[Bildquelle: B+S AG]

Der vorliegende Beitrag behandelt den maschinellen Vortrieb des Bauloses 343 «Zugangsstollen Süd» des Projektes 2. Röhre Gotthard-Strassentunnel und stellt die Herausforderungen aus Sicht Projektverfasser während Planung und Realisierung vor.
Als Mitglied der Ingenieurgemeinschaft Nuovo Gottardo ist die B+S AG u.a. für die Projektierung und Fachbauleitung dieses anspruchsvollen Bestandteils des Gesamtprojektes 2. Röhre Gotthard-Strassentunnel zuständig.

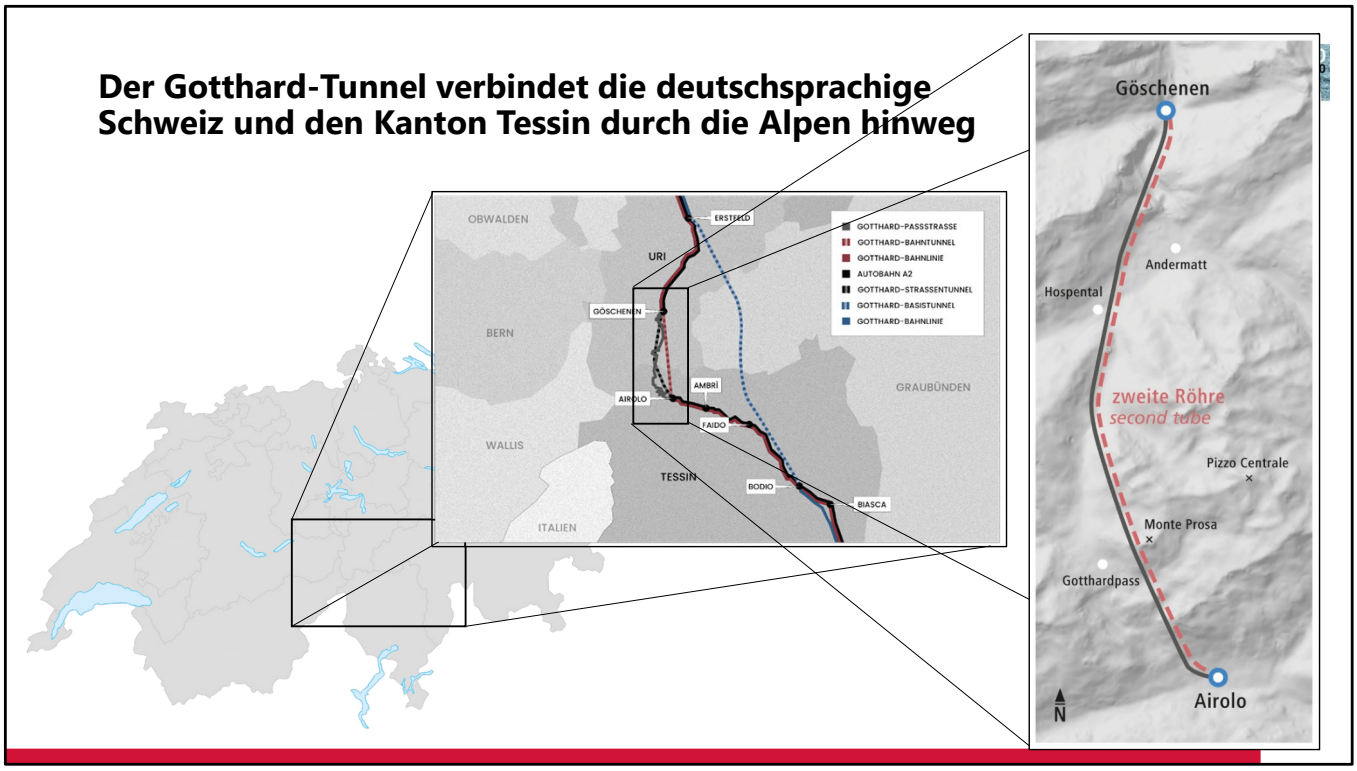
Inhalt der Präsentation

1. Projektübersicht

2. Besonderheiten und Herausforderungen während Projektierung und Ausführung
   a. Wahl TBM
   b. Normalprofil- und Tübbingdesign
   c. Bauhilfsmassnahmen konventioneller Vortrieb der Startröhre

3. Aktuelles aus der Baustelle

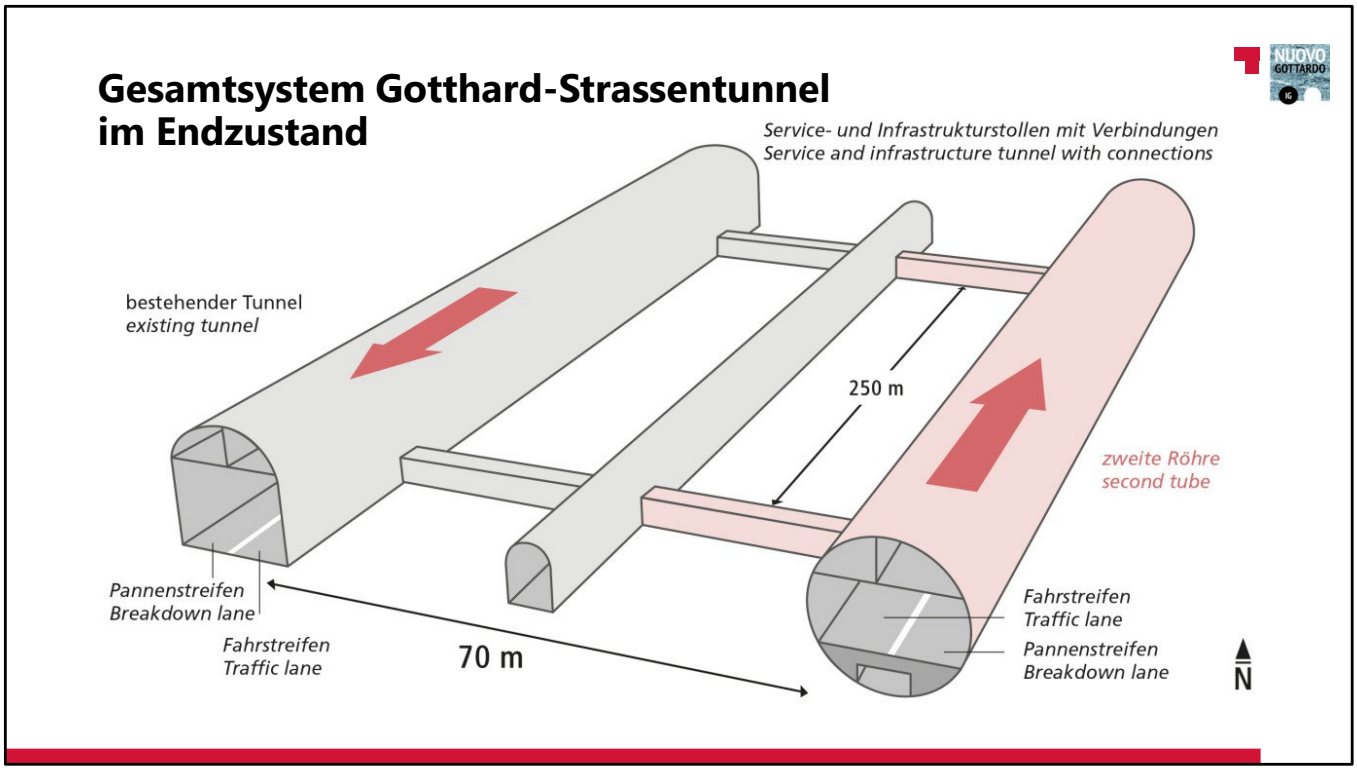
Projektübersicht



[Bildquellen: Bundesamt für Strassen ASTRA, https://www.astra.admin.ch/]

Der Gotthard-Strassentunnel der schweizerischen Autobahn N02 ist eine der wichtigsten Strassenverbindungen in Europa.
Mit einer Gesamtlänge von 16.9 km verbindet der Tunnel Nord- und Südeuropa mittels einer Durchquerung der Alpen zwischen der deutschsprachigen Schweiz und dem Kanton Tessin.

Die zweite Röhre kommt parallel und östlich zum bestehenden Tunnelsystem zu liegen. Die Bauzeit dauert bis zur Inbetriebnahme rund 9 Jahre. Die Investitionskosten Bau/BSA betragen ca. 2.14 Milliarden CHF.



[Bildquelle: Bundesamt für Strassen ASTRA, https://www.astra.admin.ch/]

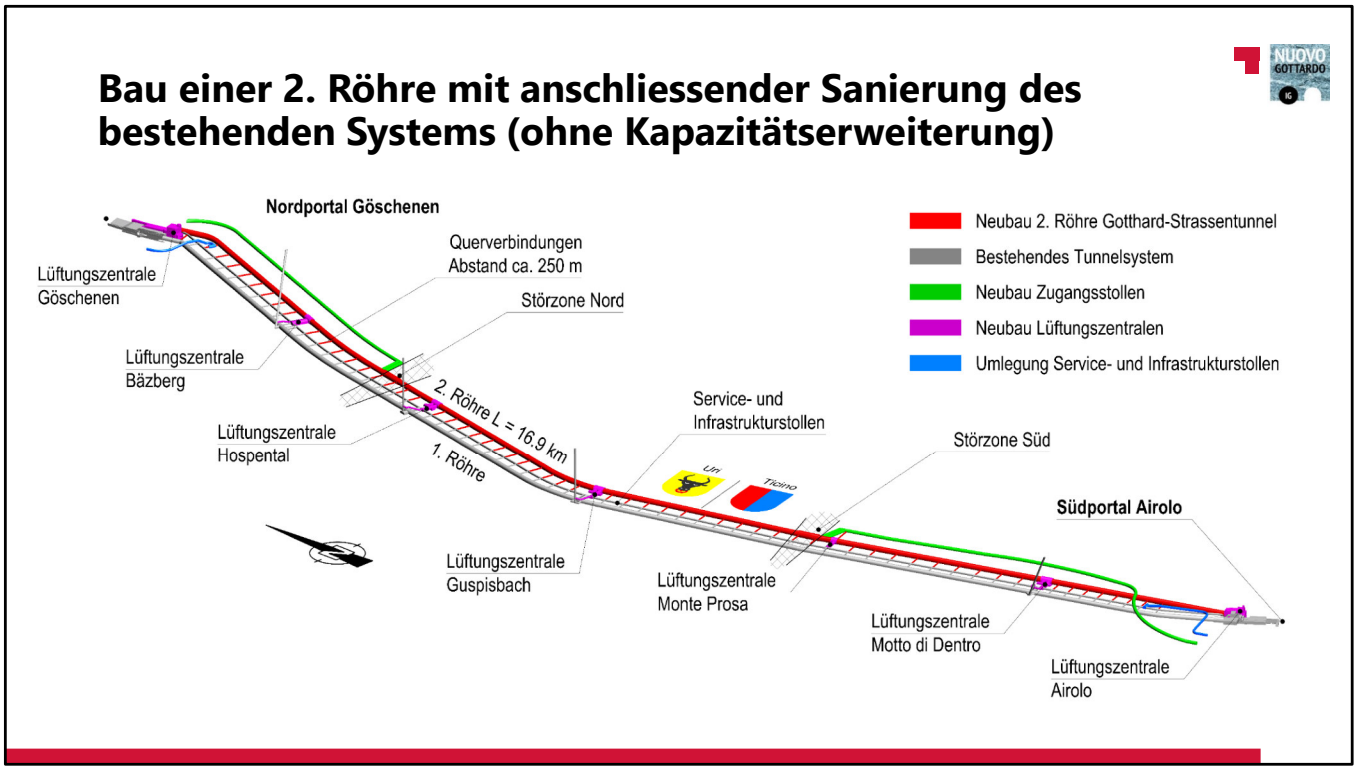
Kurzbeschrieb Gesamtsystem Gotthard-Strassentunnel im Endzustand

Die 2. Röhre wird parallel zum heutigen Strassentunnel, östlich des bestehenden SISto verlaufen und rund alle 250 m mittels Querverbindungen mit diesem verbunden sein.

Bei der bestehenden 1. Röhre des Gotthard-Strassentunnels (1TG) handelt es sich um einen im Gegenverkehr befahrenen Autobahntunnel.

Auf der Ostseite verläuft der bestehende Sicherheits- und Infrastrukturstollen (SISto) im Abstand von etwa 30 m parallel zum Haupttunnel. Er ist derzeit mit 65 Querverbindungen (QV) über Schutzräume etwa alle 250 m mit dem Haupttunnel verbunden und für dessen Betrieb essenziell.

Im Endzustand besteht demnach das Gesamtsystem Gotthard-Strassentunnel (GTG) aus zwei einspurig befahrenen, parallelen Tunnelröhren mit einem mittig angeordneten Service- und Infrastrukturstollen (SISto), welcher über die Querverbindungen aus 1TG und 2TG sowie über seine Portale zugänglich ist. Die Verbindung 2TG zum SISto erfolgt über insgesamt 68 neue QV, 6 davon sind befahrbar.

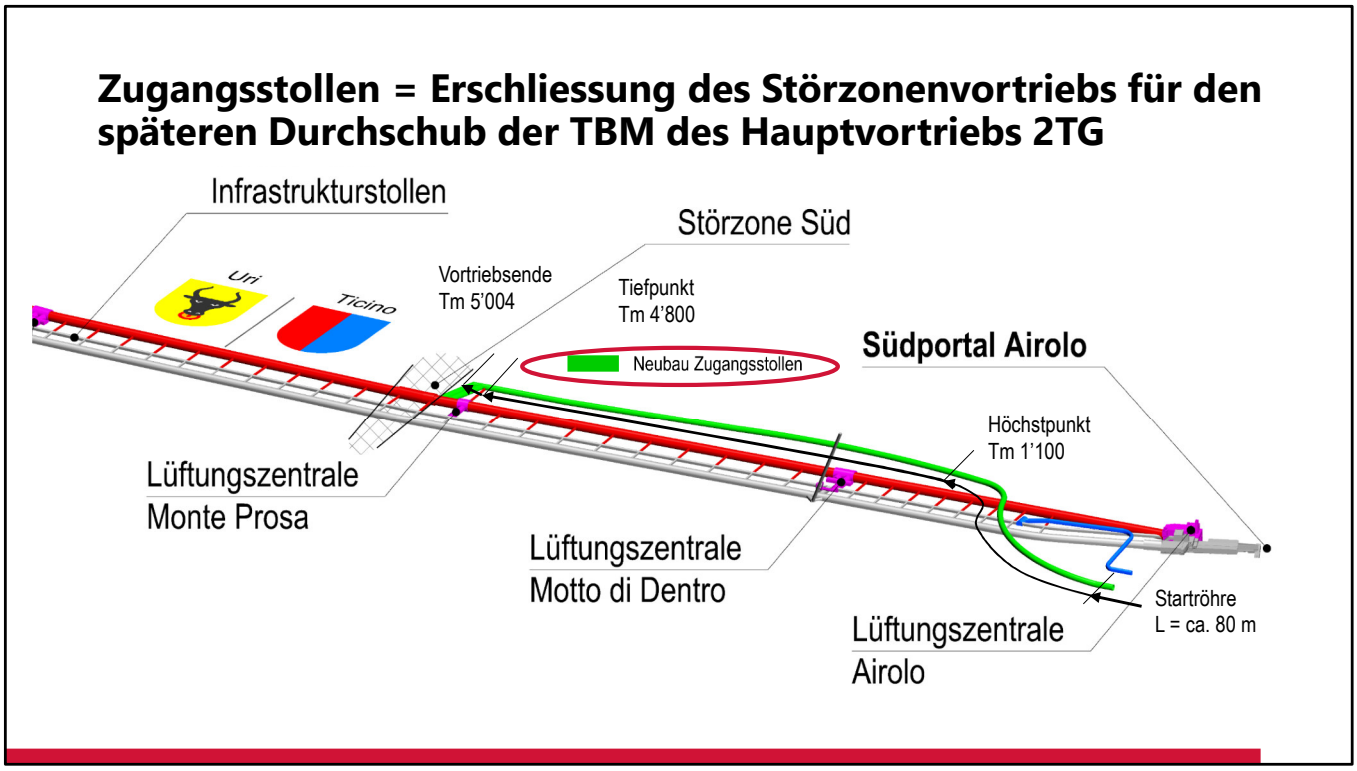


[Bildquelle: IG Nuovo Gottardo]

Kurzübersicht des Projekts 2. Röhre Gotthard-Strassentunnel (2TG)

Die 2. Röhre des Gotthard-Strassentunnels (2TG) ist knapp 17 km lang und liegt mit einem Regelabstand von 40 m östlich des SISto. Die Linienführung der 2TG erfolgt grösstenteils parallel zur bestehenden Röhre (1TG) und dem bestehenden SISto. Die Tunnelröhren 1TG und 2TG sind über Querverbindungen mit dem SISto verbunden. Die Lüftung des Tunnelsystems GTG wird im Endzustand über die Lüftungszentralen an den Portalen Göschenen und Airolo sowie 2 bergmännische Zentralen (Hospental und Guspisbach) mit bestehenden Lüftungsschächten sichergestellt. Der SISto sowie die Querverbindungen und die Werkleitungskanäle unterhalb der Fahrbahn werden durch eine separate Lüftung gespeist (bergmännische Lüftungszentralen Bäzberg und Stollen Süd sowie Portalzentralen Airolo und Göschenen) und stehen gegenüber den Fahrräumen in Überdruck. Im Portalbereich Airolo wird im Rahmen von flankierenden Massnahmen der Anschluss an die Autobahn und an die Gotthard-Passstrasse umgestaltet. Das Trassee N02 nach den Ein- und Ausfahrten bis zur Mittelstreifenüberfahrt vor dem Stalvedrotunnel wird mithilfe eines Tagbautunnels «Galleria di Airolo» überdeckt und ermöglicht die Ablagerung von Tunnelausbruchmaterial direkt vor Ort in Portalnähe.

Es bestehen insgesamt fünf bergmännische Lüftungszentralen, die jeweils mit einem Lüftungsschacht oder Lüftungsstollen mit der Aussenluft verbunden sind, sowie je eine Lüftungszentrale an den beiden Portalen in Airolo und Göschenen.



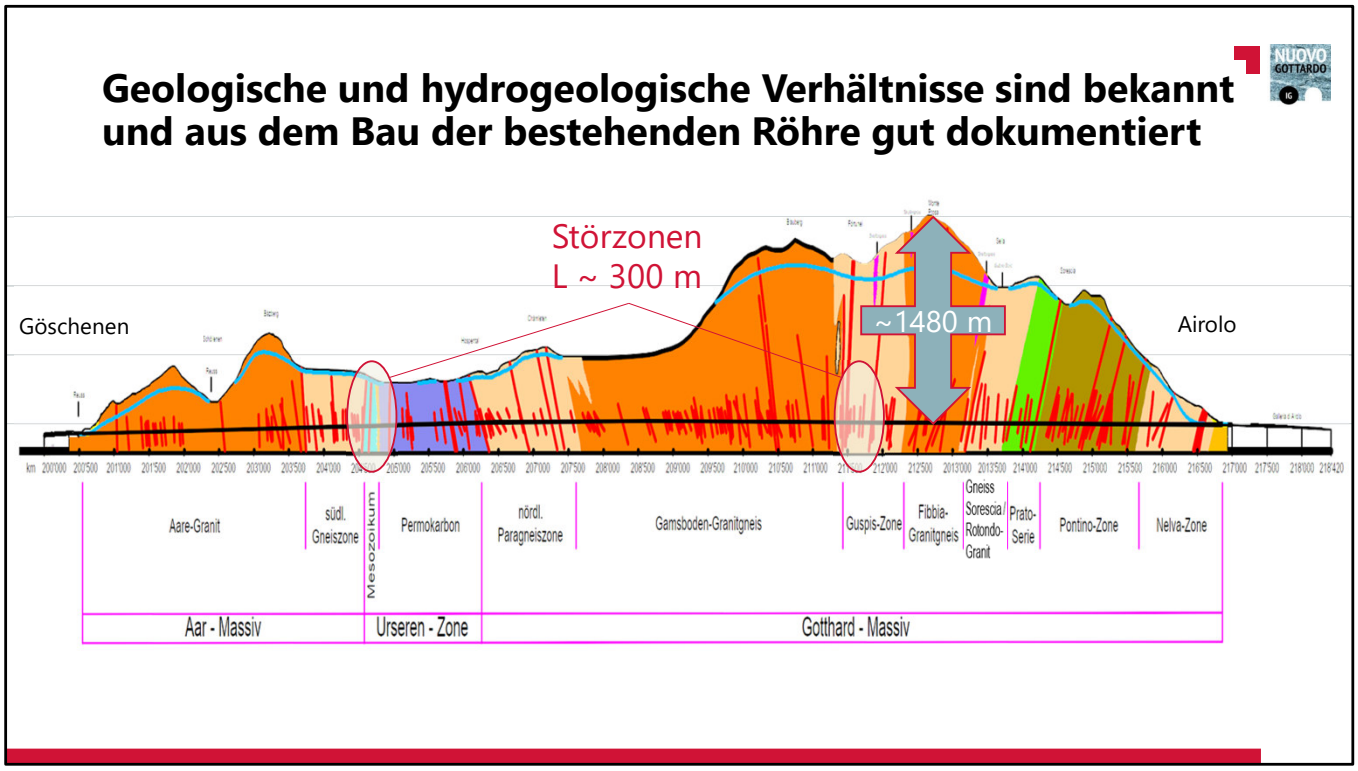
[Bildquelle: IG Nuovo Gottardo]

Das Bauwerk «Zugangsstollen Süd» als Teil des übergeordneten Projektes 2TG
Die 2. Röhre wird im Bereich der prognostizierten Störzone Süd «Guspisbach» konventionell aufgefahren. Während der Bauphase dient der Zugangsstollen Süd (ZSTS) als einzige Erschliessung dieser Vortriebsstelle, damit die Tunnelbohrmaschine des Hauptvortriebs Süd bei ihrer Ankunft mit geringstmöglichen Auswirkungen auf das Gesamtbauprogramm durch die Störzone geschoben werden und die verbleibende Vortriebsstrecke in Angriff genommen werden kann.
Im Betriebszustand dient der ZSTS der Frischluftzufuhr zur Lüftungszentrale Monte Prosa (LMP), welche gemäss integrierter Planung Gesamtsystem Gotthard-Strassentunnel (IP GTG) zur Belüftung des SISto sowie des Werkleitungskanals (WELK) genutzt wird.

Kenndaten
Baubeginn: April 2021
Bauende: Herbst 2023, Übergabe an Hauptlos Süd für den Störzonenvortrieb
Gesamtlänge: 5'004 m
Ausbruchsdurchmesser: 7.4 m

Linienführung
Konventioneller Vortrieb MUL/MUF & SPV der Startröhre, L = ca. 80 m.
Steigender Vortrieb mit 6% bis zum Höchstpunkt bei ca. Tm 1'100.
Fallender Vortrieb mit 0,5% bis zum Tiefstpunkt beim Anschluss an die zukünftige Lüftungszentrale Monte Prosa bei ca. Tm 4'900.
Steigender Vortrieb mit 0,5% bis Stollenende bei Tm 5'004, bzw. bis «Sicherheitsabstand» zur Störzone → Sackgasse!

Wahl TBM



[Bildquelle: IG Nuovo Gottardo]

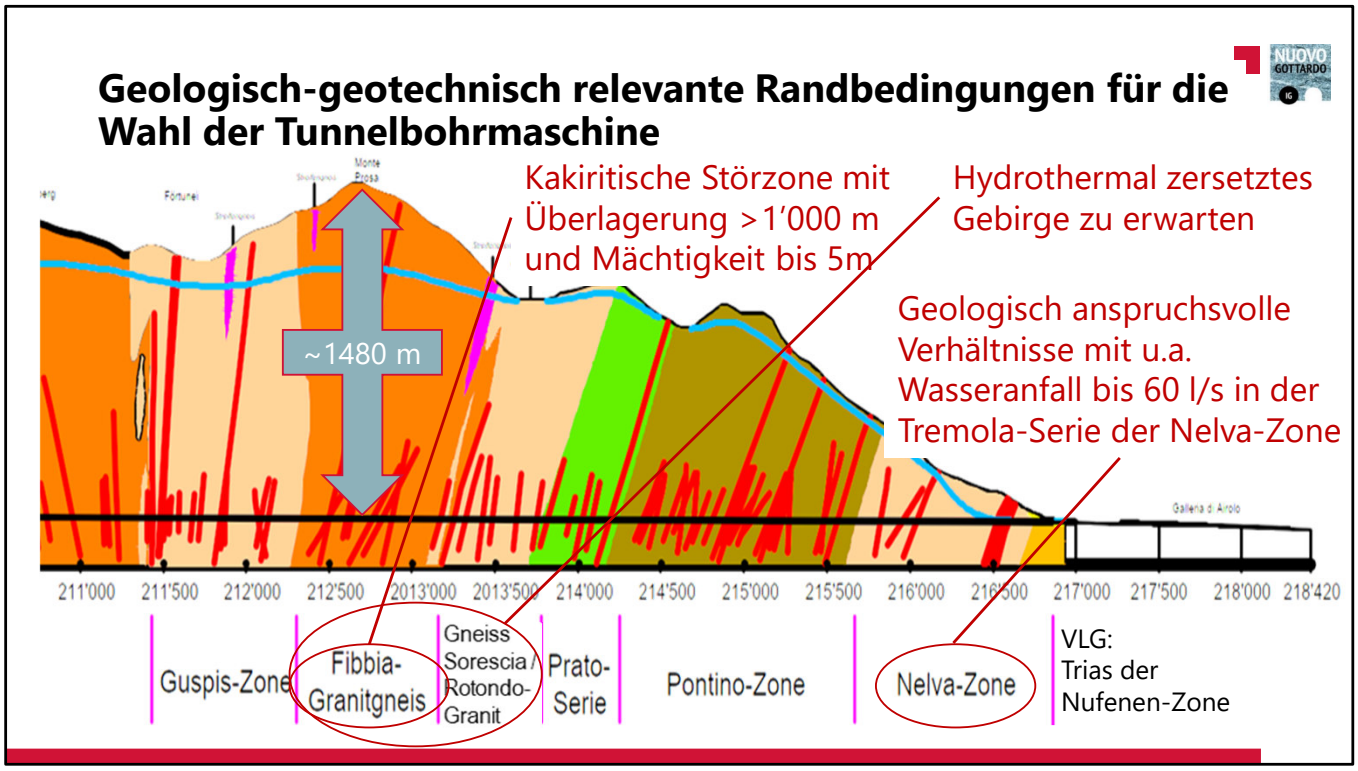
Kurzbeschrieb geologische und hydrogeologische Verhältnisse

Der Nordabschnitt durchquert das Aar-Massiv (Granit, Gneis) und die Urseren-Zone mit einer maximalen Überlagerung von 675 m. Am Übergang vom Mesozoikum zum Permokarbon in der Urseren-Zone wird die rund 300 m lange «Störzone Nord» mit stark druckhaftem Gebirge erwartet. Der südliche Abschnitt durchörtert das Gotthard-Massiv (v.a. Granitgneis) mit Überlagerungen von mehr als 1'000 m. Auf weiten Teilen der geologischen Einheiten des Gotthard-Massivs sind einzelne Störzonen prognostiziert. In der Guspis-Zone befindet sich die 300 m lange «Störzone Süd». Hier wird sich der teilweise stark tektonisch gestörte und verlehmte Fels gebräch und druckhaft verhalten.

Die geologischen und hydrogeologische Verhältnisse sind bekannt und aus dem Bau der 1. Röhre / SISto sehr gut dokumentiert.

Rückschlüsse aus dem Bau des Gotthard-Basistunnels wurden von den Geologen/Geotechnikern berücksichtigt bzw. die bautechnischen Herausforderungen aus dem Bau der 1. Röhre sind dokumentiert und im Projekt eingeflossen.

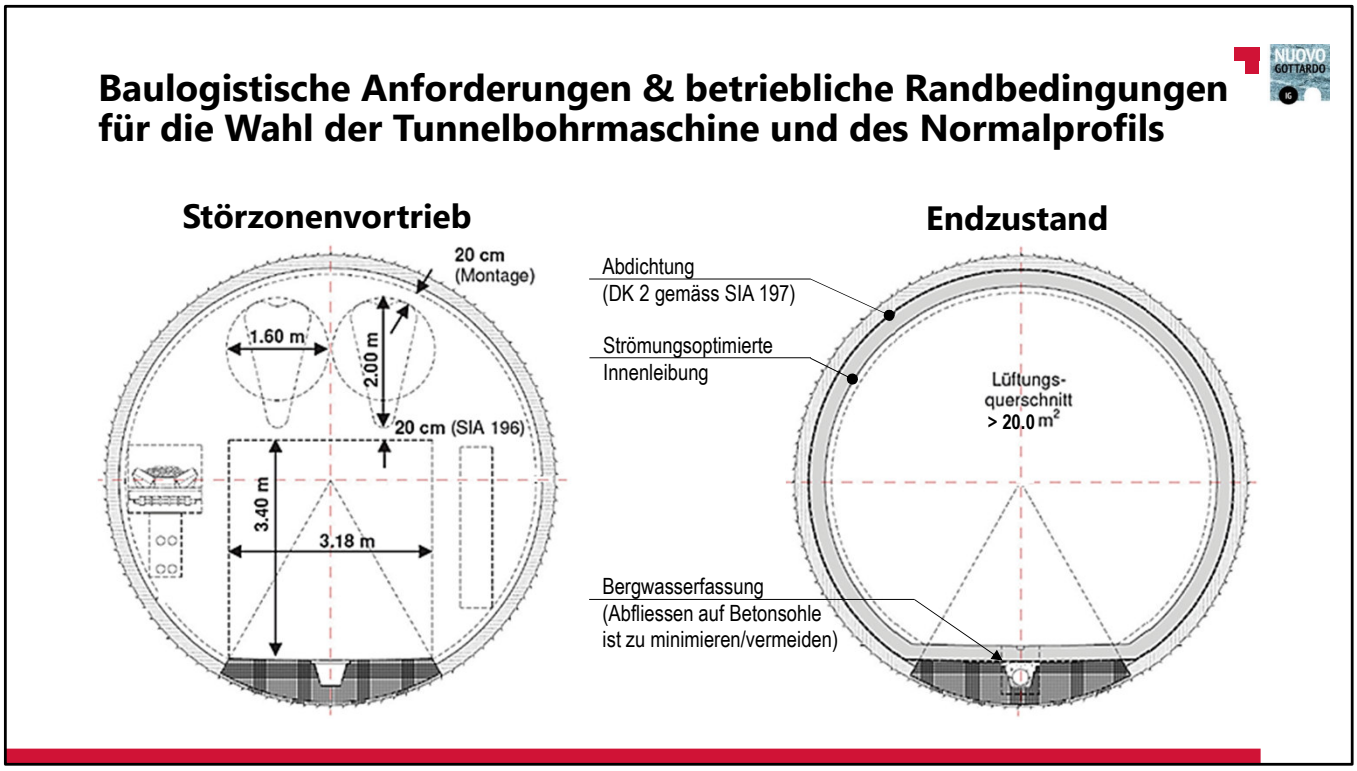
Infolge des damals zeitintensiven Vorgehens wurde der Bau der beiden Zugangsstollen Nord und Süd für die frühzeitige Erschliessung dieser beiden Störzonen im Projekt vorgesehen. Das Auffahren im konventionellen Vortrieb erfolgt somit zeitgleich zu den eigentlichen TBM-Vortrieben der Hauptröhren.



[Bildquelle: IG Nuovo Gottardo]

Massgebende projektspezifische Gefährdungsbilder TBM-Strecke

- Auflockerungsdruck (in Funktion der Mächtigkeit der stark zerklüfteten bzw. kakiritisierten Bereiche und der Überlagerung)
- Leicht druckhaftes Gebirge (Verklemmen des Schildes, Versagen / Abplatzungen / unzulässige Deformationen der Tübbing-Ringe)
- Ortsbrustinstabilität, vorauseilende Ortsbrust (Verklemmen des Schildes und des Bohrkopfs, Blockieren des Bohrkopfs)
- Erhöhter Verschleiss und/oder kleine Penetration aufgrund von Gesteinen mit erhöhtem Gehalt an harten Mineralien
- Bergwasserzutritte
- Beeinflussung 1TG/SISto bei Überquerung



[Bildquellen: IG Nuovo Gottardo]

Die Normalprofilgestaltung und die TBM-Wahl erfolgten aufgrund der geologischen, hydrogeologischen, geotechnischen und baulogistischen Randbedingungen, wie auch auf Basis der Anforderungen an den Endzustand.

Ausgehend von der Änderung des Lüftungskonzepts im Rahmen der ganzheitlichen Betrachtung des Gesamtsystems Tunnel Gotthard wurden die folgenden Anforderungen an die Nutzung des Zugangsstollens Süd im Endzustand als Lüftungsstollen definiert:

- Der vorhandene Lüftungsquerschnitt sowie der Ausbautyp in Ortbeton, Spritzbeton oder mittels Tübbingen beeinflussen die Betriebskosten. Ein grösserer Lüftungsquerschnitt sowie eine strömungsoptimierte Innenlaibung der Verkleidung wirken sich günstig aus.
- Der Zugangsstollen ist analog zu den bestehenden Lüftungsschächten abzudichten, damit die Luft keine Feuchte aufnimmt. Es sind einzelne Feuchtstellen, aber kein tropfendes Wasser zugelassen. Durch diese Anforderung ist somit für den Zugangstollen Süd eine Dichtigkeitsklasse 2 nach Norm SIA 197 (Ziffer 8.6.2.3) erforderlich.
- Das Bergwasser ist zu fassen und in Entwässerungsleitungen abzuführen.
- Im Stollen ist keine technische BSA-Installation, d.h. auch keine elektrische Versorgung und keine Beleuchtung vorzusehen.

Nach einem Variantenvergleich entschied man sich für eine TMB-S mit einschaligem Tübbingausbau

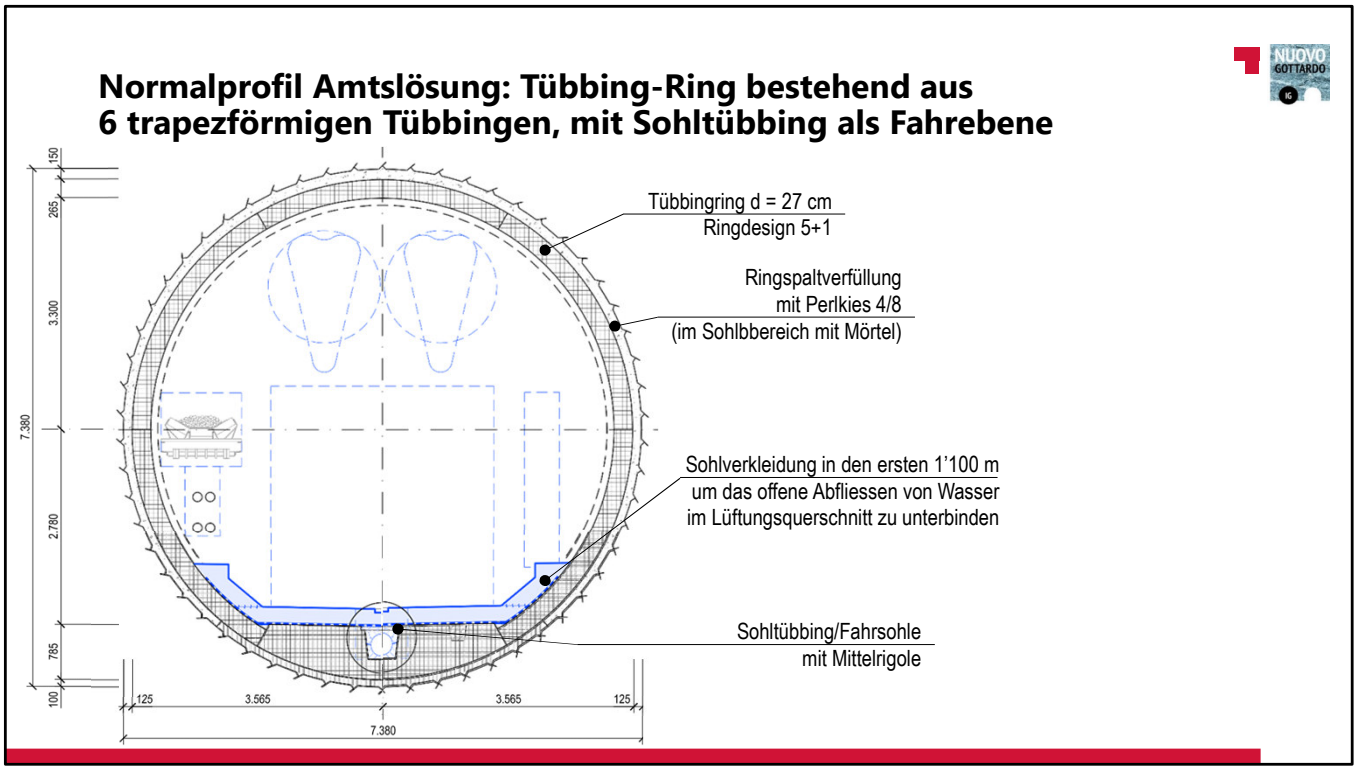
Projektspezifisch ausschlaggebende Kriterien	TBM-G Ø 7.02 m zweischaliger Ausbau	TBM-S Ø 7.38 m einschaliger Ausbau
Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz	-	+
Abweichungen von der geologischen Prognose	-	+
Erkundungsfunktion des Zugangsstollens Süd	+	≈
Bauzeit des Zugangsstollens Süd	-	+
Baukosten des Zugangsstollens Süd	-	+
Materialanfall und Materialverbrauch	+	-

-	minimale Erfüllung / ungünstiger
≈	neutrale Erfüllung / vergleichbar
+	maximale Erfüllung / günstiger

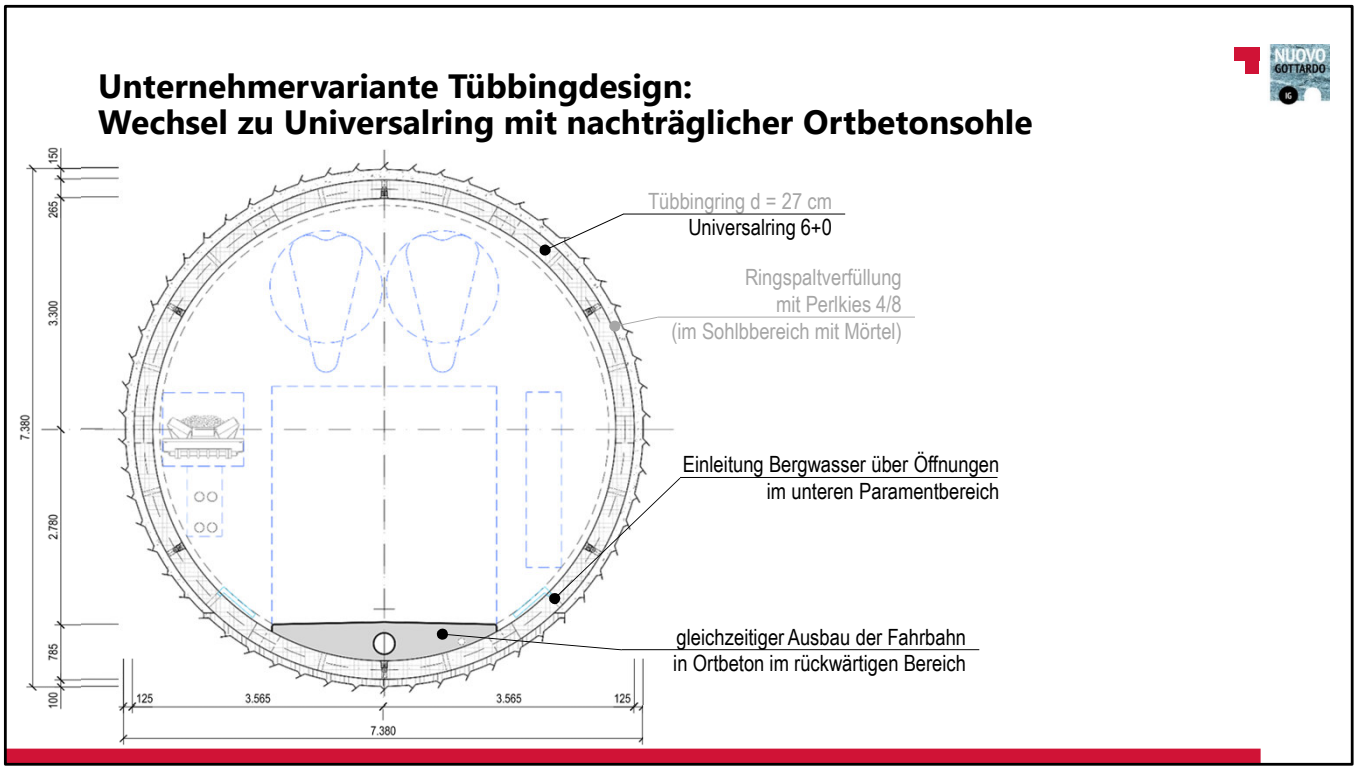
Ein Vortrieb mittels TBM-S und ein Normalprofil mit einschaligem Ausbau weisen bei gleichwertiger Erfüllung der Nutzungsanforderungen unter den vorhandenen Randbedingungen folgende Vorteile auf:

- Insgesamt tiefere Realisierungskosten.
- Kürzere Bauzeit des Zugangsstollens Süd und somit auch kürzere Gesamtbauzeit.
- Geringere Kosten- und Terminrisiken.
- Höhere Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz während Vortriebsarbeiten.

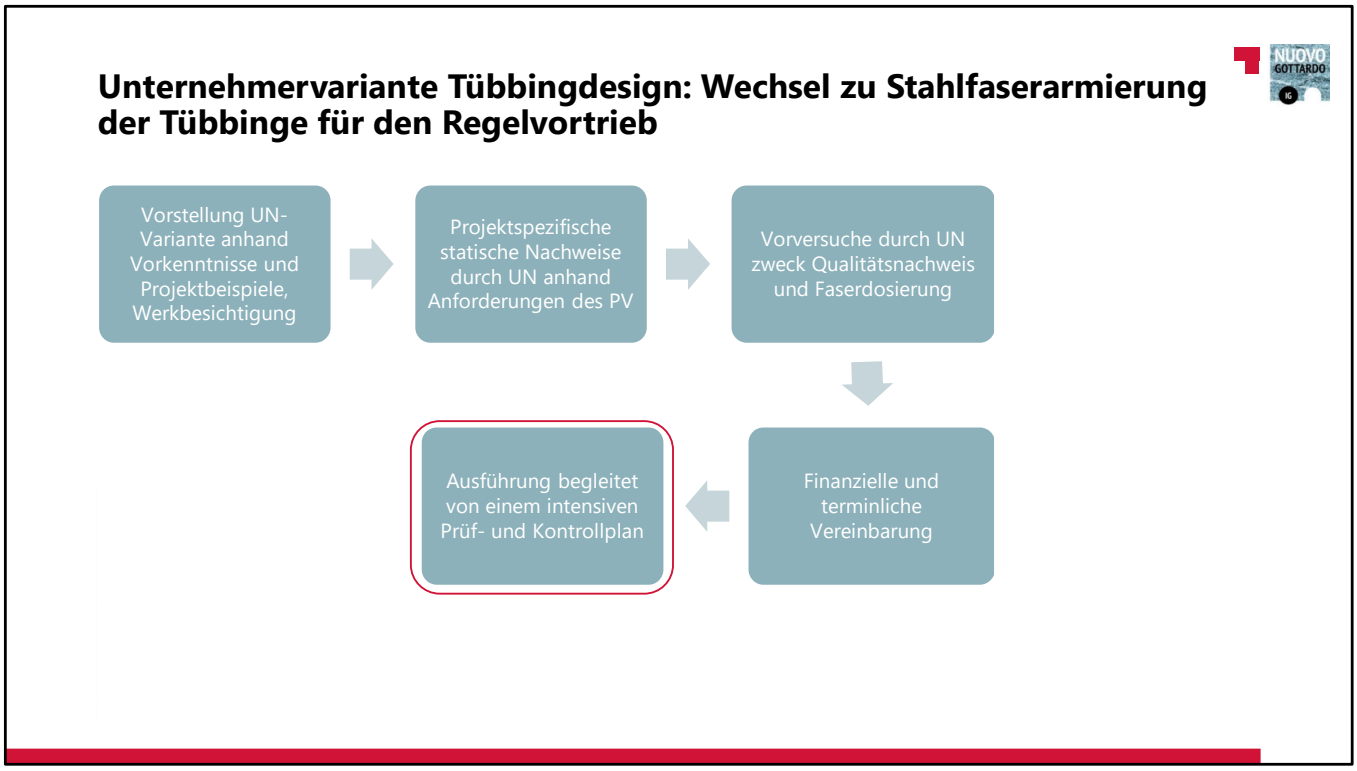
Normalprofil- und Tübbingdesign



[Bildquelle: IG Nuovo Gottardo]



[Bildquelle: IG Nuovo Gottardo]



Stahlfaserarmierte Tübbinge

Die Produktion der Regeltübbinge erfolgte entsprechend der Unternehmervariante mit reiner Stahlfaserbewehrung.

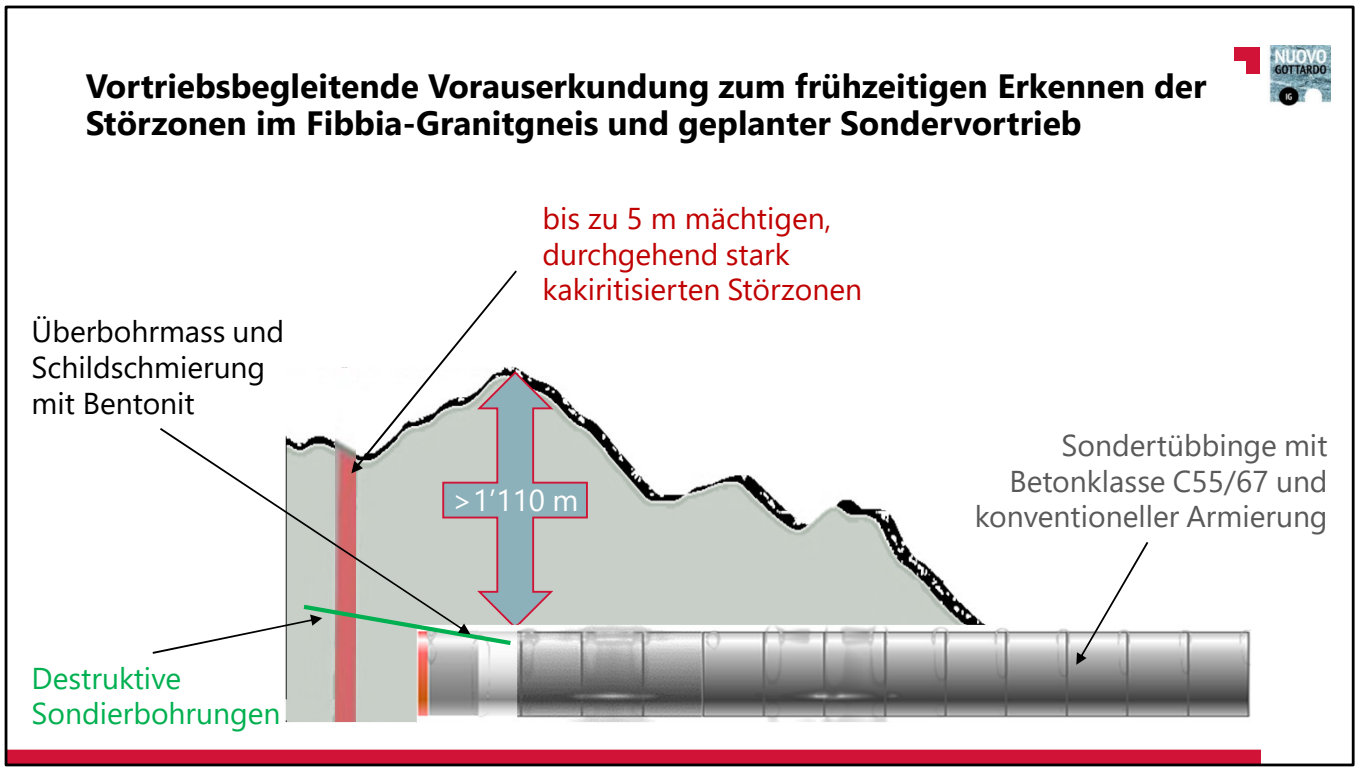
Für die Festlegung des Stahlfasergehalts wurden im Vorfeld zur eigentlichen Produktion diverse Serien an Biegebalkenprüfungen durch den Unternehmer durchgeführt.

Eingesetzte Stahlfaser-Typ: Dramix 4D 80/60 BG

Gewählte Stahlfaserdosierung: 42 kg/m3

Prüfung zur Bestimmung der Biegezugfestigkeit erfolgte gemäss SN EN 14651 mit Prüfkörper Balken [mm] 150x150x600.

Die Biegezugfestigkeit wurde nach der SIA 260.001/NA, Eurocode - Grundlagen der Tragwerksplanung - Nationaler Anhang NA zu SN EN 1990:2002 ermittelt.



Vorauseilende Erkundungsmassnahmen

Die vortriebsbegleitende Vorauserkundung zum frühzeitigen Erkennen von gemäss geologischer Prognose bis zu 5 m langen Störzonen im Fibbia-Granitgneis erfolgt mittels destruktiven Bohrungen (L = 60 m, 10°÷15°) durch den Schild.

Sondervortrieb

Um ein Verklemmen des Schildes und eine Überbeanspruchung der Tübbinge in den bis zu 5 m mächtigen, kakiritisierten Störzonen (sogenannter "Sondervortrieb") zu vermeiden, sind diese Störzonen ohne Unterbruch unter Zuhilfenahme einer Bentonit-Schmierung des Schildes sowie der Nutzung des Überbohrmasses zu durchfahren. Die Sondertübbinge weisen erhöhte Betondruckfestigkeiten auf (Betonklasse C55/67) und sind mit konventioneller Armierung bewehrt.

Bauhilfsmassnahmen konventioneller Vortrieb Startröhre

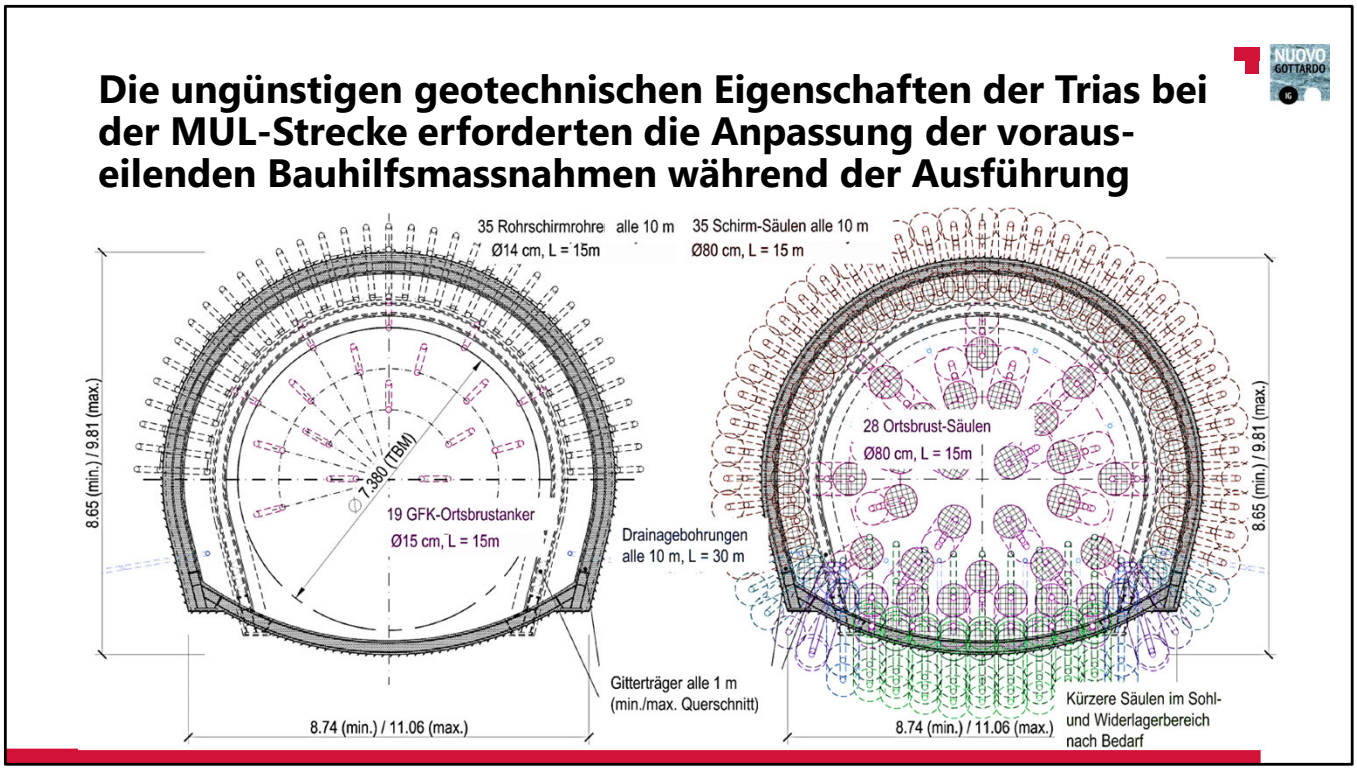
Nachbrüchiges Verhalten im Voreinschnitt und Zerfall der Trias zu Feinsand innerhalb von wenigen Minuten

[Bildquellen: IG Nuovo Gottardo]

Beim Aushub der letzten Etappen des Voreinschnitts erwiesen sich die geotechnischen Eigenschaften und das bautechnische Verhalten der Trias als wesentlich ungünstiger als im Detailprojekt angenommen bzw. auf den ersten Etappen des Voreinschnitts angetroffen:

- Die Standzeit beträgt lediglich wenige Minuten.
- Rapide Gesteinsentfestigung in Kontakt mit Wasser (innert Minuten).
- Sehr schlechte Gesteinseigenschaften der Trias; praktisch keine Zementierung und Zerfall zu reinem Feinsand bei mechanischer Beanspruchung wie z. B. die Applikation von Spritzbeton.
- Wesentlich grösserer Bergwasseranfall als erwartet.
- Wesentlich kleinere Ausziehwiderstände der vorgespannten Anker als angenommen.

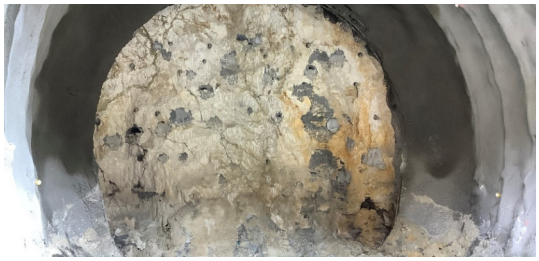
Aufgrund der festgestellten, nicht ausreichenden Standzeit und des Zerfalls der Trias beim Spritzbetonauftrag sowie des höheren Wasseranfalls wurde eine Anpassung der Baugrubensicherung und des Vortriebskonzepts der Startröhre vorgenommen.
Als zum Rohrschirm alternative bzw. mit dem Rohrschirm kombinierbare vorauseilende Baugrundverbesserungen wurden für den Vortrieb in der Trias die folgenden Bauhilfsmassnahmen diskutiert: Injektionen, Gefrierverfahren, HDI-Verfahren (Jetting).
Aufgrund der heterogenen und teilweise kompakten, wenig durchlässigen Verhältnisse wurden die Erfolgsaussichten von Injektionen als gering beurteilt. Wegen des nur in einem Teilbereich anstehenden Grund- bzw. Hangwassers wurde auch das Gefrierverfahren verworfen. Als verbleibende Alternative wurde daher das HDI-Verfahren gewählt.
Die Eignung des HDI-Verfahrens konnte bereits mittels Probefeld im Voreinschnittbereich und erfolgreich hergestellten Dichtsäulen bestätigt werden.



[Bildquellen: IG Nuovo Gottardo]

Der steife und sofortige Einbau der Ausbruchsicherung nach jedem Abschlag erfolgte weiterhin mit Stahleinbau (Bogenabstand 1 m) und entsprechendem Ringschluss. Die Gitterbögen, welche bereits für den Rohrschirm-Vortrieb bestellt wurden, können ohne Anpassungen für den MUF-Vortrieb mit Jetting weiterhin verwendet werden.

Jetting als vorauseilende Bauhilfsmassnahme im Trias hat sich bewährt



[Bildquellen: IG Nuovo Gottardo]

Erstellung Jetting-Schirm im Gewölbebereich und Ortsbrustsäulen mittels horizontalem (statischen) Richtungsbohrgerät (Bild links), bzw. die diagonalen Jetting-Säulen im Sohlbereich mittels (flexiblerem) Multifunktions-Raupenbohrgerät.

Bauhilfsmassnahmen konnten erfolgreich eingesetzt werden:
- Jetting-Schirm war stets geschlossen.
- Die Ortsbrustsäulen erreichten einen Durchmesser von ca. 40-80 cm (abhängig von der Kompaktheit der Trias, vgl. Bild unten rechts).

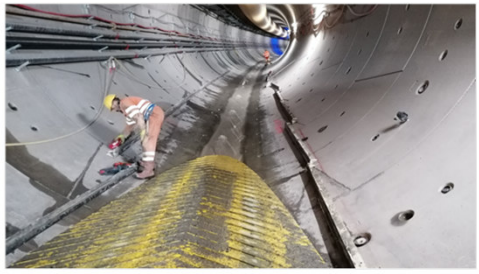
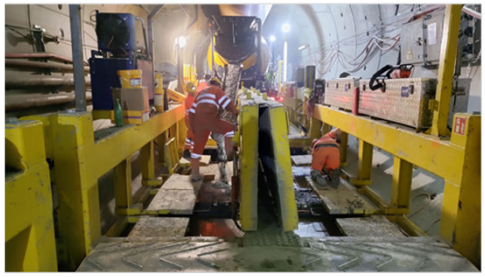
Für den Tunnelausbruch kam unter anderem auch ein Schrammkopf als Abbaugerät zur Anwendung (vgl. Bild oben rechts).

Aktuelles aus der laufende Baustelle

[Bildquellen: B+S AG]

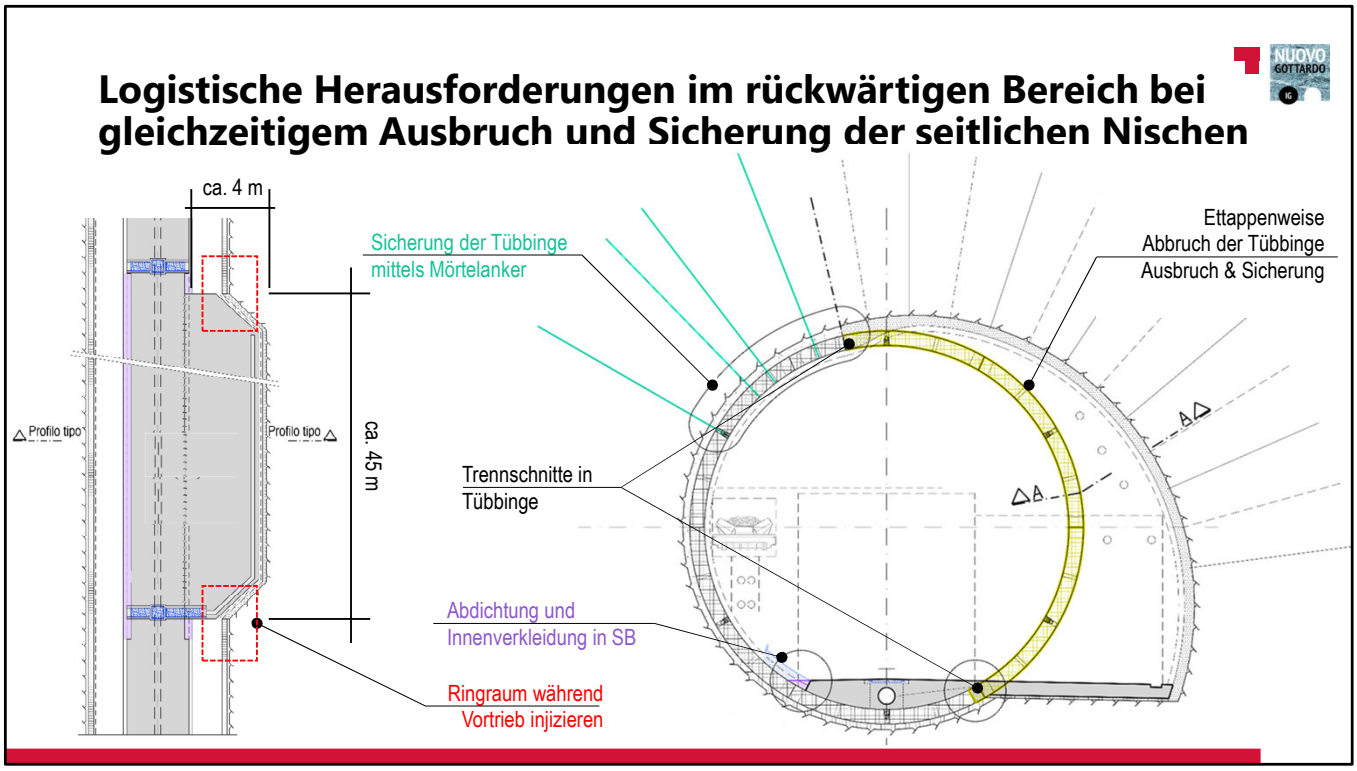
Logistische Herausforderungen beim Installationsplatz:
- Vorhandensein von diversen Hochspannungsleitungen stets unter Betrieb.
- Erschwerte Zugänglichkeit des Installationsplatzes. Verstärkung bestehender Brücken und Strassenverbreiterungen / -ausbauten notwendig.
- Vorgängige Baugrundverbesserungsmassnahmen nötig (Deponiematerial aus Entleerung Becken Wasserwerk).
- Wanne im Grundwasser für erforderliche Vertiefung im TBM-Montagebereich.
- Optimierte Transport- / Lagerlogistik mit 6 Silos für Ladung Ausbruchsmaterial auf LKW.

Logistische Herausforderungen im rückwärtigen Bereich bei gleichzeitig laufender Sohlbaustelle

[Bildquellen: B+S AG, Consorzio DL Bedrina]

Mit einer Schalungsbrücke für die Sohlbaustelle im rückwärtigen Stollenbereich kann die Versorgung des Vortriebs weiterhin gewährleistet werden. Optimierungen der Abläufe der Sohlherstellung wurden vom Unternehmer umgesetzt.



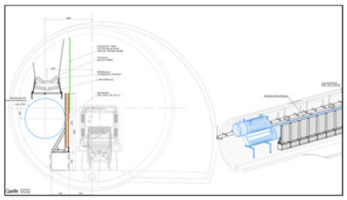
[Bildquellen: IG Nuovo Gottardo]

Gemäss Projekt ist die Anordnung von Nischen ausserhalb des Normalprofils im Abstand von ca. 500 m (total 10 Nischen) aufgrund folgender grundlegender Bedürfnisse (v.a. für den späteren Störzonenvortrieb) vorgesehen::

- Gewährleistung der Baustellenlogistik (Kreuzung von Baustellenfahrzeugen).
- Regelmässige Anordnung von Rettungscontainern (Arbeitssicherheit).
- Anordnung von Einrichtungen für die Wasserhaltung und Booster für die Baulüftung und das Förderband.

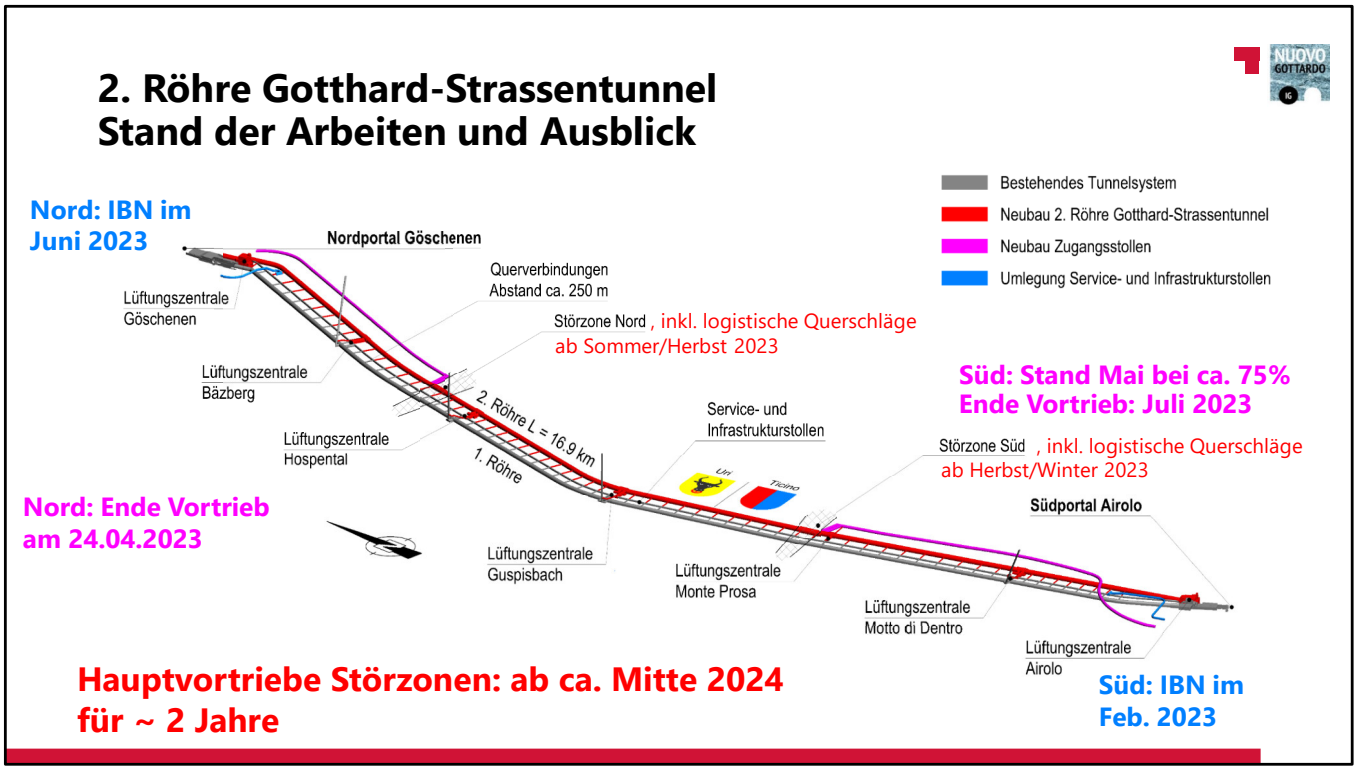
Optimierungen der Abläufe der Sohlherstellung sowie der sprengtechnischen Aufweitung für die Nischen im rückwärtigen Bereich wurden umgesetzt. Des Weiteren laufen aktuell Abklärungen, um den Nischenabstand von 500 m auf max. 1‘000 m zu vergrössern und so die Anzahl der Nischen zu verringern.

Logistische Herausforderungen im rückwärtigen Bereich bei gleichzeitigem Ausbruch und Sicherung der seitlichen Nischen



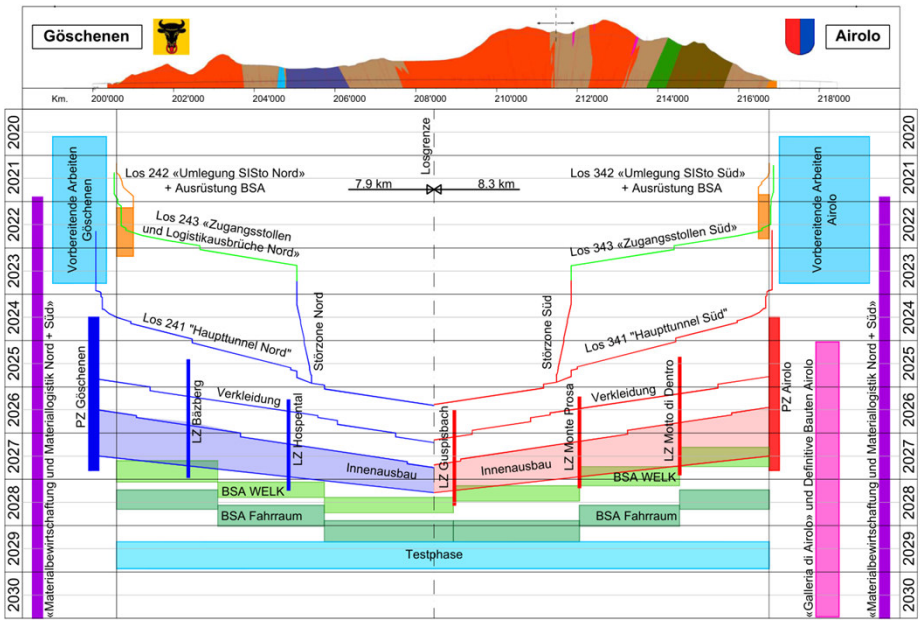
[Bildquellen: B+S AG, Consorzio DL Bedrina, Consorzio Cunicolo Gottardo]

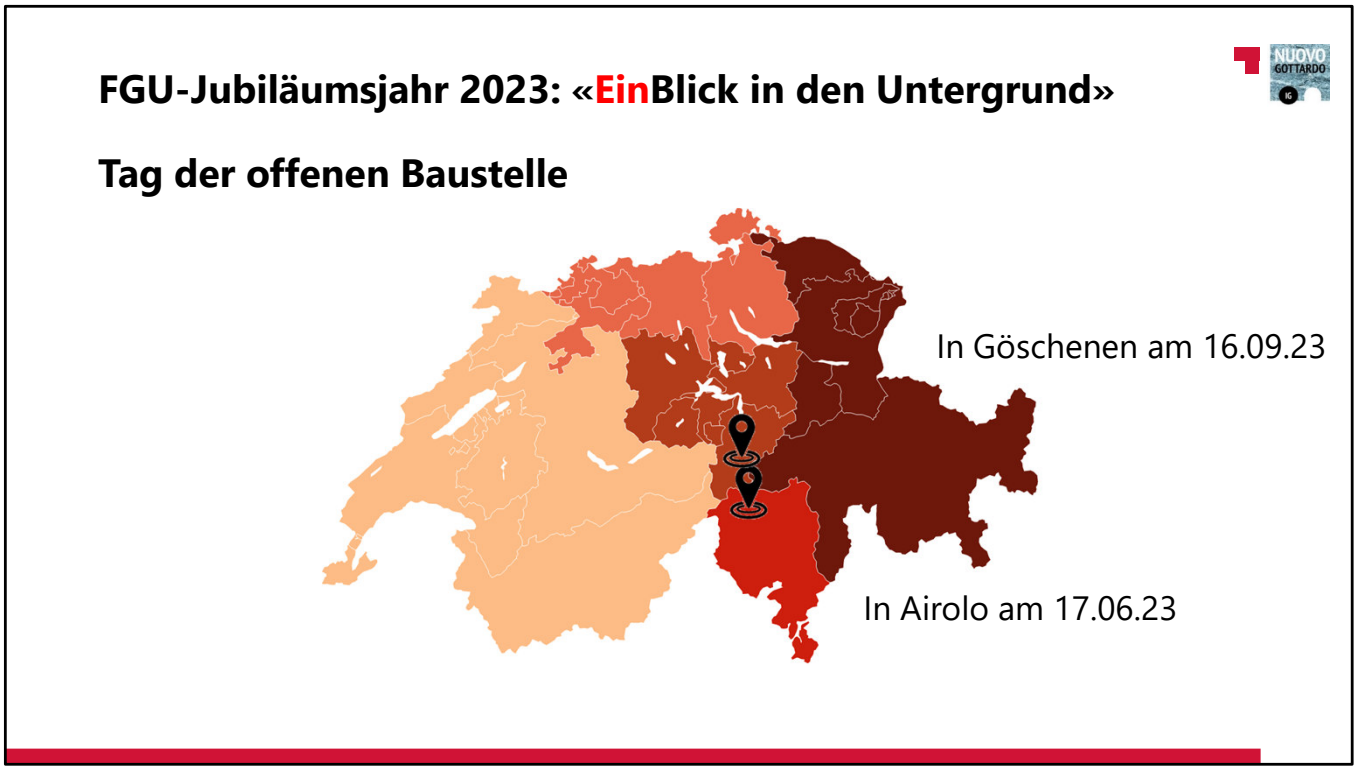
Der Ausbruch der Nischen im Sprengverfahren im rückwärtigen Bereich bei parallel laufendem TBM-Vortrieb erfordert lokal die Umplatzierung der Lutte und eine Schutzwand für die Versorgungseinrichtungen (Lutte, Leitungen, Förderband usw.).



[Bildquellen: IG Nuovo Gottardo]

Gesamtbauprogramm 2TG





[Bildquelle: Fachgruppe für Untertagbau, www.einblick.swisstunnel.ch]

Des Weiteren sind die InfoCenter Airolo und Göschenen geöffnet – jeweils in den Bahnhofsgebäuden in direkter Nähe zur Baustelle.

Danksagung
Mit «Glück auf» und einem «grossen Dank» an die ausführenden Firmen, die örtliche Bauleitung und die Bauherrschaft ASTRA Bellinzona. Besonderen Dank auch an die Kollegen der B+S AG und der IG Nuovo Gottardo für die vorbildliche Zusammenarbeit bei dem Jahrhundertprojekt 2TG.

Bauherrschaft:
Bundesamt für Strassen ASTRA, Filiale Bellinzona
Projektleitung und Oberbauleitung

Projektverfasser:
IG Nuovo Gottardo
Lombardi SA, Giubiasco-Bellinzona
B+S AG, Bern
ILF Beratende Ingenieure, Zürich
Emch und Berger AG, Bern

Örtliche Bauleitung Süd:
Consorzio DL Bedrina
Pini Swiss Engineers SA – Lugano
Renzo Tarchini Cantieri & Contratti SA
AFRY Svizzera SA

Unternehmer Los 343:
ARGE «Consorzio Cunicolo Gottardo»,
unter der Federführung der Marti Tunnel AG

Bauherrenunterstützung:
IG Duo
EBP Schweiz AG
Filippini & Partner Ingegneria SA

Referent:
Giuseppe Ballacchino
MSc ETHZ in Bauingenieurwissenschaften
Senior Projektleiter I Stv. Abteilungsleiter | g.ballacchino@bs-ing.ch | T +41 31 356 80 39
B+S AG | Weltpoststrasse 5 | Postfach | CH-3000 Bern 16 | T +41 31 356 80 80 | www.bs-ing.ch