein
- Im Lockergestein erfolgt der Vortrieb im Schutze eines Rohrschirms im Hangschutt- und Deponiematerial



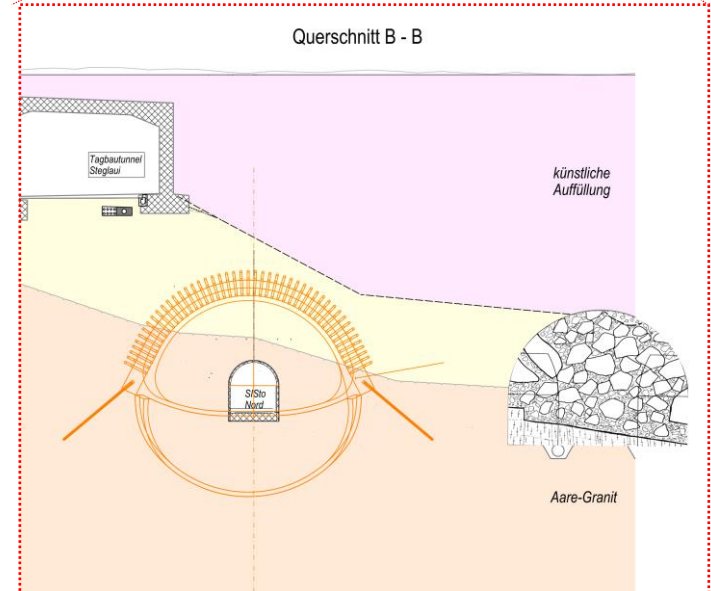
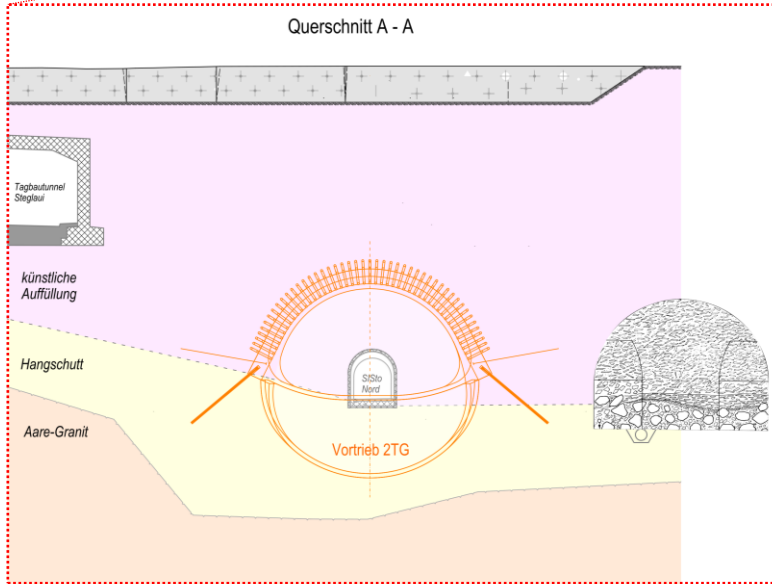
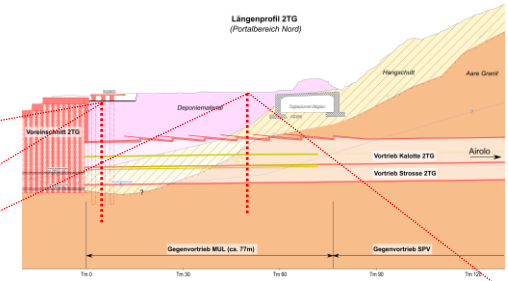
Übersicht Lockergesteinsstrecke Haupttunnel

- Überdeckung ca. 15 m
- Der bestehende, ausser Betrieb genommene SISto liegt innerhalb des Ausbruchquerschnitts, westlich davon liegt die 1TG und östlich davon der Tagbautunnel Steglai (Galerie Zwischetmätteli)
- Der minimale Achsabstand zur 1TG beträgt ca. 22 m



Übersicht Lockergesteinsstrecke Haupttunnel

- Geologischer Befund vom Bau 1TG



Erfahrungen aus Bau der 1TG und der SISto-Umlegung Nord

- Erfahrungen aus Vortrieb 1TG
 - Sehr anspruchsvoller Vortrieb im Hangschutt- und Deponiematerial
- Erfahrungen aus Umlegung SISto Nord
 - Deponiematerial sehr locker gelagert und rollig
 - Baugrund (künstliche Auffüllung) sehr setzungsempfindlich
 - Gefahr von Einrieseln des Deponiematerials

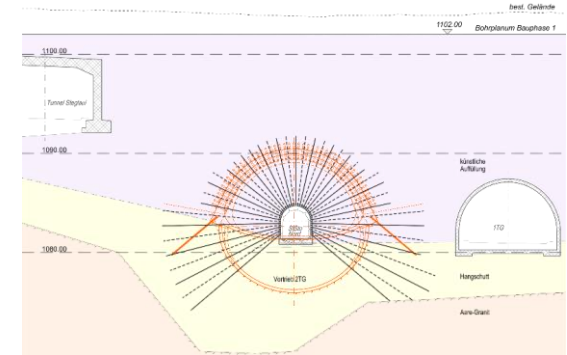


Quelle: Der Gotthard Strassentunnel,
Tagebuch der Bauarbeiten

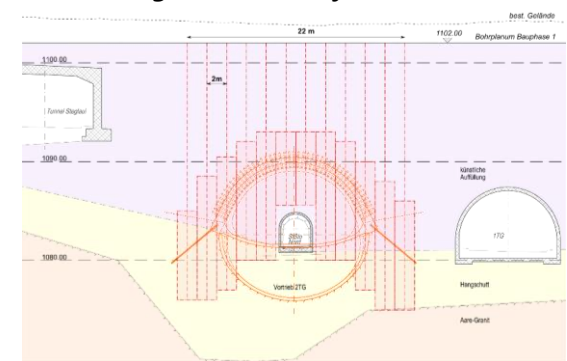
Massnahme zur Baugrundverbesserung

- *Ziel der Massnahme:* Vorgängiges Verfüllen von Hohlräumen und Verfestigung des blockigen, kohäsionslosen Baugrundes durch Injektionen
- *Submissionsprojekt:* Injektionen aus bestehendem SISto, vorgängig zum Hauptvortrieb
- *Ausführungsvariante:* Injektionen von Oberfläche, vorgängig ausgeführt

Submissionsprojekt – Injektionen aus SISto

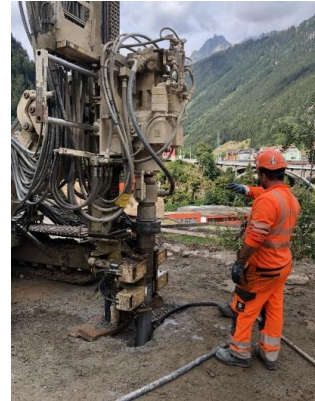


Ausführungsvariante – Injektionen von Oberfläche

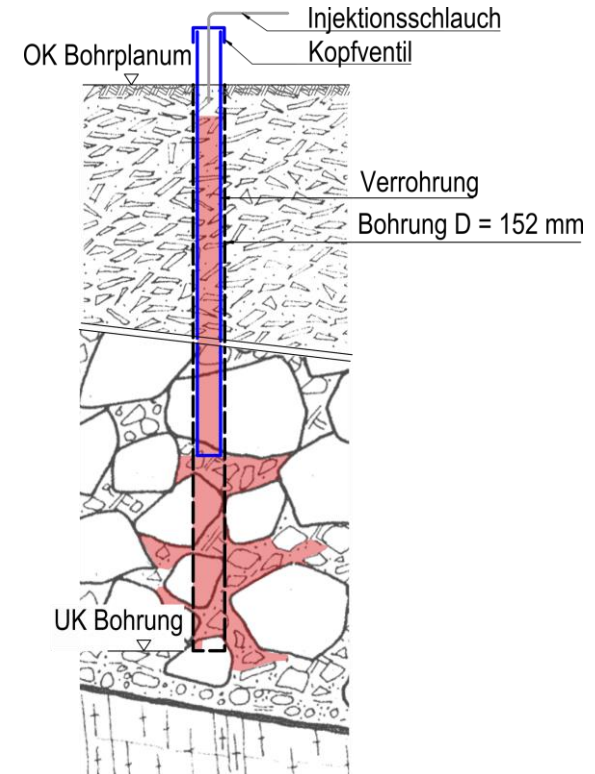


Massnahme zur Baugrundverbesserung

- Bohrung von Oberfläche und schrittweise Injektion von unten nach oben mit Rückziehen der Verrohrung
- Injektionsgut: Mörtel und Zementsuspension
- Konsistenz laufend vor Ort angepasst auf stark variable Baugrundverhältnisse (Baugrund sehr heterogen, Gefahr von Abfließen des Injektionsguts, Hohlräume)

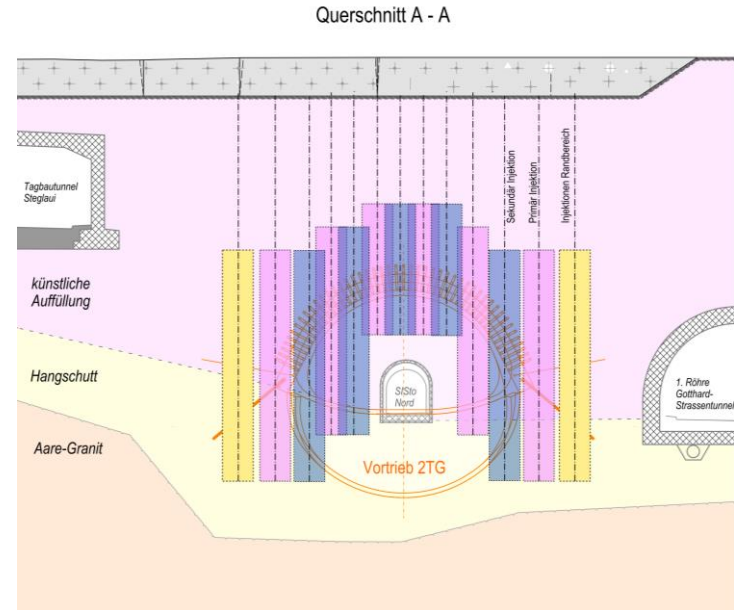


Injektionsschema



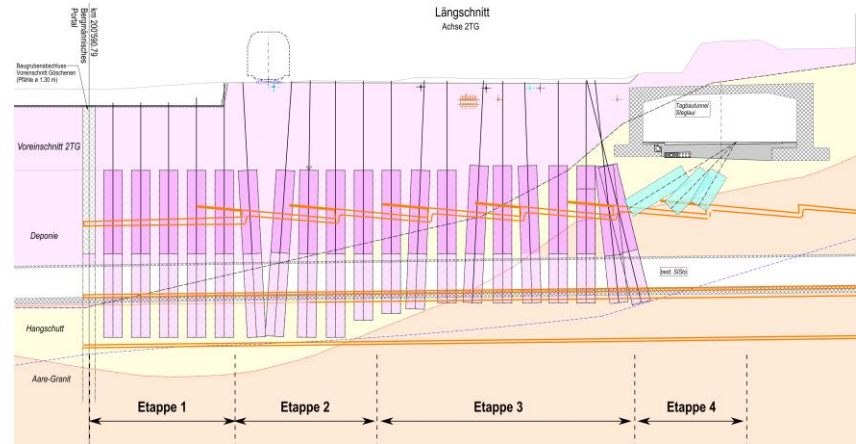
Massnahme zur Baugrundverbesserung

- Beschrieb ausgeführte Variante
 - Abfolge der Injektionen pro Bereich
 1. Erstellen Injektionen im Randbereich
 2. Primärinjektionen (nur mit Mörtel)
 3. Sekundärinjektionen (Mörtel & Zementsuspension)



Massnahme zur Baugrundverbesserung

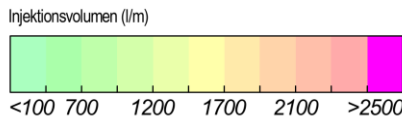
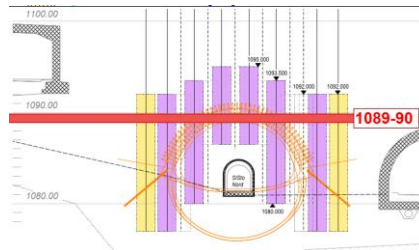
- Beschrieb ausgeführte Variante
 - Unterteilt in 4 Hauptetappen, um Konflikte mit der Baustellenlogistik auf dem Areal Eidgenössisch zu vermeiden (Baustellenverkehr, Gleisbau, Bohrgeräte etc.)
 - Die letzte Etappe wurde aus Steglautunnel ausgeführt (Tunnel wurde einseitig gesperrt)



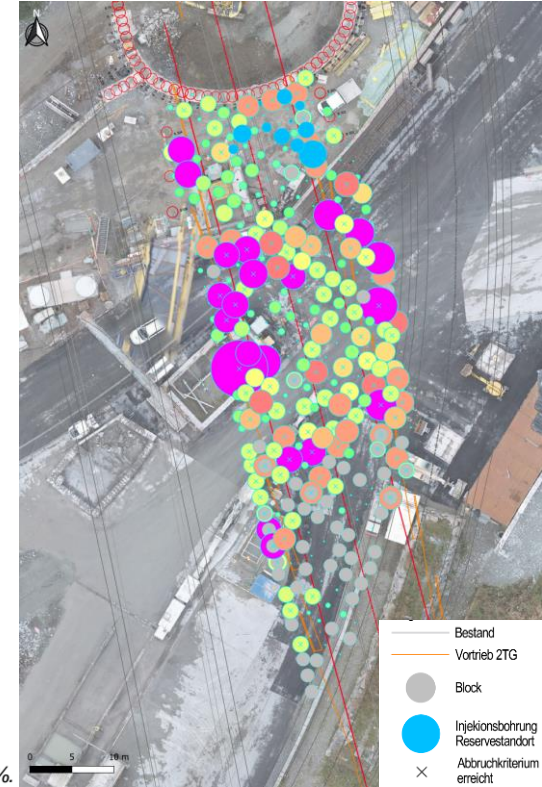
Quelle Fotos: IG 2G-BN

Massnahme zur Baugrundverbesserung

- Erfahrungen aus Injektionskampagne
 - Herausfordernd um Baustellenlogistik / Baustellenverkehr nicht unzulässig zu behindern
 - Verbrauch an Injektionsgut war grösser als erwartet (wohl v.A. infolge grosser Hohlräume)
 - Sehr heterogener Baugrund über Tiefe (Hohlräume, rein blockiges Material, kiesig sandiges Material) herausfordernd für Festlegung Injektionsgut

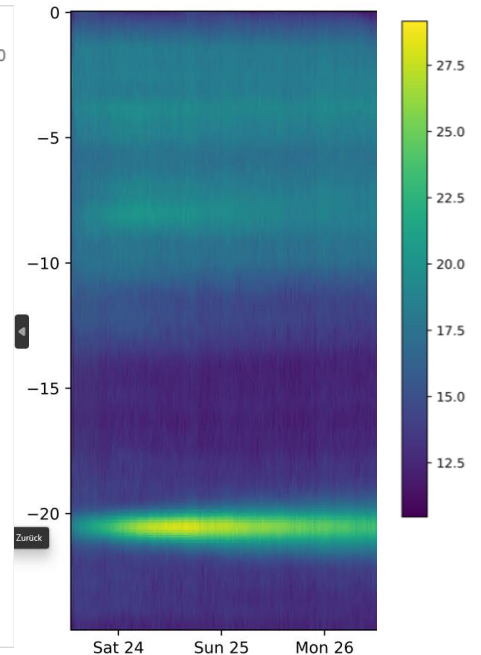
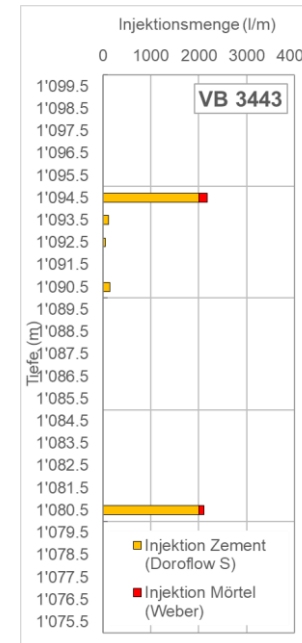


*Hinweis:
Die dargestellten Kreise entsprechen dem theoretisch errechneten Injektionsradius unter Annahme einer Kreisförmigen Ausbreitung und einer Porosität von ca. 35%.*



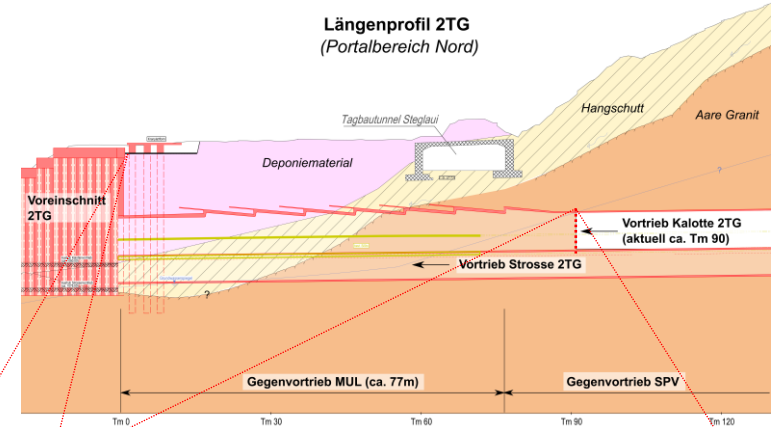
Massnahme zur Baugrundverbesserung

- Erfahrungen aus Injektionskampagne
 - Bei gewissen Bohrlöchern wurde die Temperaturentwicklung (Hydratationswärme) in den Tagen nach dem Injizieren gemessen
 - Die Messungen wurden mittels Faseroptischen Messkabeln durchgeführt durch das IGT (ETHZ)
 - Die Resultate geben Aufschluss darüber, wo Hohlräume verfüllt wurden und wo das Injektionsgut z.T. abfließt



Ausblick auf die weiteren Arbeiten in diesem Bereich

- Aktueller Stand Vortrieb 2TG:
Kalotte ausgebrochen bei ca. Tm 90
- Vortrieb Kalotte 2TG noch bis ca.
April 2024
- Vortrieb Strosse/Sohle 2TG bis ca.
August 2024



Quelle Foto: IG 2G-BN

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Lombardi SA
B+S AG
ILF Beratende Ingenieure AG
Emch+Berger AG Bern



B+S
INGENIEURE UND PLANER

Bauherrschaft



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Dipartimento federale
dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC
Ufficio federale delle strade USTRA
Filiale Bellinzona

Projektverfasser

 **Lombardi**

B+S
INGENIEURE UND PLANER

ILF
CONSULTING
ENGINEERS

**Emch+
Bergen**



Örtliche Bauleitung Nord



Bauausführung Nord

secundo tubo

Fragen?

Lombardi SA
B+S AG
ILF Beratende Ingenieure AG
Emch+Berger AG Bern



B+S⁺
INGENIEURE UND PLANER