

Band 23

SWISS TUNNEL DAY 2025

Fachtagung
für Untertagbau



Kongress

12. Juni 2025



FGU Fachgruppe für Untertagbau
GTS Groupe spécialisé pour les travaux souterrains
GLS Gruppo specializzato per lavori in sotterraneo
STS Swiss Tunnelling Society

SWISS TUNNEL DAY 2025

Organizing Committee

Davide Fabbri, Dipl. Ing.
Martina Fasani, Dipl. Ing.
Adrian Müller, Dipl. Ing.
Nicolas Pagani, Dipl. Ing.
Patricia Dal Pont
Viktor Gjorgjiev

President Swiss Tunnelling Society
Swiss Tunnel Congress / Swiss Tunnel Day
Swiss Tunnel Congress / Swiss Tunnel Day
Swiss Tunnel Congress / Swiss Tunnel Day
Secretariat
Secretariat

© 2025 FGU Fachgruppe für Untertagbau



FGU Fachgruppe für Untertagbau
GTS Groupe spécialisé pour les travaux souterrains
GLS Gruppo specializzato per lavori in sotterraneo
STS Swiss Tunnelling Society

Herstellung/Konzeption: Sehstoff GmbH, Baden
Druck: Wir-machen-Druck.ch

ISBN 978-3-033-11366-4

Swiss Tunnel Day 2025 – Fachtagung für Untertagbau
Umschlagfoto: Zweite Röhre Gotthard-Strassentunnel , Bildquelle: ARGE secondo tubo

Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe (Fotokopie, Mikrokopie, USB-Stick usw.), der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und das Übersetzen, sind vorbehalten.

SWISS TUNNEL DAY 2025

Fachtagung für Untertagbau

12. Juni 2025



FGU Fachgruppe für Untertagbau
GTS Groupe spécialisé pour les travaux souterrains
GLS Gruppo specializzato per lavori in sotterraneo
STS Swiss Tunnelling Society



Kongress

- | | | |
|-------------|---|---|
| 1.1 | Davide Fabbri | Vorwort |
| 2.1 | Linard Cantieni | Tunnelbau lehren – für Tunnelbau begeistern – Die Ausbildung im Untertagbau an der ETH Zürich |
| 3.1 | Laurent Fournier Bidoz | Construire en ville – Comment intégrer la future gare souterraine de Genève dans son environnement ? |
| 4.1 | Claudia Alig
Marcel Rogenmoser
Jasmin Freudiger | N4 Neue Axenstrasse – Tunnelbau in den Schweizer Voralpen |
| 5.1 | Andreas Baumann
Patrick Giovannini | Zweite Röhre Gotthard Strassentunnel: Störzone Nord – Herausforderungen und Erkenntnisse aus Sicht des Unternehmers |
| 6.1 | Severin Wälchli
Jürgen Brommundt | Das Schweizer Tiefenlager – Vom Rahmenbewilligungsgesuch zum Spatenstich |
| 7.1 | Antoine Devillers
Raphaël Leroy | Renovation Project for the Eastern Water Supply Galleries of the Hongrin – Complex Logistics and Open-Book Contract for Fair Cost Control |
| 8.1 | David Fragnoli
Andrea Belfiore
Jean-François Vullioud | N20 – Contournement autoroutier du Locle – Le contexte environnemental : risques ou opportunités ? |
| 9.1 | Marco Cortesi
Marco Püntener | Wasserkraftprojekt Chlus – Projektentwicklung aus den Perspektiven Bauherrschaft und Projektverfasser |
| 10.1 | Filippo Gianelli
Gianluca Bella
Matteo Falanesca
Alessandro Flematti
Davide Merlini | Sigirino Access Tunnel (CBT) – Geotechnical and Design Challenges |
| 11.1 | Michal Benovic
Daniel Fanger
Jasmin Amberg
Daniel Kohler | Tunnel Kaiserstuhl – Bautechnische Herausforderungen in der Lockergesteinsstrecke mit Jetting |





Vorwort

Davide Fabbri

Präsident der Fachgruppe
für Untertagbau

Sehr geehrte Damen und Herren
Liebe Kolleginnen und Kollegen

Der Swiss Tunnel Day (STDay) wird am 12. Juni 2025 zum ersten Mal an einem neuen, vielversprechenden Veranstaltungsort, dem Kongresshaus Biel, stattfinden. Obwohl sich das Format und der Veranstaltungsort ändern, bleibt der qualitative Anspruch unverändert. Das neue Format erlaubt es den Besucherinnen und Besuchern, sich innerhalb nur eines Tages über die wichtigsten und neusten Entwicklungen im Untertagbau zu informieren und sich darüber auszutauschen. Der Swiss Tunnel Day bietet den Teilnehmenden darüber hinaus eine ideale Plattform zu netzwerken und neue Ideen zu entwickeln. Ich freue mich sehr, dass Sie an diesem bedeutenden Anlass teilnehmen!

In den kommenden Jahren werden in der Schweiz neue Untertagbau-Grossprojekte realisiert wie der Zimmerberg-Basistunnel 2, der Lötschberg-Basistunnel 2 und der Eisenbahntunnel Morges-Perroy. Die Zweite Röhre Gotthardtunnel ist bereits in der Umsetzung, die Metrolinie TramTreno Lugano wird voraussichtlich bald in Ausführung gehen. Die Untertagbaubranche ist für die Realisierung dieser Projekte bestens gewappnet. Nichtsdestotrotz stellen neue Technologien wie z. B. die Digitalisierung sowie die Anforderungen an nachhaltiges Bauen die Untertagbaubranche vor neue Herausforderungen. Die FGU arbeitet stetig daran, sich diesen neuen Herausforderungen zu stellen und beim Entwickeln entsprechender Lösungen innovativ mitzuwirken.

Der STDay 2025 wird mit Unterstützung der STS young members (STSym) organisiert. Wir freuen uns über das grosse Engagement der STSym, zeigt es doch die erfolgreiche Nachwuchsarbeit der FGU trotz Nachwuchsmangel im Ingenieurwesen. Um die Teilnahme von jungen, ambitionierten Tunnelbauerinnen und Tunnelbauern am STDay 2025 weiter zu fördern, bieten wir für sie Eintrittskarten zu attraktiven Preisen an.

Das Kongressprogramm am STDay 2025 setzt sich aus einer Mischung anspruchsvoller Beiträge seitens Bauherrschaft, Planenden und Unternehmungen zusammen. Unsere ausgewählten Referentinnen und Referenten werden Sie in den folgenden Vorträgen zu Schweizer Untertagbauwerken über den jeweiligen aktuellen Projektstand informieren:

- Unterirdische Erweiterung des Bahnhofs Genf (Durchgangsbahnhof)
- N4 Neue Axenstrasse
- Zweite Röhre Gotthard Strassentunnel: Störzone Nord
- Das Schweizer Tiefenlager
- Sanierung der östlichen Zulaufstollen am Hongrin
- N20 – Umfahrung Le Locle
- Wasserkraftprojekt Chlus
- Zugangsstollen Sigirino (Ceneri Basistunnel)
- Tunnel Kaiserstuhl

Schliesslich freuen wir uns sehr, dass Herr Prof. Linard Cantieni, welcher die Nachfolge von Prof. Georgios Anagnostou als Professor für Untertagbau an der ETH Zürich übernommen hat, das Einführungsreferat zum Thema «Tunnelbau lehren – für Tunnelbau begeistern» halten wird.

Der STDay wäre ohne das grosse Engagement der Unternehmen, welche die FGU seit Jahren durch ihr grosszügiges Sponsoring unterstützen, nicht umsetzbar. Deshalb gebührt ihnen mein besonderer Dank, insbesondere, da sie der FGU auch im Jahr 2025 die Treue gehalten haben.

Mein Dank richtet sich aber auch an die Referentinnen und Referenten, die Ausstellenden und das Organisationsteam, welche uns ermöglichen, eine Veranstaltung von solch hoher Qualität jedes Jahr erfolgreich durchzuführen.

Ich wünsche Ihnen viele interessante und lehrreiche Stunden am STDay 2025 und einen schönen Aufenthalt in Biel!

Es grüsst Sie herzlich Ihr
Davide Fabbri, Präsident

Swiss Tunnelling Society
Fachgruppe für Untertagbau

Hauptsponsoren • Main Sponsors



AFRY Schweiz AG, Zürich



Emch+Berger Gruppe, Bern



Amberg Engineering AG
VersuchsStollen Hagerbach AG



Frutiger AG, Thun



Avesco AG, Langenthal



Gähler und Partner AG,
Ennetbaden



B+S AG, Bern



Gasser Felstechnik AG,
Lungern



Basler & Hofmann AG, Zürich



Heitkamp Construction
Swiss GmbH, Dierikon



Bellini Personal AG, Zürich



Herrenknecht AG,
Schwanau (DE)



Belloli SA, Grono
Rowa Tunnelling Logistics AG,
Wangen SZ



Holcim (Schweiz) AG, Zürich



csc costruzioni sa, Lugano



IM Maggia Engineering AG,
Locarno
IUB Engineering AG, Bern

Sponsoren • Sponsors



Implenia Schweiz AG, Opfikon



PORR SUISSE AG, Altdorf



Lombardi AG,
Bellinzona-Giubiasco,
Rotkreuz, Fribourg



Renzo Tarchini
Cantieri & Contratti SA,
Lugano



Marti Technik AG, Moosseedorf



Robert Aebi AG, Regensdorf



Marti Tunnel AG, Moosseedorf



SABAG Biel/Bienne Stahlcenter



Master Builders Solutions
Schweiz AG, Holderbank



Sika Schweiz AG, Zürich



Pini Group SA, Grono



WSP Ingénieurs Conseils SA,
Lausanne

Co-Sponsoren • Co-Sponsors

A. Aegerter & Dr. O. Bosshardt AG, Basel
ACO AG, Netstal
Bekaert (Schweiz) AG, Baden
CSD INGENIEURE AG, Freiburg
EBP Schweiz AG, Zürich
GIPO AG, Seedorf

Gruner SA, Renens
ILF Beratende Ingenieure AG, Zürich
Infra Tunnel SA, Marin
JAUSLIN STEBLER AG, MuttENZ
Liebherr-Baumaschinen AG, Reiden
Locher Ingenieure AG, Zürich

MAPEI SUISSE SA, Sorens
MARECHAL GmbH, Willstätt-Sand (DE)
Promat AG, Münchwilen
Rothpletz, Lienhard + Cie AG, Aarau
Société Suisse des Explosifs (SSE), Brig
VMT GmbH, Bruchsal (DE)

Tunnelbau lehren – für Tunnelbau begeistern

Die Ausbildung im Untertagbau an der ETH Zürich

Die Ausbildung im Untertagbau ist fester Bestandteil des Studiums der Bauingenieurwissenschaften an der ETH Zürich. Im Bachelor werden die Grundlagen der Felsmechanik und des Tunnelbaus vermittelt. In den Vorlesungen und projektbezogenen Arbeiten des Masters werden Grundlagen vertieft, die Methode der finiten Elemente angewendet und die geotechnischen Fragestellungen von Bauverfahren beleuchtet.

1. Einleitung

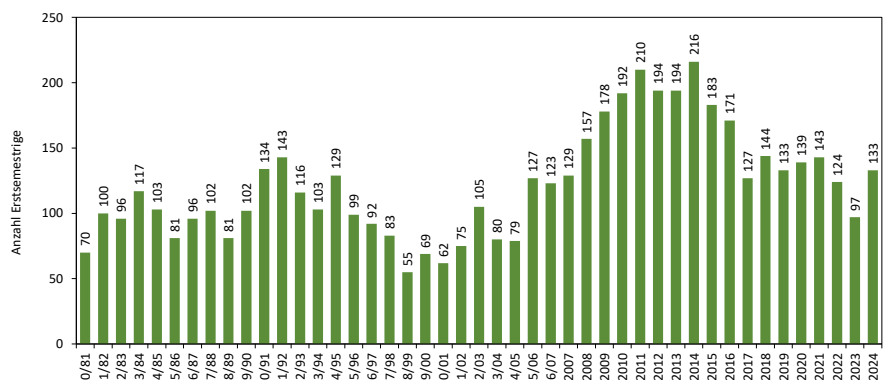
Die Ausbildung im Untertagbau ist fester Bestandteil des Studiums der Bauingenieurwissenschaften an der ETH Zürich. Die fundierte und umfangreiche Ausbildung im Untertagbau ist ein entscheidender Faktor für die Errungenschaften und die internationale Anerkennung der Schweiz im Tunnelbau.

Der vorliegende Beitrag präsentiert einen kurzen geschichtlichen Rückblick (Kapitel 2), geht auf die Studierendenzahlen der letzten Jahre ein und stellt das aktuelle Lehrangebot des Studiums der Bauingenieurwissenschaften im Allgemeinen (Kapitel 3) sowie im Untertagbau im Speziellen (Kapitel 4) dar.

2. Geschichtlicher Rückblick

Der Tunnelbau gehörte bereits in den Anfängen des Polytechnikums zum Unterrichtsstoff. So unterrichtete bereits Carl Culmann (Professor von 1855 bis zu seinem Tod 1881) zuletzt jede Woche drei Stunden «Erdbau, steinerne Brücken und Tunnelbau» [1]. Auch in der Folge waren die Tunnelbauer am Polytechnikum gut vertreten. Eduard Gerlich unterrichtete, nach seiner Tätigkeit als stellvertretender Oberingenieur bei der Gotthardbahn-Gesellschaft, von 1882 bis 1903 Eisenbahnbau und -betrieb. Friedrich Hennings, welcher u.a. als Oberingenieur für den Bau der Albulabahn tätig war, lehrte von 1903 bis 1920 Strassen- und Eisenbahnbau. Speziell muss Charles Andreae erwähnt werden. Charles Andreae, der von 1913 bis 1918 Oberingenieur der Nordseite des 2. Simplontunnels war, unterrichtete von 1921 bis 1928 Strassen-, Eisenbahn- und Tunnelbau und veröffentlichte zahlreiche Publikationen zu Gebirgsdruck und Tunnelbau [z. B. 2, 3, 4]. Auf Charles Andreae folgten die Verkehrsexperten Erwin Thomann und Kurt Leibbrand sowie Max Stahel als Professoren für Strassen- und Eisenbahnbau. So unterrichtete z. B. Max Stahel im Sommersemester 1961 «Ausgewählte Kapitel aus Strassen- und Tunnelbau» [5] und im Wintersemester 1961/62 «Sprengtechnik und Tunnelbau» [6].

Im Jahre 1964 wurde das Institut für Strassenbau an der ETH (ISETH) aufgeteilt: Martin Rotach übernahm die Verkehrsplanung und Transporttechnik, Hans Grob das ISETH, welches fortan Institut für Strassen-, Eisenbahn- und Felsbau hiess. Dieses behandelte nebst dem Strassenbau vertieft Probleme des Untertagbaus, der Felsmechanik und des Eisenbahnbaus [7]. 1980 wurde Kalman Kovári, welcher seit 1968 am ISETH tätig war und sich mit den grundlegenden Fragen der Felsmechanik sowie mit der wissenschaftlichen Erfassung des Tunnelbaus befasste, Titularprofessor. Die Professur für Untertagbau wurde 1990 mit seiner Wahl zum ordentlichen Professor am Institut für Geotechnik, welches aus dem Institut für Grundbau und Bodenmechanik hervorging, ins Leben gerufen. Felsmechanik und Tunnelbau sind seither fest im Lehrplan der ETH verankert. Georg Anagnostou (Professor von 2003 bis 2025) baute das Lehrangebot aus und setzte die Vorgaben der Bologna-Reform erfolgreich im Bereich der Lehre des Untertagbaus um. Mit der Neubesetzung der Professur für Untertagbau durch den Autor hat die ETH die Wichtigkeit der Lehre und Forschung im Bereich des Tunnelbaus für die Schweiz bekräftigt.



1 Anzahl Erstsemestrierte im Studium der Bauingenieurwissenschaften vom Wintersemester 1980/81 bis Herbstsemester 2024

Enseigner la construction de tunnels – susciter l'enthousiasme pour la construction de tunnels

La formation en travaux souterrains à l'EPF de Zurich

La formation en travaux souterrains fait partie intégrante des études de génie civil à l'EPF de Zurich. Le programme de Bachelor aborde les bases de la mécanique des roches et de la construction de tunnels. Les cours magistraux et les projets appliqués du programme de Master permettent d'approfondir ces bases, d'appliquer la méthode des éléments finis, et de se pencher sur les questions géotechniques des différentes méthodes de construction.

Insegnare la costruzione di gallerie – suscitare entusiasmo per la costruzione di gallerie

La formazione nel settore dei lavori in sotterraneo presso il Politecnico Federale di Zurigo

La formazione nell'ambito dei lavori in sotterraneo è parte integrante dello studio dell'ingegneria civile presso il Politecnico Federale ETH di Zurigo. Nel corso di laurea triennale vengono insegnati i fondamenti della meccanica delle rocce e della costruzione di gallerie. Nelle lezioni e nei lavori basati su progetti del corso di laurea magistrale si procede con l'approfondimento delle basi, all'applicazione del metodo degli elementi finiti e all'esame delle problematiche geotecniche dei diversi metodi di costruzione.

Teaching tunnel construction – sparking enthusiasm for tunnel construction

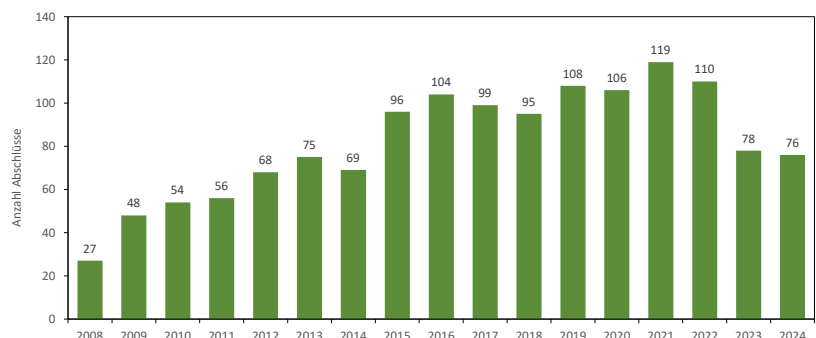
Underground construction education at ETH Zurich

Underground construction education is an inherent part of the Civil Engineering study programme at ETH Zurich. The Bachelor's degree programme teaches the fundamentals of rock mechanics and tunnel construction. In the lectures and project works of the Master's programme, the basics are expanded, the finite element method is applied and the geotechnical issues related to construction methods are addressed.

3. Das Studium der Bauingenieurwissenschaften

Das Studium der Bauingenieurwissenschaften an der ETH Zürich ist nach wie vor attraktiv, verzeichnet aber gegenüber den Jahren 2008 bis 2016 mit jeweils über 150 Studienanfängerinnen und -anfängern einen leichten Rückgang an Studierenden (Bild 1). Dies ist auch an der Anzahl der Abschlüsse seit 2023 zu erkennen (Bild 2).

Die ETH-Studienabgängerinnen und -abgänger zeichnen sich durch solide Grundlagenkenntnisse und ein breites Fachwissen aus. Im Bachelor-Studiengang [8] wird viel Wert auf die mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächer (Semestern 1 bis 3 in Bild 3) und auf die bauingenieurspezifischen Grundlagen (Semestern 3 bis 6) gelegt. Unabhängig von den später im Master-Studiengang gewählten Vertiefungen haben alle Studierenden im Bachelor-Studiengang die Grundlagen aller späteren Vertiefungsfächer belegt.



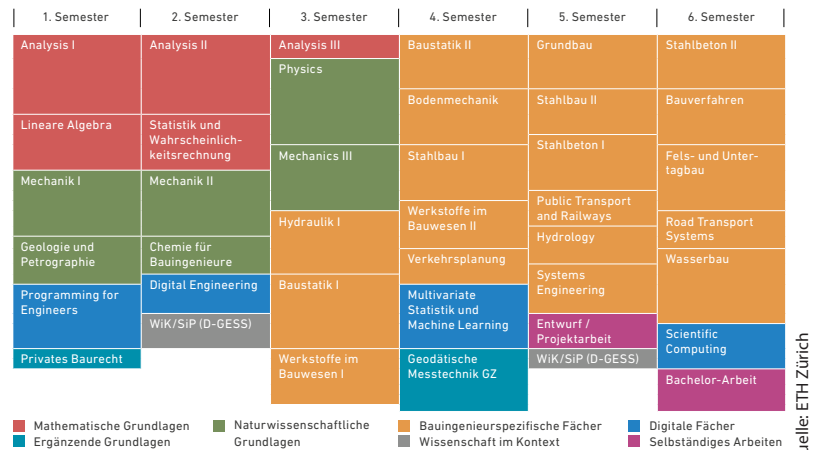
2 Anzahl Abschlüsse Master-Studium Bauingenieurwissenschaften von 2008 bis 2024

Im Master-Studiengang [9] können sich die Studierenden für zwei von den sechs Vertiefungsrichtungen «Bau- und Erhaltungsmanagement», «Konstruktion», «Geotechnik», «Verkehrssysteme», «Wasserbau und Wasserwirtschaft» sowie «Werkstoffe und Mechanik» entscheiden. Nebst den Vertiefungsfächern wird der Stundenplan durch Wahlfächer, digitale Fächer, selbständige Arbeiten, projektbasierte Lehrveranstaltungen und Wissenschaft im Kontext vervollständigt (Bild 4). Im 4. Semester des Master-Studiengangs schreiben die Studierenden ihre Masterarbeit.

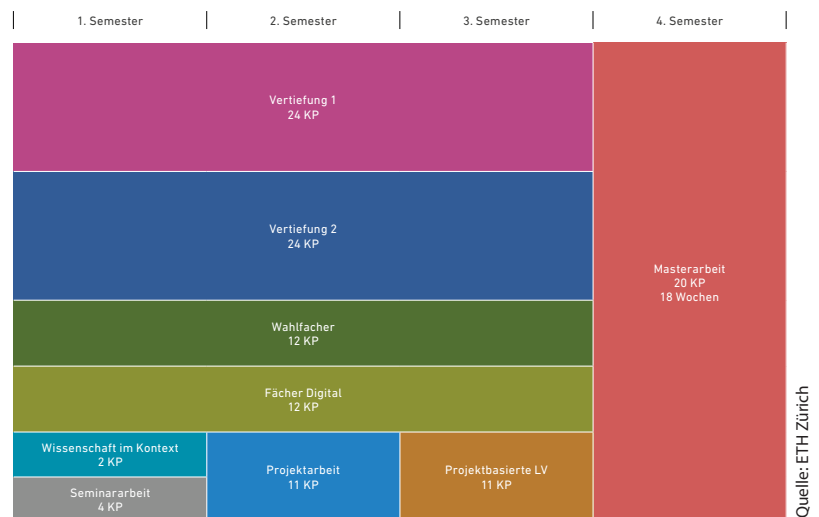
Das Lehrangebot des Studiums der Bauingenieurwissenschaften wird laufend an neue Bedürfnisse angepasst. In den letzten Jahren hat die ETH grossen Wert auf die Integration von digitalen Fächern (wie z. B. Digital Engineering, Machine Learning, Scientific Computing) in die Curricula gesetzt (Bilder 3 und 4). Absolventinnen und Absolventen sollen über ein fundiertes theoretisches und methodisches Grundlagenwissen in digitalen Technologien und rechnergestützten Werkzeugen verfügen.

3.1. Untertagbau im Bachelorstudium

Im Bachelor-Studium der Bauingenieurwissenschaften absolvieren alle Studierenden im 6. Semester die Vorlesung «Fels- und Untertagbau» (4 Wochenlektionen mit Total 6 Kreditpunkten). Das Ziel der Vorlesung «Fels- und Untertagbau» ist, allen Bauingenieurinnen und Bauingenieuren die Grundlagen der Felsmechanik und des Tunnelbaus zu vermitteln. Im ersten Teil der Lehrveranstaltung werden die Problemstellungen und Massnahmen des Felsbaus eingeführt und die Studierenden lernen, wie felsmechanische Nachweise geführt werden. Im zweiten Teil der Lehrveranstaltung lernen die Studierenden die Grundzüge der Projektierung, das Erkennen von Gefährdungen, die wichtigsten Gegenmassnahmen, das systematische Vorgehen bei der Massnahmenplanung, die Beurteilung der Massnahmen und die Grundzüge der Tunnelstatik (Spannungsanalyse, Gebirgskennlinie, Bestimmung von Auflockerungsdruck und Nachweis der Ortsbruststabilität im Lockergestein und Fels).



3 Fächer des Bachelor-Studiums Bauingenieurwissenschaften



4 Aufbau Master-Studium Bauingenieurwissenschaften (KP = Kreditpunkte)

Bauverfahren des Tunnelbaus werden in der Vorlesung «Bauverfahren» von Stefan Moser am Institut für Bau- und Infrastrukturmanagement im 6. Semester eingeführt.

3.2. Untertagbau im Masterstudium

Im Master-Studiengang werden die Lehrveranstaltungen «Underground Construction» I, II und III angeboten. In den Vertiefungsvorlesungen lernen und üben die Studierenden für gegebene geologische Verhältnisse und ausführungstechnische Randbedingungen, Gefährdungen, Ausbruchmethoden, Sicherungsmittel und Bauhilfsmassnahmen zu entwerfen und, bei Bedarf unter Zuhilfenahme von numerischen Methoden, zu dimensionieren. Weiter werden die mechanischen Grundlagen (z. B. druckhaftes und quellendes Gebirge) vertieft sowie die Funktionsweise und die geotechnischen Fragestellungen von Bauverfahren (z. B. maschinelle Vortriebe im Fels und Lockergestein) und Bauhilfsmassnahmen (Rohrschirme, Injektionen, Gefrierverfahren, Jet-Grouting, Wasserhaltung und Brustanker) beleuchtet. Die Vertiefung im Masterstudium bietet weiter die Möglichkeit, verschiedene ausgewählte Themen näher zu beleuchten (z. B. Tagbautunnel, Kavernenbau, Schachtbau, städtischer Tunnelbau usw.).

Weitere Lehrveranstaltungen der Professur für Untertagbau sind die Vorlesung «Planning of Underground Space» von Antonia Cornaro und der Kurs «Sprengtechnik» unter der Leitung von Michael Kapp. In «Planning of Underground Space» werden interdisziplinäre Fragestellungen im Zusammenhang mit der nachhaltigen Nutzung des unterirdischen Raums in Städten beleuchtet. Im Kurs «Sprengtechnik» lernen die Studierenden die Grundlagen der Sprengtechnik und wenden diese in praktischen Übungen an.

Ergänzend zu den Vorlesungen ist die Projektarbeit ein wesentlicher Bestandteil der Ausbildung im Untertagbau. Im Rahmen der Projektarbeit haben die Studierenden die Möglichkeit, am Beispiel eines realen Tunnelbauprojektes ein Vorprojekt zu erarbeiten. Dabei setzen sich die Studierenden mit der gestellten Aufgabe vom Standpunkt der Geotechnik, der Statik und der Bauausführung

eingehend auseinander. Die Aufgabe beinhaltet eine Gefährdungsbildanalyse, den Entwurf von Normalprofilen, des Vortriebs- und Sicherungskonzeptes sowie die Erstellung eines Bauprogramms. Erfahrene Ingenieurinnen und Ingenieure aus der Industrie unterstützen bei der Betreuung. Mit dieser Arbeit lernen die Studierenden nicht nur die Fach- und Methodenkompetenzen in eine Projektierung umzusetzen, sondern stärken auch ihre Sozial- und Persönlichkeitskompetenzen, indem sie Lösungen in der Gruppe diskutieren, präsentieren und mit den Betreuungspersonen argumentieren.

Als Masterarbeit im Untertagbau können die Studierenden entweder eine projektbasierte Arbeit, ähnlich wie die oben beschriebene Projektarbeit, eine Arbeit zusammen mit der Industrie oder eine Forschungsarbeit im Rahmen der Forschungsschwerpunkte der Professur schreiben.

Mit Exkursionen zu Tunnelbaustellen, die im Masterstudium angeboten werden, erhalten die Studierenden einen intensiven Einblick in die Tunnelbaupraxis. Die lehrreichen Führungen durch die Baustellen hat schon manche Studentin oder Studenten dazu bewogen, sich nach abgeschlossenem Studium für eine Tätigkeit im Untertagbau zu bewerben.

4. Schlusswort

Die Absolventinnen und Absolventen mit einem Bachelor-Abschluss in Bauingenieurwissenschaften kennen die Grundlagen der Felsmechanik und des Tunnelbaus. Die Absolventinnen und Absolventen mit einem Master-Abschluss und der Belegung der angebotenen Untertagbau-Lehrveranstaltungen können bei der Planung von Baumassnahmen in Untertagbau das streng systematische, iterative Vorgehen anwenden, das vom Erfassen des Gebirges, über das Beurteilen der Gefährdung sowie die Wahl und Beurteilung der Wirksamkeit einer Massnahme bis zum finalen Festlegen der Massnahmenpakete reicht. Sie verfügen über die fundierten geotechnischen Kenntnisse, welche für die Beurteilung der Gefährdungen und der Wirksamkeit der Massnahmen erforderlich sind. Sie sind in der Lage Berechnungsmodelle, die nur so komplex sind, wie es die jeweilige Entwurfsituation verlangt, zu verwenden und interpretieren. Sie verstehen die massgebenden geotechnischen Mechanismen und können effiziente und zuverlässige Massnahmen planen.

Nebst den Fach- und Methodenkompetenzen haben sie u.a. mit der Bearbeitung von projektbezogenen Arbeiten und Gruppenarbeiten ihre Sozial- und Persönlichkeitskompetenzen entwickelt und sind in der Lage, sich in kurzer Zeit in Projektteams zu integrieren.

Literatur

- [1] Eidgen. Polytechnische Schule: «Programm der Eidgen. Polytechnischen Schule für das Wintersemester 1881/1882».
- [2] Andreae, Ch.: «Der Bau langer, tiefliegender Gebirgstunnel». Julius Springer, Berlin 1926.
- [3] Andreae, Ch.: «Gebirgsdruckerfahrungen und Baumethoden im schweizerischen Tunnelbau». Internat. Fachtagung für Gebirgsdruckfragen im Bergbau und im Tunnelbau. Leoben 1950, Urban-Verlag Wien.
- [4] Andreae, Ch.: «Der Einfluss der Überlagerungshöhe auf die Dimensionierung des Mauerwerks tiefliegender Tunnel». SBZ 1925.
- [5] Eidgenössische Technische Hochschule Zürich: «Programm und Stundenplan für das Sommersemester 1961».
- [6] Eidgenössische Technische Hochschule Zürich: «Programm und Stundenplan für das Wintersemester 1961/62».
- [7] Grob, H., Huschek, S., Scazziga, I., Giger, P., und Kovári, K.: «Das Institut für Strassen-, Eisenbahn- und Felsbau (ISETH) heute», in: SIA, 1980, Jg. 98 (1980), Nr. 52, S. 1370.
- [8] Studienreglement 2022 für den Bachelor-Studiengang Bauingenieurwissenschaften Departement Bau, Umwelt und Geomatik vom 7. April 2022. RSETHZ 323.1.0200.15. <https://rechtssammlung.sp.ethz.ch/Dokumente/323.1.0200.15.pdf>
- [9] Studienreglement 2020 für den Master-Studiengang Bauingenieurwissenschaften Departement Bau, Umwelt und Geomatik vom 29. Oktober 2019. RSETHZ 324.1.0200.11. <https://rechtssammlung.sp.ethz.ch/Dokumente/324.1.0200.11.pdf>

Laurent Fournier Bidoz, Ingénieur civil ENTPE / Co-directeur du Nœud de Genève « Léman 2030 », CFF, Renens/CH

Construire en ville

Comment intégrer la future gare souterraine de Genève dans son environnement ?

Au cours de la prochaine décennie, les CFF construiront une extension souterraine à la gare de Genève pour la doter de deux voies supplémentaires. Le projet s'étend sur 7 km, dont 3.6 km de tunnels à double voies, qui seront réalisés pour raccorder les nouvelles voies souterraines au réseau en surface. La construction de ces ouvrages en plein cœur de quartiers fortement urbanisés représente un immense défi pour les CFF.

1. Un contexte particulier en Suisse romande... et à Genève

1.1. Construire, un impératif sur l'Arc lémanique

Dynamique et attractif, l'Arc lémanique figure dans le top 10 des régions les plus prospères d'Europe et attire de plus en plus de personnes chaque année. Rien qu'à Genève, les prévisions nationales tablent sur une hausse démographique de +20% à l'horizon 2040. Naturellement, la demande en transports ferroviaires explose également avec 100'000 voyageurs par jour attendus entre Lausanne et Genève durant la prochaine décennie (contre 60'000 en 2020).

Fort de ce constat, les autorités politiques cantonales et fédérales ainsi que les CFF ont initié en 2009 la signature d'une convention permettant la création de « Léman 2030 », le programme de développement ferroviaire le plus ambitieux jamais porté en Suisse romande. Celui-ci comprend aujourd'hui une vingtaine de projets d'envergure parmi lesquels figurent la modernisation de la gare de Lausanne, l'extension souterraine de la gare de Genève ou encore la création d'une nouvelle double voie entre Morges et Perroy, pour un investissement total d'environ 7 milliards de francs suisses.

Si chaque projet permet des bénéfices propres, tous contribuent à l'objectif commun de doubler le nombre de places assises entre Lausanne et Genève et améliorer l'offre en trafic régional et grandes lignes sur l'Arc lémanique. Ce développement massif et coordonné des infrastructures ferroviaires sur l'Arc lémanique est d'autant plus important que l'axe Lausanne–Genève ne dispose d'aucune solution de substitution.



1 Vue de la ligne unique de l'axe Lausanne–Genève entre Morges et Danges.

Crédit : Keystone

Bauen in der Stadt

Wie lässt sich der zukünftige unterirdische Bahnhof Genf in sein Umfeld integrieren?

Im kommenden Jahrzehnt wird die SBB zur Aufnahme von zwei zusätzlichen Gleisen eine unterirdische Erweiterung des Bahnhofs Genf errichten. Das Vorhaben erstreckt sich über 7 km, davon 3.6 km mit zweigleisigen Tunnels, mit denen die neuen unterirdischen Gleise an das Oberflächennetz angeschlossen werden. Die Errichtung dieser Bauwerke inmitten ausgeprägt städtischer Quartiere stellt für die SBB dabei eine immense Herausforderung dar.

Costruire in città

Come integrare la futura stazione sotterranea di Ginevra nell'ambiente circostante?

Nel corso del prossimo decennio, le FFS realizzeranno un ampliamento sotterraneo della stazione di Ginevra per dotarla di due binari supplementari. Il progetto si estenderà per 7 km, di cui 3.6 km in galleria a doppio binario, e collegherà i nuovi binari sotterranei alla rete di superficie. La realizzazione di queste opere nel cuore di quartieri fortemente urbanizzati rappresenta una sfida enorme per le FFS.

Building in the city

How can Geneva's future underground train station be incorporated into its surroundings?

Over the next decade, the Swiss federal railways (CFF) will build an underground extension to Geneva station, adding two additional tracks. The project covers 7 km, including 3.6 km of double-track tunnels, which will be built to connect the new underground tracks to the overground network. Building these structures in the heart of densely urbanised areas is a huge challenge for CFF.

1.2. A Genève, une gare très spécifique

Genève est à la fois une gare frontière située sur l'axe structurant Est-Ouest et une gare de transit pour tout un bassin de vie transfrontalier : le Grand Genève. Elle est ainsi à la jonction d'une multitude de trafics : national et international, notamment vers la France (TER et TGV), et enfin transfrontalier. En effet, la gare de Genève accueille depuis 2019 le Léman Express, le plus grand réseau transfrontalier d'Europe qui connecte 45 gares et 230 km de lignes de part et d'autre de la frontière franco-suisse. Victime de son succès, le Léman Express connaît déjà des signes de saturation sur 4 de ses 6 lignes après seulement 5 ans d'exploitation.

A cette spécificité géographique s'ajoute une autre complexité. Plus qu'une gare voyageurs, Genève constitue en effet un véritable « hub logistique » où cohabite chaque jour une diversité d'activités : plus grand pôle d'entretien léger en Suisse romande, voies de garage, base logistique pour les équipes d'intervention et d'entretien, raccordements aux voies de clients privés (La Poste, VEDIA...). Au total, la gare voit passer 800 trains par jour.

Autre singularité : près d'un utilisateur sur deux ne prend pas le train mais ne fait que transiter ou profiter des commerces et services en gare (171'000 utilisateurs pour 88'000 voyageurs par jour). Sous l'effet combiné de l'essor démographique de l'Arc lémanique et de la mise en service du Léman Express, la gare de Genève nécessite d'être agrandie.



Crédit : Boris Bron.

2 Vue de l'avant-gare de Genève, côté Lausanne, où cohabitent plusieurs activités voyageurs et logistiques.

2. A Genève, le plus grand chantier ferroviaire du XXI^{ème} siècle

2.1. La gare souterraine...

La gare souterraine de Genève permettra donc d'augmenter la capacité d'accueil totale de la gare, c'est-à-dire des trains et des utilisateurs :

- Avec 4 trains supplémentaires par heure et par sens (17 à 21 sillons disponibles) ;
- Avec une surface de déambulation en gare multipliée par 3 (5'000 m² à 15'000 m²).

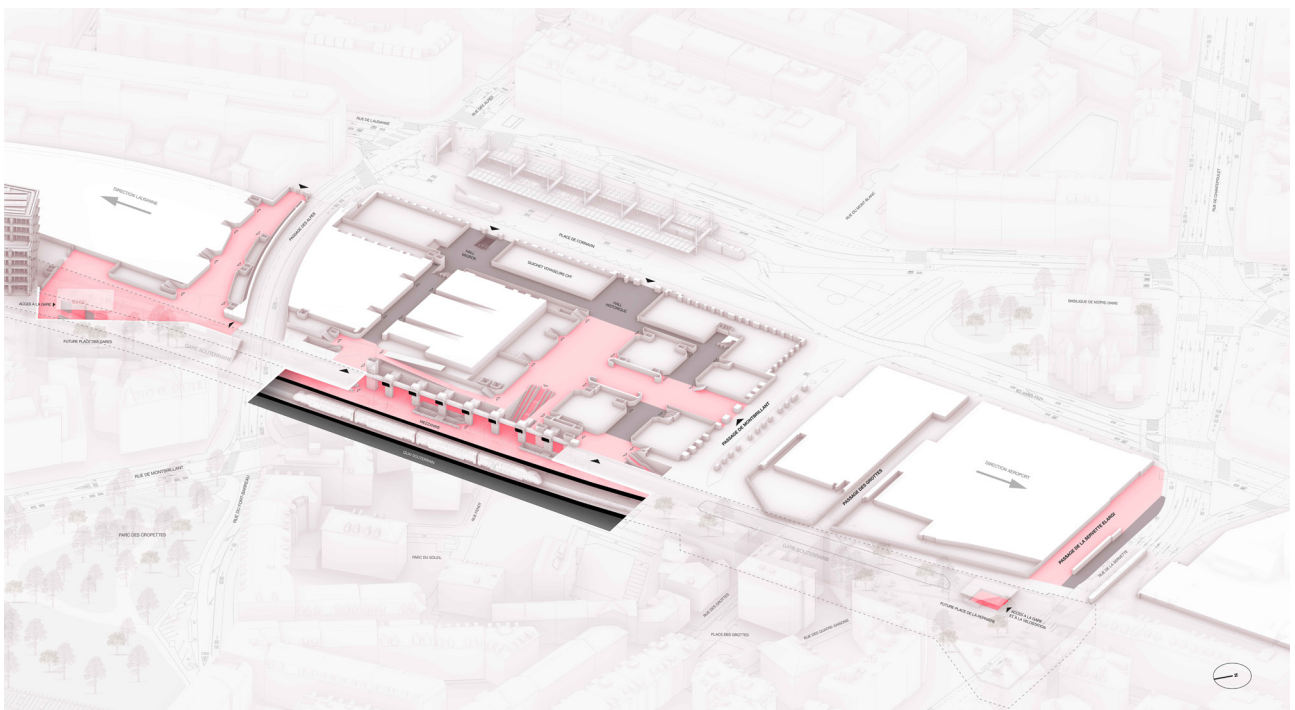
Ce projet comprend :

- Une extension souterraine à deux sous-niveaux sous le quai 4 avec un quai central et ses deux voies (1) et un espace de déambulation en Mezzanine (2) ;
- La démolition et la reconstruction du quai 4 rehaussé et allongé (3) ;
- La création de 2 passages inférieurs, l'élargissement d'un passage existant et la transformation/création de 44 accès aux quais existants (4).



Crédit : CFF / DL-A

3 Croquis indiquant les opérations comprises dans le projet de la gare souterraine de Genève (hors tunnels).



Crédit : CFF / DL-A

4 Plan montrant les futurs espaces créés en gare dans le cadre de l'extension souterraine (en rouge).

2.2. ... et ses tunnels à double voie

Deux tunnels ferroviaires à double voie seront construits vers Lausanne et l'Aéroport : ils permettront aux trains de rejoindre les nouvelles voies souterraines et le réseau existant en surface.

Construire en ville • Comment intégrer la future gare souterraine de Genève dans son environnement ?

Direction	Tunnel	Tranchée couverte	Trémie	Raccordement aux voies existantes	Total nouveau tracé	Connexion en surface
Lausanne	0.9 km	0.2 km	0.2 km	0.9 km	2.2 km	Quartier des Nations Unies (Pregny-Chambésy, GE)
Aéroport	2.7 km	0.5 km		0.6 km	3.8 km	Quartier de l'Étang (Vernier, GE)

3. Construire en ville

3.1. Deux tunnels et une grande boîte en béton

Le projet traverse 3 villes du canton de Genève dont 2 figurent dans le top 5 des villes les plus importantes en termes d'habitants en Suisse romande (Genève et Vernier). L'environnement des 3 zones de chantier du projet se caractérise par une présence urbaine très forte.



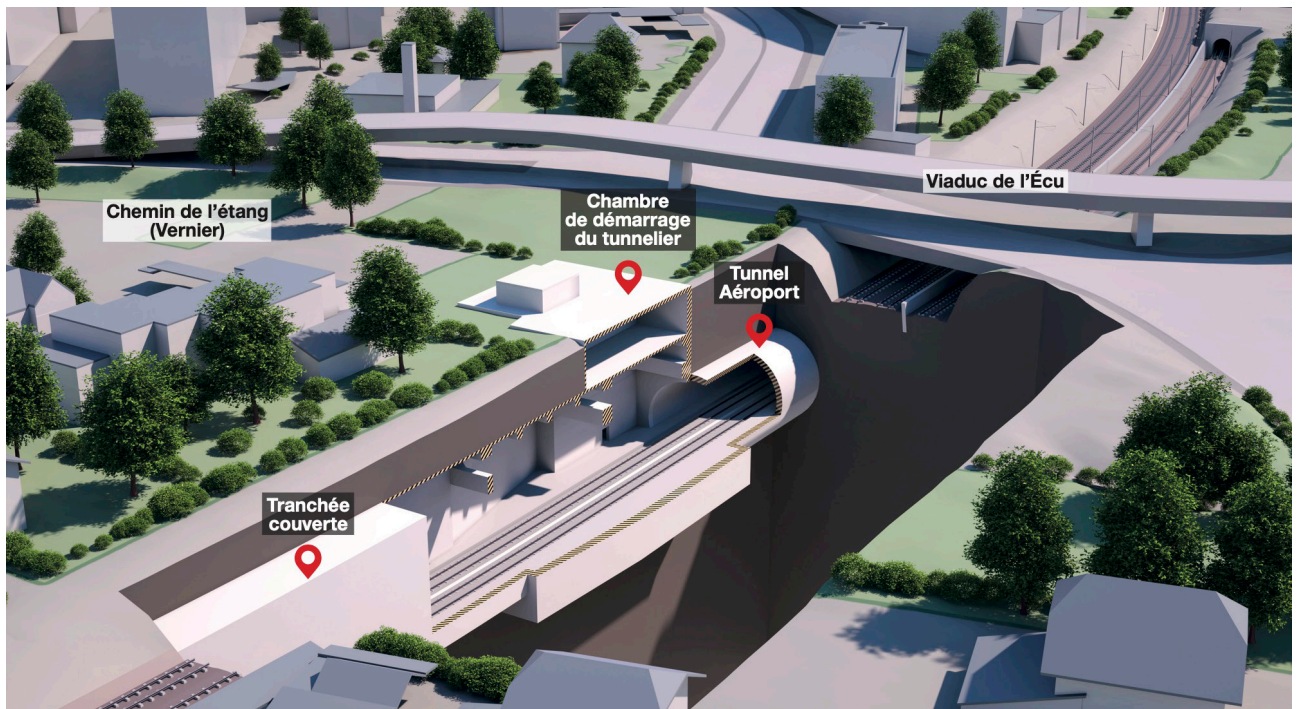
5 Image de synthèse montrant le futur tracé des tunnels qui relient le quai souterrain au réseau existant en surface et son intégration en milieu fortement urbain.

3.1.1. Tunnel coté Aéroport

Implanté en pleine ville de Genève et de Vernier, ce tunnel se situe à proximité de nombreux bâtiments en surface (actuels ou futurs, quartier de l'Étang), des ouvrages d'art et infrastructures comme le viaduc de l'Écu et les voies CFF. L'entrée en terre se fait au niveau du viaduc de l'Écu sous faible couverture et atteint une profondeur maximale de 40 m.

Ce tunnel traverse des couches géologiques très hétérogènes, principalement du quaternaire. Celui-ci est foré en sa majorité au sein de la couche de l'alluvion ancienne (9a, 9b) présentant une forte perméabilité tout en renfermant plusieurs nappes phréatiques. Un front complet sera excavé dans les couches de la moraine würmienne (7c, 7d, e1) sur une longueur d'environ 300 mètres quand vers son point bas, il traverse la couche de la moraine rissienne (11-12).

Long de 2.7 km et partiellement sous nappe, ce tunnel sera construit à l'aide d'un tunnelier fermé à confinement du front permettant de garantir sa réalisation sous une zone fortement urbanisée de façon rapide et sécurisée tout en assurant une meilleure maîtrise des tassements en surface.

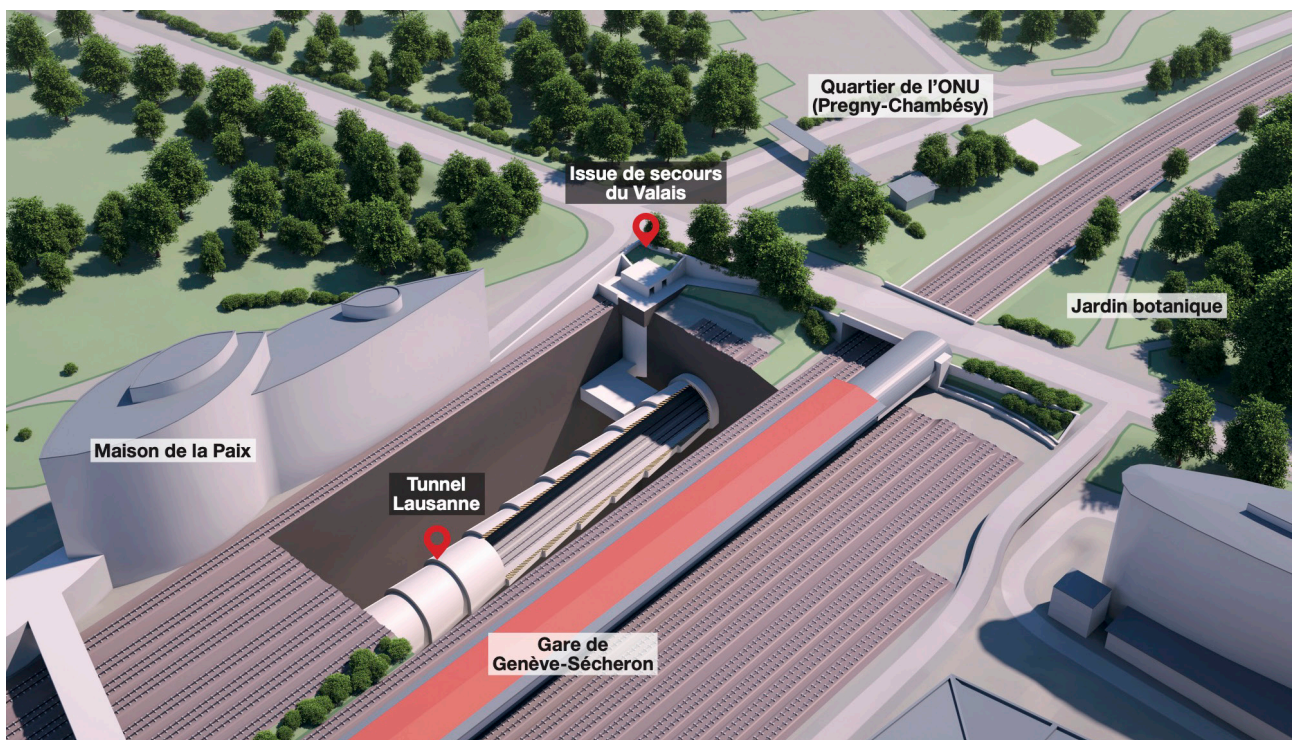


Crédit : CFF / Hula Hoop

6 Image de synthèse montrant le portail d'entrée du tunnel Aéroport et son intégration dans le quartier de l'Étang, à Vernier.

3.1.2. Tunnel coté Lausanne

Implanté à l'aval de la gare, ce tunnel est en interface forte avec des voies CFF, le terrain de l'ONU et l'abaissement de la route du passage inférieur de l'Impératrice. L'entrée en terre se fait à proximité du portail situé dans la zone de l'ONU sous faible couverture et suit principalement le faisceau des voies CFF avec une couverture entre 20 et 25 m du plan de roulement. Le tunnel Lausanne traverse des horizons bien hétérogènes avec des passages alternés entre le substratum molassique et des terrains morainiques (7-8) principalement repérés dans les deux sillons aquifères du secteur. Au dernier tiers, le socle rocheux est surmonté par la moraine rissienne composée de limons très durs et sur-consolidés qui laisse progressivement place à l'alluvion ancienne occupant entièrement la section du tunnel en direction de la gare. Long de presque 1 km, ce tunnel sera construit en différentes méthodes



Crédit : CFF / Hula Hoop

7 Image de synthèse montrant le portail d'entrée du tunnel Lausanne et son intégration dans le quartier de l'ONU, à Pregny-Chambésy.

Construire en ville • Comment intégrer la future gare souterraine de Genève dans son environnement ?

traditionnelles. La traversée du tunnel en terrain meuble sera faite à l'abri d'un pré-soutènement composé à minima de voûtes parapluies et parfois même d'un traitement préalable par jet-grouting ou injections respectivement pas congélation du terrain.

3.1.3. En gare

La gare souterraine sera construite en paroi moulée dont une grande partie en gabarit réduit sous la voie 7 conservée. Des multiples reprises en sous-œuvre sont prévues avec de nouveaux passages inférieurs à réaliser sous ponts provisoires au moyen de nombreux travaux spéciaux (injections, jet-grouting, tirants précontraints).

La gare souterraine, les nouveaux passages inférieurs et les nouveaux accès aux quais, doivent être réalisés avec les contraintes principales suivantes :

- La présence de terrains meubles hétérogènes sur l'ensemble du périmètre et de la nappe phréatique du Rhône présente dans la partie inférieure de l'excavation.
- La nécessité de maintenir plusieurs fonctionnalités sur le site de la gare : voies ferroviaires existantes, au moins 2 passages inférieurs en tout temps à chaque voie (y compris leur accessibilité universelle), et des voies du tram genevois.
- La présence de bâtiments affleurant au projet.
- L'obligation de réduire les emprises de chantier pour que les projets connexes d'aménagement urbain puissent être réalisés en synergie.

3.2. L'environnement, une priorité!

Le grand défi des CFF en phase chantier est d'allier performance et respect de l'environnement. Cela commence par une gestion rigoureuse des matériaux extraits pendant la creuse avec une évacuation privilégiée par le rail vers l'un des 3 sites de stockage temporaires qui seront créés à proximité du chantier. Ces matériaux seront, par ordre de priorité, réutilisés directement sur site (remblai, granulats à béton), envoyés sur des sites externes de traitement pour une réutilisation sur d'autres chantiers ou, en dernier lieu, mis en dépôt définitif. L'acheminement de ces matériaux constitue également un enjeu fort : un transport sur circuit court ou un transport par rail sera privilégié dans les cas opportuns.



Crédit : CFF / A2P Agency

8 En rouge, l'emprise de la gare souterraine de Genève qui sera construite sous le quai 4 et la voie 7 de la gare et la place de Montbrillant.

Enfin, plusieurs dispositifs seront mis en place pour maîtriser l'impact du projet sur l'environnement sous l'axe majeur du développement durable :

- Optimisation des structures – minimisation des ressources mises en œuvre et excavées
- Circuits courts
- Réutilisation des matériaux excavés / de déconstruction
- Utilisation matériaux recyclés
- Augmentation de la part des énergies renouvelables

DONNÉES CLÉS DU PROJET

Région

Genève, Suisse

Clients

Voyageurs, utilisateurs de la gare

Conception, supervision du chantier et gestion globale de la construction

CFF Infrastructure

Principales données de référence

Période de construction : 2030–2038 (état : janvier 2025)

Mise en service : 2038

Coûts de construction : 2 milliards (base 2024)

Longueur : 7 km de tracé supplémentaire

Caractéristiques spéciales

1.2 Millions de m³ de matériaux à excaver volume matériaux

14 km de rails supplémentaires

22'000 m² : surface de l'extension souterraine

Claudia Alig, MSc ETH Bau-Ing., Locher Ingenieure AG, Zürich/CH

Marcel Rogenmoser, Dipl. Bau-Ing. ETH/SIA, Locher Ingenieure AG, Zürich/CH

Jasmin Freudiger, BSc FHO Bau-Ing., Lombardi AG, Bellinzona-Giubiasco/CH

N4 Neue Axenstrasse

Tunnelbau in den Schweizer Voralpen

Die N4 Neue Axenstrasse mit dem Sisikoner und dem Morschacher Tunnel wird die Verkehrssicherheit und Verfügbarkeit der Nord-Süd-Transitachse nachhaltig erhöhen. Das Grossprojekt mit den zwei Haupttunnel und den diversen Nebenbauwerken liegt in anspruchsvoller topographischer Lage und beinhaltet herausfordernde hydrogeologische-geotechnische Randbedingungen, auf welche nachfolgend eingegangen wird.

1. Einleitung

Mit der N4 Neuen Axenstrasse sollen die Verfügbarkeit, Funktionsfähigkeit und Verkehrssicherheit der Nord-Süd Transitachse zwischen Brunnen und Flüelen erhöht und das Dorf Sisikon nachhaltig vom Durchgangsverkehr entlastet werden.

2. Projektübersicht

2.1. Situation

Die N4 Neue Axenstrasse wird in Ingenbohl und Gumpisch an die bestehende Nationalstrasse N4 angeschlossen. Dazwischen liegt die Neubaustrecke mit dem knapp 3 km langen Morschacher Tunnel, dem 4.5 km langen Sisikoner Tunnel und dem kurzen Abschnitt der Offenen Strecke Ort. Der Morschacher und der Sisikoner Tunnel verfügen über je eine Röhre und werden im Gegenverkehr betrieben. In Gumpisch ist neben dem Portal des Sisikoner Tunnels und der Galerie Gumpisch der Ausfahrtstunnel Gumpisch angeordnet. Er dient als niveaufreier Halbanschluss für die Ausfahrt nach Sisikon von Süden her (Bild 1). Beim Portal Ingenbohl wird ein separater Entwässerungstollen realisiert, um die zu erwartenden grossen Bergwassermengen aus dem Morschacher Tunnel vom Portal in den Vierwaldstättersee bei Brunnen abzuleiten.

2.2. Geologische und hydrogeologische Verhältnisse

Die vom Morschacher und Sisikoner Tunnel durchörterten Gesteine der Drusberg- und Axen-Decke gehören zu den helvetischen Decken des Alpennordrandes. Diese Decken umfassen komplex aufgebaute Gesteinsserien der Kreide und des Tertiär, wobei es sich einerseits um tonig-schieferige und andererseits um kalkige Gesteine, die unterschiedlich tektonisch beansprucht worden sind, handelt. Entsprechend weisen die Gesteine in verschiedenen Abschnitten sehr unterschiedliche ingenieurgeologische und tunnelbautechnische Eigenschaften auf. Der Morschacher Tunnel liegt vollständig in den Schichten der Helvetischen Drusberg-Decke mit Kieselkalk, Kalken und kalkigem Mergel. Der Sisikoner Tunnel durchquert im nördlichen Abschnitt ebenfalls die Formationen der Drusberg-Decke. Im mittleren Abschnitt wird bei Sisikon der schieferige und lokal stark tektonisch überprägte Palfris-Mergel aufgefahren. Im südlichen Abschnitt durchquert der Sisikoner Tunnel die Schichten der Axen-Decke, welche aus kieseligen Kalken, Kalken und Mergel bestehen (Bilder 2 und 3).



1 Projektperimeter – Auszug aus der Landeskarte

Nouvelle route de l'Axen N4

Construction de tunnel dans les Préalpes suisses

La nouvelle route de l'Axen N4, avec les tunnels de Sisikon et de Morschach, a pour objet d'améliorer durablement la sécurité routière, la disponibilité et la fonctionnalité de l'axe de transit nord-sud. Ce projet de grande envergure couvrant deux tunnels principaux et divers ouvrages annexes est soumis à une situation topographique difficile et implique des conditions-cadres hydrogéologiques et géotechniques complexes qui sont typiques de la construction de tunnels dans les Préalpes suisses. L'espace disponible pour réaliser les travaux est très restreint, et outre les éboulements, la structure karstique et les gaz présents sont des facteurs à considérer lors de l'excavation.

La nuova Axenstrasse N4

Costruzione di gallerie nelle Prealpi svizzere

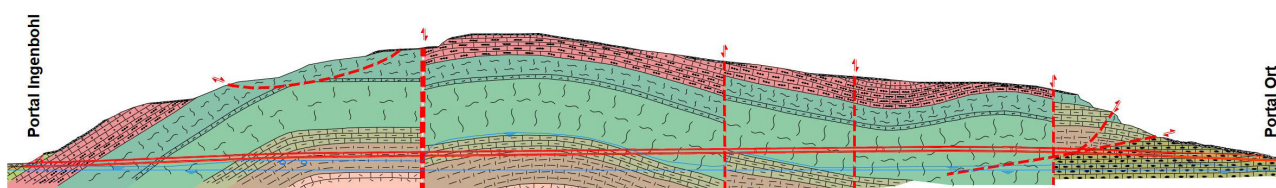
La nuova Axenstrasse N4, con i tunnel Sisikon e Morschach, aumenterà stabilmente la sicurezza stradale, la disponibilità e la funzionalità dell'asse di transito nord-sud. Il progetto di larga scala, che prevede la costruzione di due gallerie principali e di diverse opere accessorie, si trova in una posizione topografica difficile e presenta condizioni idrogeologiche e geotecniche impegnative che sono tipiche della costruzione di gallerie nelle Prealpi svizzere. Le condizioni locali per la realizzazione delle opere sono molto stringenti e nello scavo delle gallerie vanno considerati, oltre alla caduta di massi, soprattutto fenomeni carsici e gas.

Project "N4 New Axenstrasse"

Tunnelling in the Swiss Prealps

The "N4 New Axenstrasse" road project with the Sisikon and Morschach tunnels will steadily increase the traffic safety, availability and functionality of the north-south transit axis. The large-scale project with its two main tunnels and various ancillary structures is located in a highly complex topographical location and involves challenging hydrogeological and geotechnical constraints as are typical for tunnelling in the Swiss Prealps. The space available for realising the project is very limited. When excavating the tunnels, karst and gas must be considered here, as well as rockfall.

Geologische und hydrogeologische Bedingungen Morschacher Tunnel



Legende Geologie

Lockergestein

Gehängeschutt / Rutschung / Ablagerungen

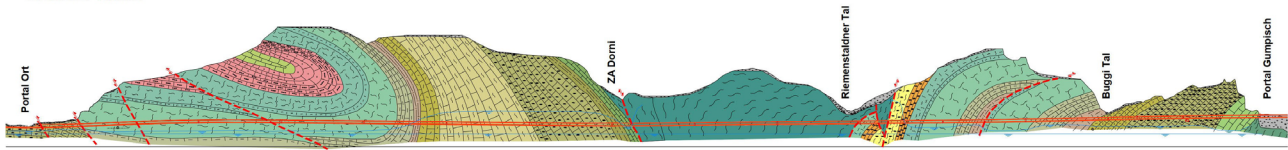
Festgestein

C ₉₋₁₀	Seewen-Formation	
C _{6-B5}	Selun-Member	Garschella-Formation
C _{6-B5}	Brisi-Member	
C _{6-C5}	Lutere-Bank	
	Oberer Schrattekalk	Schrattekalk-Formation
	Rawil-Member (untere Orbitolina-Schichten)	
	Unterer Schrattekalk	
	Drusberg-Kalk	Tierwis-Formation
	Drusberg-Mergel	
	Kieselkalk (Mäuerchenkalk)	Helvetischer Kieselkalk
	Verwerfungen, Bruchzonen, tektonische Störungen	

Quelle: www.axen.ch

2 Geologische und hydrogeologische Bedingungen im Morschacher Tunnel

Geologische und hydrogeologische Bedingungen Sisikoner Tunnel



Legende Geologie

Lockergestein	Gelangeschutt / Rutschung / Ablagerungen	
Festgestein		
Stad-Formation		Echinodermenbreccie
Bögen-Formation		Knothiger Kieselkalk
Obere Schratfalk-Formation		Kieselkalk (Münchenerkalk)
Ravil Member (untere Ostalpine-Schichten)		Schieferiger Kieselkalk
Untere Schratfalk-Formation		Diploides-Kalk (Drauzberg-Decke)
Drauzberg-Member, kalkig		Bellis-Formation (Axen-Decke)
Drauzberg-Member, mergelig		Vitznau-Mergel
		Palfris-Formation
		Verwerfungen, Bruchzonen, tektonische Störungen

Quelle: CSD Ingenieure AG

3 Geologische und hydrogeologische Bedingungen im Sisikoner Tunnel

2.3. Vortriebskonzept

Der Morschacher und der Sisikoner Tunnel werden im Sprengverfahren ausgebrochen. Im Felsen ist ein Hufeisenprofil vorgesehen (Bild 4). Der Vortrieb erfolgt grundsätzlich im Vollausbuch mit nachträglichem Sohlenausbruch. Im Bereich des Palfris-Mergels mit Sohlengewölbe erfolgt der Vortrieb im Vollausbuch mit raschem Ringschluss. Der Vortrieb des Morschacher Tunnel erfolgt ab Ingenbohl Richtung Süden, jener des Sisikoner Tunnel überwiegend vom Zwischenangriff in Dorni aus gleichzeitig in Richtung Ort (Norden) und Gumpisch (Süden). Zur Verkürzung der Bauzeit und für die Überquerung der SBB-Tunnel mit sehr geringer Überdeckung starten vom Portal Ort aus zwei Gegenvortriebe mit 350m resp. 450m Länge.

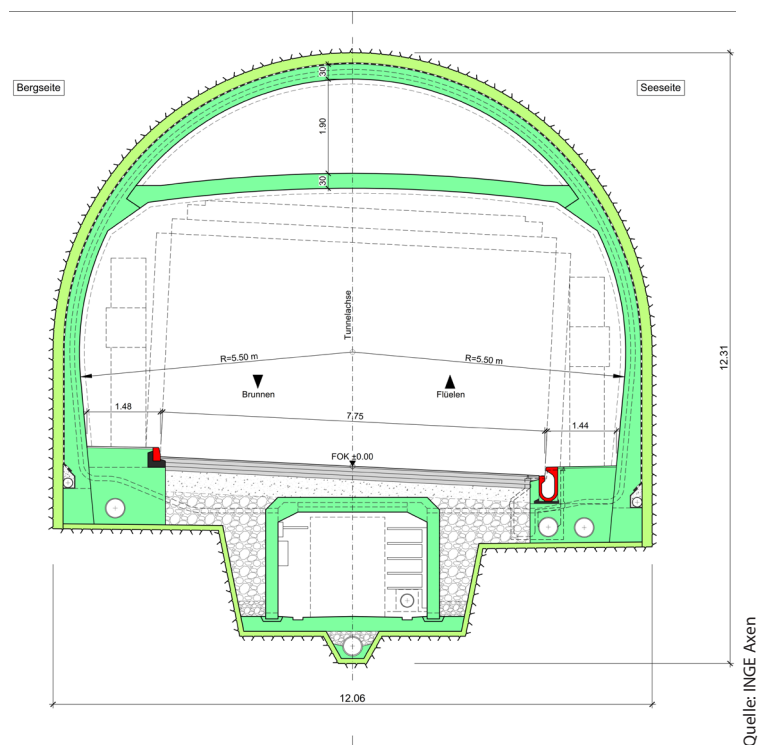
3. Übersicht Stand der Arbeiten / Bauarbeiten

Die ersten Bauarbeiten wurden bereits im Jahr 2016 in Angriff genommen. Im Zuge der Sanierung des SBB-Seegleises wurden Verstärkungsmassnahmen für die Überquerungen der SBB-Tunnel sowie eine temporäre Strassenüberführung zur Verkehrs-umleitung und ein Schutzunnel über der Bahn in Ort erstellt (Bild 5). Seit 2022 finden die Vorbereitungsarbeiten in den Portalbereichen statt. Die beiden Hauptlose Morschacher und Sisikoner Tunnel starten Mitte 2025. Als Erstes werden die Arbeiten im Bereich der Installationsplätze sowie die Voreinschnitte und der Erschliessungsstollen Dorni ausgeführt. Der Start der Hauptvortriebe der beiden Tunnel ist ab Frühjahr 2026 geplant. Die Inbetriebnahme der Neuen Axenstrasse ist für 2033 vorgesehen.

4. Projektherausforderungen aus Sicht Projektverfasser

Das Projekt N4 Neue Axenstrasse ist aufgrund der topographischen und (hydro-) geologischen Gegebenheiten ein Projekt mit hoher Komplexität und beinhaltet diverse tunnelbautechnische Herausforderungen. Nachfolgend sind die wichtigsten aufgelistet:

- Sehr beengte Platzverhältnisse aufgrund des steil Richtung See abfallenden Geländes
- Nähe zu Axenstrasse und SBB-Stammlinie Nord – Süd, beide unter Betrieb
- Naturgefahren, insbesondere Steinschlag- und Murganggefahr im Bereich Gumpisch
- Engmaschiges Bauprogramm mit Abhängigkeiten zu Vor- und Nachfolgelosen
- Materialbewirtschaftung und Anforderungen Seeschüttung
- Portallagen und Bauwerke im BLN-Gebiet (Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler von nationaler Bedeutung)



4 Normalprofil ohne Sohlengewölbe im Sisikoner und Morschacher Tunnel

Quelle: INGE Axen

- Unterquerung von gefassten Quellen und Gewässerschutzzonen S1–S3
- Gefährdungsbilder im Tunnelvortrieb, wie:
 - Kluftkörper bis 140 m³, welche Anker bis 6 m Länge bedingen
 - Karstgebirge mit grossem prognostiziertem Wasser- und Sedi-
mentanfall
 - Gas bis Gasgefahrenstufe 4, woraus sich diverse Massnahmen bezüglich Lüftung, Gas-
messungen und -überwachung wie auch technische und organisatorische Massnahmen ergeben
 - Mittlere bis grosse Quarzge-
fährdung sowie im Betliskalk
geogenes Arsen, was spezi-
fische Massnahmen zur Reduk-
tion der Staubreisetzung und für die persönliche Schutzausrüstung erfordert
 - Quelldrücke im Bereich des Palfris-Mergels, welche ein Sohlgewölbe bedingen



Quelle: INGE Axen BL

5 Luftbild der bestehenden Axenstrasse mit Verkehrsumleitung über die temporäre Strassenüberführung sowie Installationsfläche auf dem Schutztunnel, beide über das SBB-Gleis, im Bereich Ort, Stand vom Februar 2025

Nachfolgend werden einige Herausforderungen näher erläutert.

5. Logistik

Mit Ausnahme des Nordportals des Morschacher Tunnels befinden sich alle Portal- und Baubereiche in unmittelbarer Nähe zur viel befahrenen Axenstrasse. Um Platz für die Bauarbeiten zu schaffen, wurden im Portalbereich Ort und Gumpisch temporäre Brücken für die Verkehrsumleitung geschaffen. Damit sich der Verkehr auf der Axenstrasse nicht aufstaut, sind Zu- und Wegfahrten zu den Baustellen nur mittels Rechtsabbiegen gestattet. Beim Zwischenangriff Dorni wird für die Baustellenzufahrt ein provisorischer Kreisel erstellt, sodass Wenden möglich wird und Ortsdurchfahrten durch das Dorf Sisikon minimiert werden können. Um Platz für Installationsflächen zu schaffen, sind an den Portalen sowie beim Zwischenangriff Dorni aufwendige Vor- und Hangeinschnitte erforderlich (Bild 6). Aufgrund der beschränkten Platzverhältnisse wird der Logistik und der zeitgerechten Anlieferung von Materialien grösstes Augenmerk gewidmet. Der Abtransport des Ausbruchmaterials beim Zwischenangriff Dorni in die Seeschüttung muss aufgrund der begrenzten Zwischenlagermöglichkeiten unverzüglich erfolgen. Für den Abtransport via Schiffe ist in Dorni eine Siloanlage vorgesehen.

6. Niederbrüche / Kluftkörper

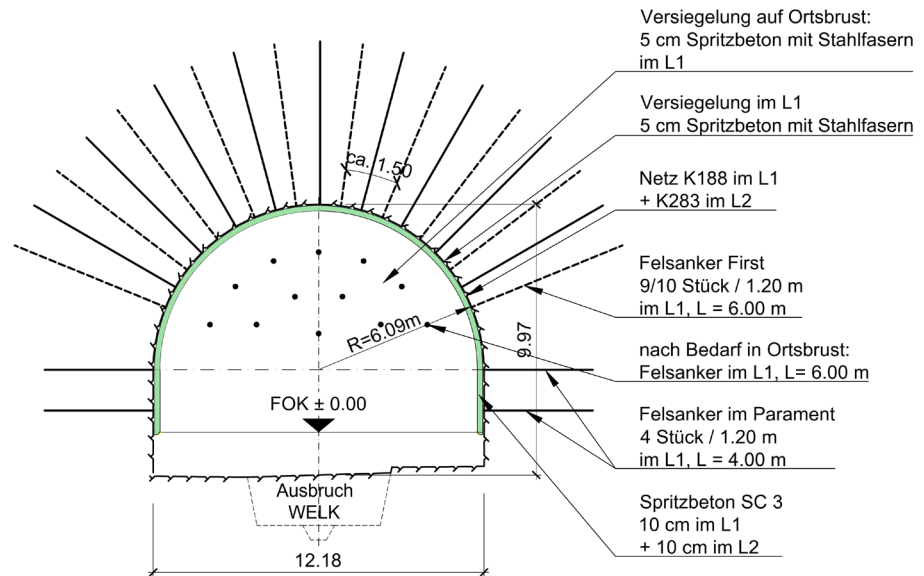
In den verschiedenen Kalkformationen, welche die Vortriebe durchörtern, können je nach Trennflächengefüge und Verkarstungsgrad Niederbrüche und Kluftkörper von unterschiedlicher Form und Grösse vorkommen. Beim Bau des Ölbergtunnels im Jahr 1992



Quelle: INGE Axen BL

6 Luftbild der Bauarbeiten des zukünftigen Hauptinstallationsplatzes für den Sisikoner Tunnel (Voreinschnitt Dorni), Stand vom November 2024

wurde der Extremfall eines Niederbruchs von einem Kluftkörper von 140 m^3 dokumentiert. Die Tunnelbauten der neuen Axenstrasse befinden sich in derselben geologischen Formation wie der Ölbergtunnel und das Auftreten eines Kluftkörpers in dieser Grössenordnung kann somit nicht ausgeschlossen werden. Die Ausbruchsicherung berücksichtigt dieses Gefährdungsbild mit Ankern von bis zu 6 m Länge oder alternativ in schlechten geologischen Verhältnissen und der Gefahr von grösseren Niederbrüchen mit dem Einbau von Stahlbögen (Bild 7).



Quelle: INGE Axen

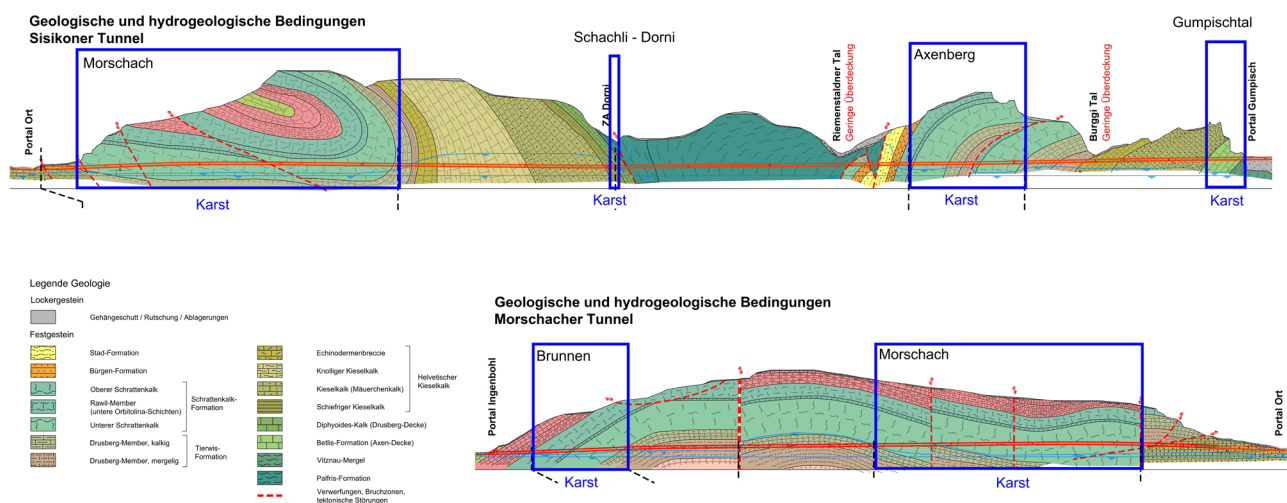
7 Ausbruchsicherung Sicherungsklasse 3 Haupttunnel für Kluftkörper mittlerer Grösse mit Felsankern von 6 m Länge

7. Karst

Entlang der Tunnelbauwerke werden verschiedene Formationen mit Wasserführungen erwartet. Insbesondere der Schrätkalk ist bekannt für die Ausbildung von Karststrukturen. Im massigen Schrätkalk können Karsthohlräume mit zeitweise hoher Wasserführung vorkommen. Die grössten Einzel-Ereignisse können Anfälle bis 1'000 l/s Wasser und Material verursachen und erfordern diverse Massnahmen. Zur Erkundung des Gebirges und als Drainage von wassergefüllten Karstsystemen werden Voraus-erkundungsbohrungen in Abhängigkeit des prognostizierten Gefährdungspotentials ab der Ortsbrust ausgeführt. Nebst den Erkundungsbohrungen sind während den Vortriebsarbeiten verschiedene Massnahmen geplant, um den Gefährdungsbildern zu begegnen. Unter anderem sind dies Kluftinjektionen, Injektionsschirme, Hohlraumverfüllungen und weitere konzeptionelle Massnahmen. Obwohl im Projekt die Zonen, in welchen mit erhöhtem Wasseranfall zu rechnen ist, bekannt sind, ist die konkrete Gefahr aufgrund der räumlichen Begrenzung und des Zusammenhangs sowohl mit den Niederschlägen und Schneeschmelze als auch mit den Wasserwegsamkeiten im Untergrund im Voraus nicht abschliessend ermittelbar. Schliesslich bleibt das Antreffen von Karststrukturen in einem Tunnel zufällig und sein hydraulisches Verhalten ist mit hohen Unsicherheiten verbunden (Bild 8).

8. Quelfähiges Gebirge

Im mittleren Abschnitt des Sisikoner Tunnels werden die schiefrigen Palfris-Mergel auf einer Länge von rund 900 m aufgeföhren. Das Hauptgeföhrdungsbild bildet das Quellpotential in den tonmineralführenden Mergelschichten. Diese potenziell entstehenden Quelldrücke werden entsprechend dem Widerstandsprinzip im Endzustand mit einem bewehrten Sohlgewölbe aufgenommen (Bild 9).



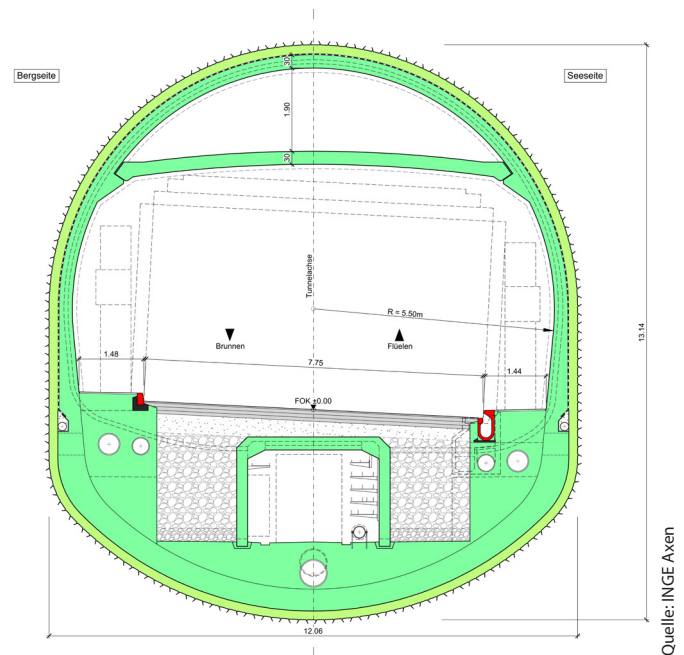
Quelle: CSD Ingenieure AG

8 Geologische Längenprofile des Morschacher (oben) und des Sisikoner Tunnels (unten) mit den relevanten Karstsysteme auf Tunnelniveau in blauer Einfärbung

Wie der Haupttunnel werden auch sämtliche Nebenbauwerke im Palfris-Mergel wie z.B. die Mittelzentrale 3 mit einem Sohlgewölbe ausgebildet, um auftretende Quelldrücke abtragen zu können. Zur Verhinderung resp. Minimierung des Aufbaus eines Quelldrucks sowie um eine Aufweichung und Entfestigung der Sohle im Palfris-Mergel zu vermeiden, wird während der gesamten Bauausführung auf einen möglichst geringen Wassereintrag durch den Bauprozess geachtet. Wasser wird möglichst sofort gefasst und abgeleitet.

9. Fazit

Das Projekt N4 Neue Axenstrasse ist ein Projekt, welches viele Herausforderungen im Tunnelbau bietet und exemplarisch für Tunnelprojekte in den Schweizer Voralpen ist. Die topographischen Gegebenheiten haben direkte Auswirkungen auf das Vortriebskonzept, die Angriffsstellen und die Materialbewirtschaftung. Die Ausbruchsicherung wird massgeblich durch das Trennflächengefüge definiert und muss flexibel entsprechend den geologischen Gegebenheiten angepasst werden können. Ein Vortrieb in wasserführendem karstfähigen Gebirge stellt eine grosse Herausforderung an Projektierung und Ausführung dar, da auch mit allen begleitenden Massnahmen eine Unabwägbarkeit bestehen bleibt.



9 Normalprofil mit Sohlgewölbe im Sisikoner Tunnel

PROJEKTDATEN

Region

Schweiz, Kantone Uri und Schwyz

Bauherr, Projekt- und Oberbauleitung

Kantone Uri und Schwyz, c/o Tiefbauamt des Kantons Schwyz

Planung und Bauleitung

- INGE Axen, c/o Lombardi AG, Rotkreuz bestehend aus Locher Ingenieure AG, Lombardi AG, WSP AG, B+S AG
- INGE Axen Bauleitung, c/o Lombardi AG, Rotkreuz bestehend aus Lombardi AG, ILF, www.bauleitungen gmbh, CSD Ingenieure AG, Locher Ingenieure AG, WSP AG, B+S AG

Ausführung

- Baulos 200 Sisikoner Tunnel: ARGE Tunnel Axenstrasse, Implenia Schweiz AG / Frutiger AG
- Baulos 400 Morschacher Tunnel: ARGE Urnersee Morschach, c/o Marti Tunnel AG

Kenndaten

Bauzeit: ca. 12 Jahre
 Inbetriebnahme: voraussichtlich 2033
 Baukosten Tunnel: ca. CHF 662 Mio.
 Gesamtlänge: Haupttunnel exkl. Stollen knapp 8 km
 Ausbruchquerschnitt: Haupttunnel Normalprofil bis 115 m², mit Sohlgewölbe bis 132 m²

Besondere Merkmale

Sprengvortrieb, anspruchsvolle geologische Verhältnisse (Karstgebirge, quelfähiges Gebirge, Gas, Quarz), Naturgefahren, beengte Platzverhältnisse, Seeschüttung, sehr steil abfallendes Gelände, Nahbereich zur bestehenden Axenstrasse sowie SBB, BLN-Gebiet

Andreas Baumann, MSc ETH Bau-Ing., Frutiger AG, Thun/CH
Patrick Giovannini, MSc ETH Bau-Ing., Frutiger AG, Thun/CH

Zweite Röhre Gotthard Strassentunnel: Störzone Nord

Herausforderungen und Erkenntnisse aus Sicht des Unternehmers

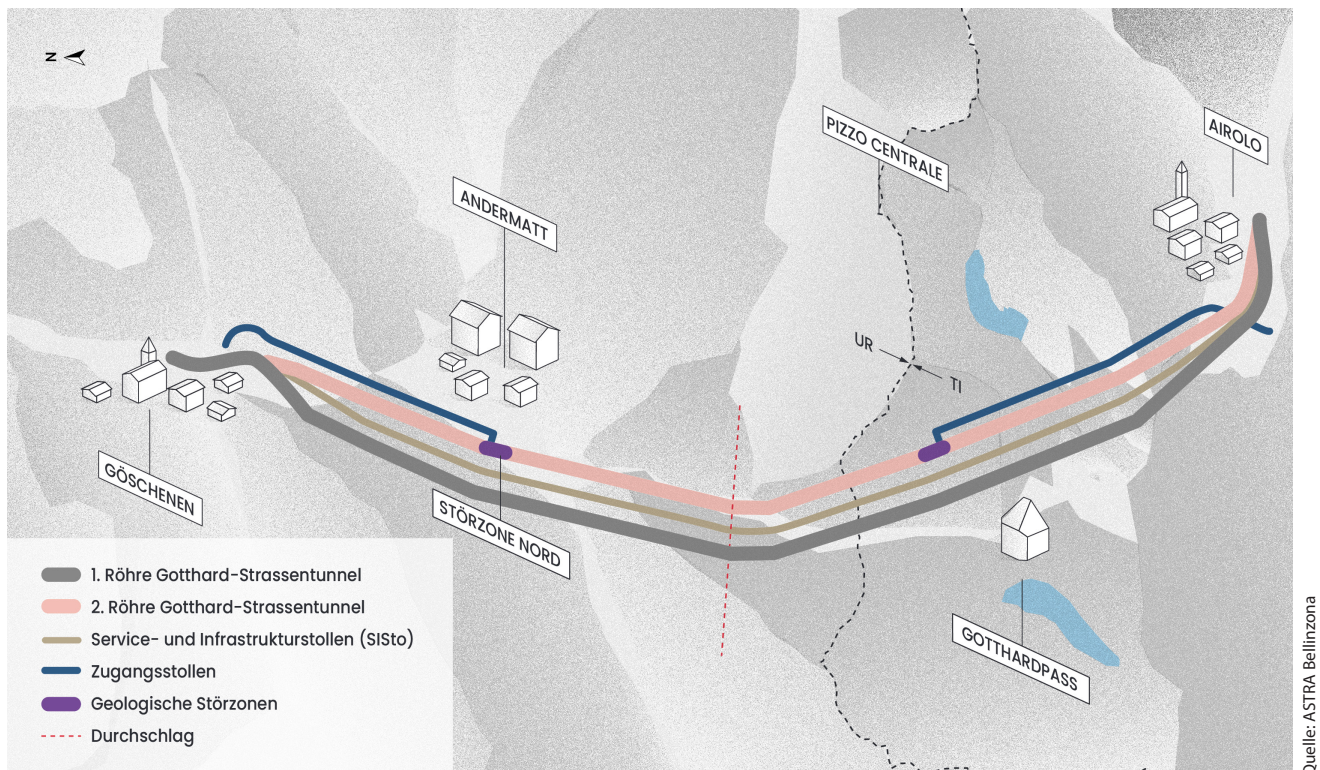
Im Nordlos liegt die Störzone innerhalb der Urseren-Zone am Übergang vom Mesozoikum ins Permo-karbon. Dieser bautechnisch anspruchsvolle Abschnitt wird vorgängig zum TBM- als MUL/MUF-Vortrieb aufgefahren. Um dabei dem instabilen Querschnitt und den hohen Konvergenzen zu begegnen, erfolgt der Vortrieb in kurzen Abschlüssen im Vollausschub mit langen Brustankern und die Sicherung mit nachgiebigen TH-Bögen.

1. Projektbeschreibung

1.1. Gesamtprojekt Zweite Röhre Gotthard Strassentunnel

Der bestehende Gotthard-Strassentunnel (1TG) muss wegen sicherheitstechnischen Aspekten und schadhaftem Bauzustand spätestens 2035 saniert werden. Aufgrund des grossen Sanierungsumfanges ist eine Vollsperrung des 1TG zwingend. Am 27. Juni 2012 entschied sich der Bundesrat für die Variante «Bau einer zweiten Tunnelröhre mit anschliessender Sanierung der bestehenden Röhre (ohne Kapazitätserweiterung)» und somit zu Gunsten einer zweiten Röhre (2TG) [1]. Am 28. Februar 2016 stimmte das Schweizer Stimmvolk diesem Vorhaben mit 57% zu. Die Bauarbeiten wurden in verschiedenen Losen vergeben und haben 2020 begonnen (Bild 1).

Aktuell sind die Arbeiten in den Hauptvortrieben Nord und Süd, Los 241 resp. Los 341, am Laufen sowie die Materialbewirtschaftung Los 111.



1 Projektübersicht

Deuxième tube du tunnel routier du Saint-Gotthard : Zone de perturbation au nord

Les défis et les conclusions du point de vue de l'entrepreneur

La roche de type kakirite est friable et limoneuse, entraînant une excavation instable et des rétrécissements des sections. L'excavation est réalisée en différentes coupes partielles, chacune étant sécurisée par du béton projeté et des filets au front de taille. Une fois la section complètement excavée, des arcs glissants souples et des ancrages radiaux sont mis en place. Cette fortification permet de soutenir sans dommages les convergences radiales de la pression réelle du massif. Des ancrages au front de taille et des piques systématiques peuvent être utilisés pour soutenir la construction.

Seconda galleria autostradale del San Gottardo: zona perturbata nord

Sfide e insegnamenti dal punto di vista dell'imprenditore

La presenza di roccia friabile, argillosa e a base di kakirite favorisce l'instabilità degli scavi e i restringimenti di sezioni. Lo scavo viene quindi eseguito in diversi segmenti che man mano vengono messi in sicurezza con calcestruzzo spruzzato e reti sul fronte di avanzamento. Una volta scavata l'intera sezione segue la posa in opera delle centine scorrevoli cedevoli e degli ancoraggi radiali. I dispositivi di sicurezza sono quindi in grado di assorbire senza danni le convergenze radiali dovute alla pressione dell'ammasso roccioso. Come misure costruttive ausiliarie si prevede l'uso sistematico di ancoranti e aste.

Second tube of the Gotthard Road Tunnel: Northern fault zone

Challenges and insights from the contractor's perspective

The friable, loamy and fault-gouge rock makes for unstable excavation and cross-sectional constrictions. Excavation is carried out in various subsections, each of which is secured with shotcrete and nets on the working face. Once the cross-section has been fully excavated, the yielding TH arches and radial anchors are then put in. Securing in this manner can absorb the radial convergences from the real rock pressure without any damage. Systematic face anchors and spiles are used as construction aids.

1.2. Los 241

Der Zuschlag für das Los 241 fiel im August 2022 an die ARGE secondo tubo, bestehend aus Implenia Schweiz AG und Frutiger AG. Im Frühjahr 2023 starteten die Arbeiten.

Aufgrund der beschränkten Platzverhältnisse beim Portal Göschenen sowie zum Schutz vor Lawinen, wurde die Betonproduktion sowie die WELK- und Tübbing-Herstellung unterirdisch geplant. Dazu mussten vier Kavernen der Armee an die bereits vom Vorlos 243 ausgebrochene Betonkaverne angebunden werden.

Infolge der geologisch bedingten Verzögerung beim Bau des Voreinschnittes Göschenen, entschied sich der Bauherr auf Vorschlag der ARGE für das Auffahren eines rund 500 m langen Gegenvortriebs aus dem sogenannten Verzweigungsbaupunkt Richtung Göschenen. Diese Massnahme dient der Sicherstellung des Gesamtterminprogramms und reduziert die Risiken der TBM-Kurvenfahrt mit minimalem Radius gleich zu Beginn des Vortriebs. Der Gegenvortrieb wurde konventionell mittels Kalotten-Strossenvortriebs aufgeföhren.

Vier Kilometer im Berg, direkt unter dem Golfplatz Andermatt lief gleichzeitig der Sprengvortrieb zur Erstellung der Logistikkavernen für den späteren Störzonen vortrieb. Der Zugangstollen zu den Logistikkavernen wurde im Rahmen von Los 243 mit einer Gripper-TBM (Ø 7 m) aufgeföhren.

Nach Abschluss der Arbeiten in der Logistikkaverne startete im Mai 2024 der Vortrieb der Störzone Nord. Parallel dazu begann im Sommer 2024 die Montage der TBM im Vorein-



Quelle: ARGE secondo tubo

2 Offenes Teilfenster mit Tonschiefer sowie Wechsellagerungen von Tonschiefer und Kalk

Zweite Röhre Gotthard Strassentunnel: Störzone Nord • Herausforderungen und Erkenntnisse aus Sicht des Unternehmers

schnitt und die Inbetriebnahme der Tübbing- und WELK-Produktion. Seit Februar 2025 ist die Schild-TBM (Ø 12.3 m) auf dem 4 km langen Weg bis zur Störzone.

2. Störzone

2.1. Erfahrungen aus 1TG und GBT

Beim Bau der ersten Röhre und des Service- und Infrastrukturstollens in den 1970er Jahre sind die Mineure im Norden und Süden auf je einen bautechnisch schwierigen Abschnitt gestossen [2]. Diese Zonen äusserten sich durch zermürbten Fels und hohe Konvergenzen, die die Sicherungseinbauten zerdrückten. Daher erhielten diese Abschnitte bei der Projektierung vom 2TG besondere Aufmerksamkeit. Das Projekt sieht vor, die Störzonen konventionell aufzufahren und die TBMs anschliessend durchzuschieben.

Die Sicherungsmittel sowie das Vortriebsverfahren sind stark an den Vortrieb im Tavetscher Zwischenmassiv im Teilabschnitt Sedrun des Gotthard Basistunnels angelehnt. Sowohl die Projektierenden wie auch die ausführenden Unternehmungen Implenia und Frutiger können auf die Erfahrungen aus dem Bau der Neat zurückgreifen.

2.2. Geologie

Von Norden nach Süden durchquert der Gotthard-Strassentunnel das Aar-Massiv, die Urseren-Zone und das Gotthardmassiv. Die Störzone Nord befindet sich innerhalb der Urseren-Zone am Übergang vom Mesozoikum (Jura, Trias) ins Permokarbon. Der Abschnitt im Jura besteht vorwiegend aus Tonschiefer sowie Wechsellagerungen von Tonschiefer und Kalk (Bild 2). Die Trias besteht hauptsächlich aus Gips und Dolomit. Im Permokarbon wird grünlich-grauer Serizit-Schiefer und -gneis angetroffen. Die geschieferten Bereiche sind teilweise stark verfaltet und verlehmt.

Die Lage der Störzone Nord ist aus dem Bau der ersten Röhre bekannt. Zur Bestimmung der genauen Ausdehnung auf Achse zweite Röhre wurden aus dem SiSto Erkundungsbohrungen erstellt. Die Analyse der Kerne zeigte einen teilweise sehr hohen Kakiritisierungsgrad. Für den 2TG liessen sich folgende Gefährdungsbilder [2] ableiten und die Störzone in neun Homogenbereiche unterteilen:

- Instabilität des Querschnittes (Kluftkörper/Niederbruch, Verbruch, Steinfall)
- Instabilität der Ortsbrust (Kippen/Knicken/Niederbruch, Verbruch, Steinfall)
- Querschnittsverengung (druckhaftes Gebirgsverhalten)
- Entfestigung Gestein durch Bergwasser (Nässe, Quellen)

2.3. Sicherungskonzept

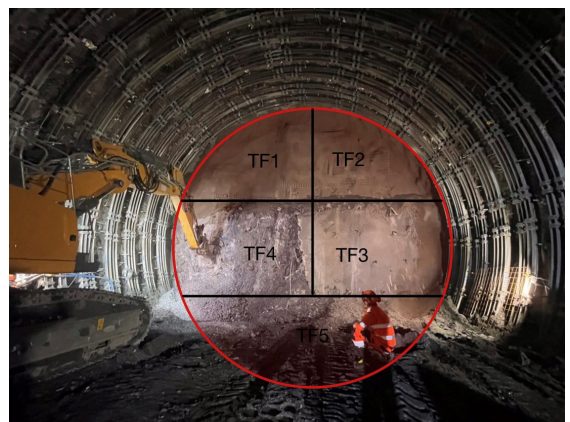
Basierend auf den Gefährdungsbildern sowie den Erfahrungen aus der Störzonen des GBT und der ersten Röhre wurde ein Vollausbruch (Ø 15 m) im MUL/MUF mit nachgiebigem Ausbau und späterem, starrem Ringschluss ausgeschrieben. Die Querschnittsverengungen sollen so kontrolliert aufgefangen werden.

Total sind sieben Ausbruchstypen definiert worden. Alle mit Stahlfaser-Spritzbetonversiegelung, Profilverbundmatten, Radial- und Ortsbrustanker, nachgiebigen TH-Bögen (Bild 3) sowie voraus-eilenden Drainagebohrungen. Die Variation der AST liegt im Bogenabstand sowie unterschiedlichen Längen der Radialanker und Überlappungslängen der Brustanker. Spiesse als Bauhilfsmassnahme sind abhängig von der Sicherungsklasse systematisch oder sporadisch vorgesehen. Max. ca. 30 m hinter der Ortsbrust werden die TH-Bögen mit faserbewehrtem Spritzbeton ausgekleidet und die innen-



Quelle: ARGE secondo tubo

3 Nachgiebige TH-Bögen in der Störzone



Quelle: ARGE secondo tubo

4 Prinzip der Teilfenster



Quelle: ARGE secondo tubo

5 Öffnen eines Teilfensters

liegende Spritzbetonschale aufgespritzt. In Bereichen mit hohen Gebirgsdrücken ist der Einbau einer Netzbewehrung in der Spritzbetonschale vorgesehen.

2.4. Vortriebskonzept des Unternehmers

In der Ausschreibung des Unternehmers war vorgesehen, die TH-Bögen und Bauhilfsmassnahmen ab einer aufgehängten Streckenausbaumaschine einzubauen. Aufgrund der Erfahrungen aus Sedrun und der sehr grossen Anschaffungskosten, entschied sich die ARGE für die Ausführung der Arbeiten mit regulären Vortriebsgeräten. Dies bedingt, dass über ein Drittel der Ausbruchshöhe eine Baupiste geschüttet werden muss, um die limitierte Reichweite der Geräte zu kompensieren. Durch den Einsatz regulärer Vortriebsgeräte kann eine hohe Verfügbarkeit sowie Redundanz der Gerätschaften sichergestellt werden.

Die Ortsbrust wird in bis zu acht Teilfenster (Bilder 4 und 5) von Ost nach West und von oben nach unten aufgebrochen. Die Abschlagslänge beträgt 1.00–1.67 m. Nach erfolgreichem Ausbruch eines Teilfenster wird dieses sofort mit einer Spritzbetonversiegelung gesichert. Angepasst an die Geologie findet der Ausbruch mittels Spitzhammer und wenn erforderlich lokalen Lockerungssprengungen statt.

Nach Aufbringen der Sofortsicherung werden die langen Ortsbrustanker eingekürzt und die Ortsbrust systematisch mit einem an die örtlichen Gegebenheiten angepassten Raster aus Bewehrungsnetzen und kurzen UNP-Profilen gesichert. Die Netze werden eingespritzt und im Anschluss das nächste Teilfenster geöffnet.

Nach Fertigstellung des kompletten Ausbruchs wird der Sohlbogen versetzt und eingespritzt. Zur Gewährleistung der Deformierbarkeit wird im Bereich der Gleitschlösser ein Styroporblock eingelegt. Nach Aufschüttung der Baupiste folgt das Firstelement der TH-Bögen (Bild 6) und im Anschluss das Bohren und Vermörteln der Radialanker. Um die Radialanker effizient zu bohren, werden diese als Selbstbohranker ausgeführt mittels einem mit Ankermagazinen ausgerüsteten Bohrwagen (Bild 7).

In regelmässigen Abständen, abhängig vom AST, werden 15 m lange R51 – Selbstbohranker für die Stützung der Ortsbrust versetzt.

Die Spritzbetonschale im rückwertigen Bereich wird regelmässig, meist während den Brustankeretappen, erstellt.

2.5. Überwachung

Die Überwachung der Störzone erfolgt systematisch und besteht aus verschiedenen Messinstrumenten mit dem Ziel, das Verhalten des Gebirges zu dokumentieren und anhand der Parameter die Ausbruchsicherung zu definieren. Als Messinstrumente kommen zum Einsatz:

- Reversehead-Extensometer 30m entlang der Tunnelachse zum Erfassen der Verformungen in der Ortsbrust (Bild 8)
- Radial angeordnete vierfach Modular-Extensometer zur Aufzeichnung des Auflockerungsbereichs um den Ausbruch
- Porenwasserdruckgeber zum Messen des Bergwasserdrucks
- Eine engmaschige Messung der Verformungen im Ausweich- und Widerstandsbereich erfolgt durch:
 - Konvergenzmessungen zur Feststellung der Verformungen des Ausbruchs
 - Gleitschlossmessungen zum Feststellen wie stark sich die Bögen resp. das Gebirge zusammenschieben

Auch Vorauserkundungsbohrungen zum Aufschliessen des Gebirges und zur Bestimmung des Kakiritisierungsgrades wurden abgeteuft.



Quelle: ARGE secondo tubo

6 Einbau des Seitenelements des TH-Bogens



Quelle: ARGE secondo tubo

7 Bohren der Radialanker



Quelle: ARGE secondo tubo

8 Anpacken beim Einbau vom RH-Extensometer

Zweite Röhre Gotthard Strassentunnel: Störzone Nord • Herausforderungen und Erkenntnisse aus Sicht des Unternehmers

Zwei Bohrungen erfolgten vor dem Ausbruch sowie eine zum Ende der Störzone zur Feststellung der Übergänge von resp. in den stabilen Fels.

2.6. Abrechnungsmodell

Infolge des sehr langsamen Vortriebs mit einem sehr hohen Personal- und Inventaraufwand erfolgt die Vergütung weitgehend nach Aufwand. Die Leistungspositionen wurden ohne Lohnanteil kalkuliert. Die Vergütung der Lohnkosten erfolgt über Gruppenstunden. Die gemäss Sollbauzeitabelle berechnete Abrechnungsbauzeit gilt dabei als Obergrenze (Kostendach) für die abzurechnenden Gruppenstunden.

3. Herausforderungen

Mit 15 m Durchmesser ist das Normalprofil deutlich grösser als in Sedrun (bis 12.9 m Durchmesser). Auch mit einer höheren als in der Submission ausgeschrieben Baupiste sind die Gerätschaften in Bezug auf Reichweite und Leistungsfähigkeit am Limit. Die enormen Dimensionen stellen auch hohe Ansprüche an das Personal. Die Montage der Profilverbundmatten in einer schwindelerregenden Höhe von 15 m Höhe ist nichts für schwache Nerven.

Entgegen der Annahme in der Submission ist nicht die globale Stabilität der Ortsbrust das primäre Gefährdungsbild, sondern das Lösen von klein- bis mittelgrossen Ausbrüchen im unmittelbaren Arbeitsbereich. Nebst einer teilweise schlechten Haftung des Spritzbetons auf den Schieferungsflächen reicht bereits das Eigengewicht der gespritzten Versiegelung, um vergleichsweise grosse und tiefe Ausbrüche zu provozieren. Diese Ausbrüche können einzig durch eine systematische Anbringung von Bewehrungsnetzen und einer Zurückbindung jener mittels kurzen UNP-Profilen und Ankerplatten sowie einer zusätzlichen Lage Spritzbeton unter Kontrolle gehalten werden.

4. Erkenntnisse

Die Deformationen in den bisher aufgefahrenen Homogenbereichen liegen deutlich unter der Prognose. Im aktuellen Homogenbereich C3 treten nun deutlich grössere Deformationen auf. Die Sicherstellung der Ortsbruststabilität ist deutlich aufwändiger als angenommen. Sie ist jedoch der entscheidende Faktor für die Arbeitssicherheit des Vortriebspersonals. Durch das faire und transparente Abrechnungsmodell sind einvernehmlich Anpassungen und Optimierungen im Sinne des Projektes schnell umsetzbar.

Die bisher trockenen Verhältnisse wirken sich positiv auf den Vortrieb aus.

Obwohl im Nachgang stets Verbesserungspotential erkannt wird, hat sich das gewählte Vortriebskonzept als robust und anpassungsfähig erwiesen.

Literatur

- [1] IG Nuovo Gottardo, 2021, Los 241 – Haupttunnel Nord Kurzbericht des Projektverfassers, Bellinzona, Bundesamt für Strassen ASTRA
- [2] CSD Ingenieure, 2021, Los 241 – Haupttunnel Nord: Geologisch-hydrogeologisch-geotechnischer Bericht Störzone Nord, Bellinzona, Bundesamt für Strassen ASTRA.
- [3] IG G2 c/o Gruner AG, 2018, Bericht Nr. 120043-2-10-436 vom 29. März 2018: Secondo tubo San Gottardo, Durchörterung Störzone Süd «Guspis-Zone», Ausführungsprojekt.

Zweite Röhre Gotthard Strassentunnel: Störzone Nord • Herausforderungen und Erkenntnisse aus Sicht des Unternehmers

PROJEKTDATEN

Region

Gotthard, Göschenen-Airolo, Schweiz

Bauherr, Projekt- und Oberbauleitung

Bundesamt für Strassen ASTRA, Filiale Bellinzona

Planung und Bauleitung

- Planung und Fachbauleitung Tunnel: IG Nuovo Gottardo, c/o Lombardi SA, Bellinzona-Giubiasco; B+S AG, Bern; ILF Beratende Ingenieure AG, Zürich; Emch+Berger AG, Bern
- Bauherrenunterstützung: IG Duo, c/o EBP Schweiz AG, Zürich; Filippini & Partner Ingegneria SA, Biasca; Neuenschwander Consulting Engineers, Bellinzona; Bachofner & Partner AG, Zürich
- Örtliche Bauleitung Nord: IG 2G-BN, c/o IUB Engineering AG, Bern; Basler & Hofmann AG, Esslingen; Gähler und Partner AG, Ennetbaden; IM Maggia Engineering SA, Locarno; Studio Ingegneria Sciarini SA, Gambarogno
- Örtliche Bauleitung Süd: Consorzio DL-Bedrina, c/o Pini Group SA, Lugano; Renzo Tarchini Cantieri & Contratti SA, Lugano; Afry Schweiz AG, Zürich
- Umweltbaubegleitung: Consorzio ENV2TG, c/o IFEC Ingegneria SA, Rivera; Afry Schweiz AG, Zürich
- Projektgeologe: CSD Ingenieure AG, Altdorf

Ausführung

- Los 111 Materialbewirtschaftung und -logistik Nord + Süd: Consorzio Sasso Gottardo, c/o Otto Scerri SA, Arbedo-Castione; Marti Technik AG, Moosseedorf; Simatec Maschinenbau AG, Horw; Mancini & Marti SA, Bellinzona; Arnold & Co. AG, Flüelen
- Los 241 Haupttunnel Nord: ARGE secondo tubo, c/o Implenia Schweiz AG, Opfikon; Frutiger AG, Thun
- Lotto 341 Galleria principale Sud: Consorzio Marti 2TG Lotto 341, c/o Marti Tunnel AG, Moosseedorf; Mancini & Marti SA, Bellinzona; Ennio Ferrari SA, Lodrinoz

Kenndaten

Bauzeit:	2020–2030
Inbetriebnahme:	2030
Baukosten Tunnel:	CHF 2.14 Mrd.
Gesamtlänge:	16.9 km
Ausbruchquerschnitt:	Störzone D=15 m; TBM D=12.3 m

Kenndaten Los 241

Bauzeit:	2022–2029
Baukosten Los:	CHF 433 Mio.
Gesamtlänge:	7.8 km

Besondere Merkmale

Zweite Röhre Gotthard-Strassentunnel mit einer Gesamtlänge von 16.9 km, inkl. sieben neuen Betriebs- und Lüftungszentralen und 67 neuen Querverbindungen (z. T. mit zusätzlichen Unterstationen) zum bestehenden SiSto; zwei Zugangsstollen (Nord L=4.1 km, Süd L=5 km) für die vorgängige und unabhängige Erschliessung der konventionellen Vortriebe durch die druckhaften Störzonen Nord und Süd; Umlegung des bestehenden SiSto in den beiden Portalbereichen inkl. zwei neue Lüftungszentralen.

Besondere Merkmale Los 241

Vortrieb Haupttunnel Nord mit Tunnelbohrmaschine im Schild, Länge ca. 7'200 m. WELK und Tübbingproduktion vor Ort. Vortrieb Störzone Nord im Vollausbuch (D=15 m) mit nachgiebigem Ausbau, Ausbruch und Sicherung als kobinierter Maschinenunterstützter Vortrieb im Fels und Lockermaterial (kombinierter MUF/MUL mit Lockerungsprengungen). Ausbruch und Sicherung diverser Logistikbauten und Querschlägen zum bestehenden SiSto im Sprengvortrieb. Sämtliche Arbeiten für die Abdichtung, Verkleidung, Zwischendecke, Innenausbau, Gussasphaltarbeiten, Oberflächenbeschichtung und Bemalung. Neubau Lüftungszentrale Göschenen, bauliche Massnahmen in best. Lüftungszentrale Göschenen in Zusammenhang mit Lüftungssystem GTG

Severin Wälchli, Dr. sc. techn. ETH, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle Nagra, Wettingen/CH

Jürgen Brommundt, Dr. Ing., Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle Nagra, Wettingen/CH

Das Schweizer Tiefenlager

Vom Rahmenbewilligungsgesuch zum Spatenstich

Für das Rahmenbewilligungsgesuch des Schweizer Tiefenlagers hat die Nagra ein exemplarisches Lagerlayout erarbeitet. Das Layout diente dem Standortentscheid und weist primär die technische Machbarkeit nach. Das Tiefenlager wird basierend auf den Festlegungen der Rahmenbewilligung in den folgenden Bewilligungsschritten nach Kernenergiegesetzgebung weiterentwickelt.

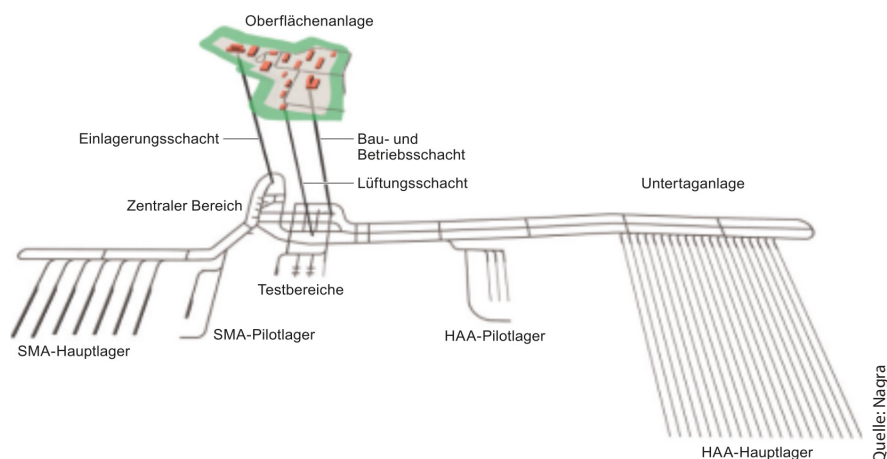
1. Einleitung

Die Nagra ist eine von den Abfallverursachern gegründete Genossenschaft mit dem Auftrag, die radioaktiven Abfälle der Schweiz in einem geologischen Tiefenlager (gTL) sicher zu entsorgen. Sie reichte Ende 2024 das Rahmenbewilligungsgesuch (RBG) für das geologische Tiefenlager ein. Im RBG vergleicht die Nagra die drei in der letzten Etappe des Sachplans geologische Tiefenlager verbleibenden Standortregionen Jura Ost, Nördlich Lägern und Zürich Nordost. Der Standortvergleich erfolgt anhand von verschiedenen, im Sachplan vorgegebenen Kriterien. Neben geologisch-sicherheitstechnischen Kriterien musste auch die bautechnische Eignung bewertet werden, zu deren Bewertung die Nagra exemplarische Lagerprojekte der Untertaganlagen geologischer Tiefenlager an den drei verbleibenden Standorten entwickelte. Im RBG beurteilt die Nagra den Standort Nördlich Lägern als sichersten Standort für ein gTL. In diesem Referat wird darum ausschliesslich auf das Lagerprojekt mit der Oberflächenanlage am Standort Haberstal (Gemeinde Stadel ZH, Nördlich Lägern) eingegangen.

2. Lagerlayout des Tiefenlagers

Im geologischen Tiefenlager sollen sämtliche zu entsorgenden Abfalltypen, d.h. schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA) und hochaktive Abfälle (HAA), an einem Standort entsorgt werden. Das Lagerprojekt lässt sich in die Oberflächenanlage (OFA) und die Untertaganlage (UTA) unterteilen, welche über Zugangsbauwerke miteinander verbunden werden. Die UTA besteht aus verschiedenen Standardbauwerken des Untertagbaus, d.h. Schächten, Tunneln, Stollen und Kavernen mit zugehörigen Verbindungen. Die radioaktiven Abfälle werden zum grossen Teil in den SMA-/ HAA-Hauptlagern und zum kleinen Teil in den sogenannten Pilotlagern eingelagert, die neben der Einlagerung vor allem der Beobachtung dienen (Bild 1).

Der Zugang nach untertag erfolgt für die exemplarische Umsetzung des Tiefenlagers mittels drei Zugangsbauwerken, dem Bau- und Betriebsschacht, dem Einlagerungsschacht und dem Lüftungsschacht. Der zentrale Bereich



1 Exemplarische Umsetzung der Gesamtanlage des geologischen Tiefenlagers mit Untertaganlage und Oberflächenanlage am Standort Haberstal

Phasen	2035	2050	2060	2130	Dauer [a]
Bau (1) & Betrieb (2) Zentraler Bereich und Testbereiche	1	2			5 & 15
Bau (3) & Einlagerungsbetrieb (4) Lager SMA		3	4		5 & 15
Bau (5) & Einlagerungsbetrieb (6) Lager HAA			5	6	5 & 15
Beobachtungsphase SMA / HAA (7)				7	50 / 50
Verschluss Hauptlager (8) / Gesamtlager (9)				8	6 / 2

2 Realisierungsplan für das geologische Tiefenlager

Le dépôt en couches profondes suisse

De la demande d'autorisation générale au premier coup de pioche

Nagra a déposé sa demande d'autorisation générale pour un dépôt en couches profondes fin 2024. À cette fin, la société a élaboré un agencement exemplaire du dépôt en couches profondes pour tous les types de déchets à éliminer. L'agencement a servi à déterminer l'emplacement et, notamment, à démontrer la faisabilité technique. L'installation complète sera développée sur la base des déterminations de l'autorisation générale dans les étapes d'autorisation suivantes, conformément à la législation sur l'énergie nucléaire.

Deposito in strati geologici profondi in Svizzera

Dalla domanda di autorizzazione di massima alla posa della prima pietra

A fine 2024 la Nagra ha presentato domanda di autorizzazione di massima riguardante un deposito in strati geologici profondi. A tale scopo è stato elaborato un progetto esemplare per un deposito in strati geologici profondi per tutte le tipologie di rifiuti da smaltire. Il progetto è servito per la scelta dell'ubicazione e dimostra in primo luogo la fattibilità tecnica. L'intero impianto sarà ulteriormente sviluppato in base a quanto stabilito nell'autorizzazione di massima nelle seguenti fasi di autorizzazione secondo la legislazione sull'energia nucleare.

The Swiss deep geological repository

From the general licence application to the first turn of the shovel

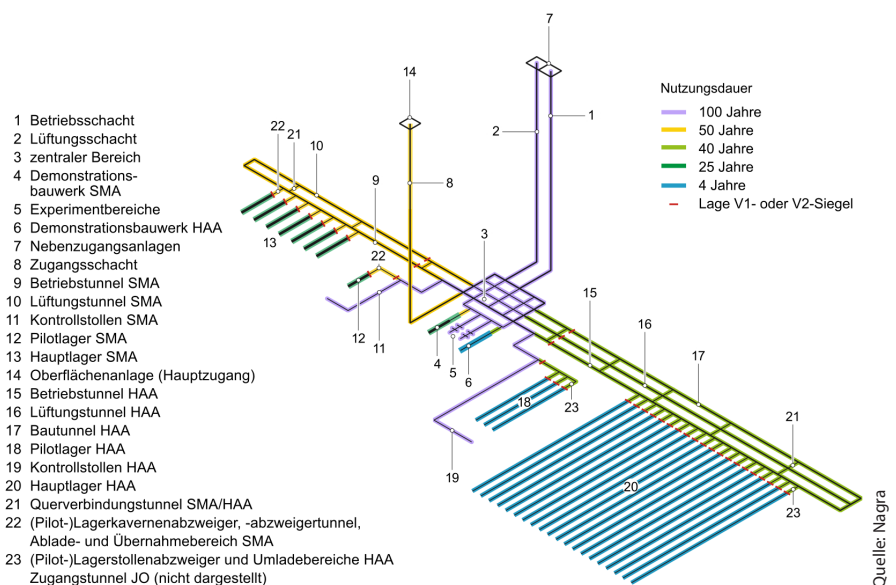
Nagra submitted the general licence application for a deep geological repository in late 2024. To this end, an exemplary layout was developed mapping a deep geological repository for all types of waste to be disposed of. The layout was used to decide on the location and primarily demonstrates the technical feasibility. Based on what is set out in the general licence, the whole facility will be developed further in subsequent licensing steps in accordance with nuclear energy legislation.

bietet die erforderliche Infrastruktur für den Bau, die Erschliessung und die Versorgung der UTA. Neben der versorgenden Funktion stellt der zentrale Bereich Platz für die Materialbewirtschaftung und Logistik bereit. Das HAA-Hauptlager und HAA-Pilotlager dienen dem Einlagern der HAA und bestehen aus Lagerstollen, welche als Blindstollen mit einem Gefälle der Neigung des Opalinustons folgend und parallel zueinander angeordnet sind. Das Pilotlager HAA dient der Einlagerung einer repräsentativen Abfallmenge. Es ist gleich wie das HAA-Hauptlager aufgebaut, besteht aber aus drei kürzeren Lagerstollen. Das SMA-Hauptlager und SMA-Pilotlager dienen dem Einlagern der SMA. Das SMA-Hauptlager besteht aus horizontalen Lagerkavernen, die parallel angeordnet sind. Das Pilotlager SMA ist gleich wie das SMA-Hauptlager aufgebaut, besteht aber aus einer kürzeren Lagerkaverne. Die Testbereiche bestehen aus Bauwerken zur Durchführung von gesetzlich vorgegebenen, vor der Einlagerung durchzuführenden Tests zur Demonstration der Funktionstüchtigkeit sicherheitsrelevanter Techniken und zur Bestätigung der sicherheitsrelevanten Eigenschaften des Wirtgesteins.

3. Realisierungsplan und Nutzungsdauern

Das Tiefenlager wird in verschiedenen Realisierungsphasen erstellt. Wesentliche vorgegebene Randbedingungen des Zeitplans sind die Betriebsaufnahme des SMA-Lagers 2050 und des HAA-Lagers 2060 (Bild 2). Vorgängig müssen die Zugangsbauwerke sowie die Testbereiche aufgeföhren werden.

Die Nutzungsdauer wird konservativ aus Beginn und Ende der Phasen berechnet (Bild 3). Eine Ausnahme hiervon bilden die Lagerstollen des Pilotlagers HAA und des Hauptlagers HAA, für welche die Nutzungsdauer genauer bekannt ist. Pro Jahr werden zwei Lagerstollen erstellt und parallel dazu



3 Darstellung der pro Bauwerk geforderten Nutzungsdauer für das geologische Tiefenlager

in zwei zuvor erstellte Lagerstollen sukzessive die Endlagerbehälter eingebracht. Daraus ergibt sich eine Nutzungsdauer von ungefähr drei Jahren pro Lagerstollen. Die Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit sind für die Nutzungsdauer der jeweiligen Bauwerke nachzuweisen.

4. Lagerauslegung

Die Bauwerke auf Lagerebene liegen vollständig mit-
tig in einer ca. 100 m mächtigen Opalinuston-
schicht. Opalinuston ist ein Tongestein, welches sich als Wirt-
gestein für ein gTL aus verschiedenen Gründen be-
sonders eignet. Der Opalinuston hat eine besonders
geringe hydraulische Leitfähigkeit, einen geringen
Diffusionskoeffizienten für den Transport gelöster
Radionuklide durch das Gestein und eine effiziente
Selbstabdichtung bei mechanischer Deformation
mit Bruchbildung. Entsprechend sind Anforderungen
an die lagemässige und höhenmässige Anordnung
der Bauwerke zu beachten.

4.1. Anforderungen an das Lagerlayout

Die Bauwerke des zentralen Bereichs (ZB) sollen möglichst nahe an den Schachtfussbereichen der Zugänge nach untertag liegen. Aus dem ZB werden sämtliche weiteren Bauwerke erstellt und erschlossen. Der Achsabstand zwischen benachbarten Tunneln auf Lagerebene soll aufgrund ihres Ausbruchquerschnitts mindestens 50m betragen, um die gegenseitige Beeinflussung zu minimieren. Alle Bauwerke sollen möglichst mittig im Opalinuston platziert werden. Die mittige Lage der SMA-Lagerkavernen und HAA-Lagerstollen hat jedoch immer eine höhere Priorität als diejenige der übrigen Bauwerke. Dadurch ergeben sich in den Bereichen der Hauptlager die entsprechenden Höhenlagen für den HAA- und SMA-Betriebstunnel. Die HAA-Lagerstollen haben eine konstante Neigung.

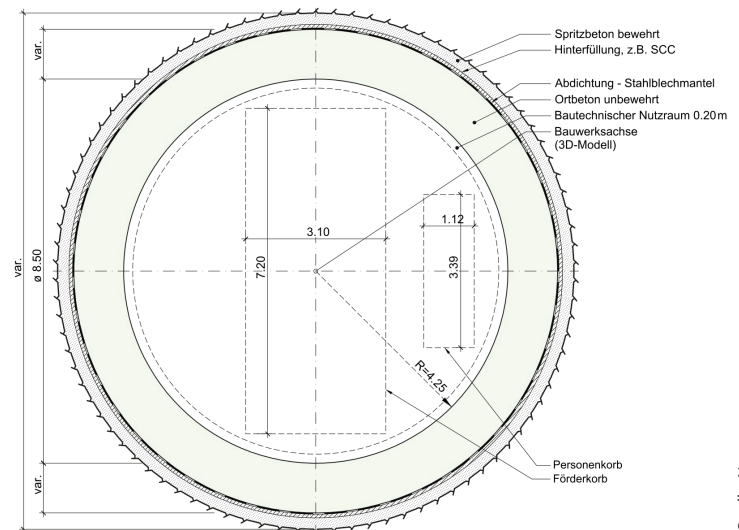
4.2. Schächte

Die Querschnittsgrössen der Schächte decken sowohl die erforderlichen Lichtraumprofile für den Betrieb des gTL wie auch die in der Planung für den Bau ermittelten Lichtraumprofile ab. Die Grösse der Normalprofile ermöglicht die Platzierung der Ver- und Entsorgungseinrichtungen für die Bau- und Betriebsaktivitäten. Weiter wird mit den Lichtraumprofilen sichergestellt, dass mobile Betriebsmittel wie Fahrzeuge oder Schachtförderanlagen in den Schächten und Bauwerken auf Lagerebene eingebaut und betrieben werden können.

4.2.1. Normal profile

Der Einlagerungsschacht beinhaltet als massgebende Installation die Schachtförderanlage und eine Fähranlage für Personentransporte. Die Grösse des Normalprofils des Einlagerungsschachts (Bild 4) ist

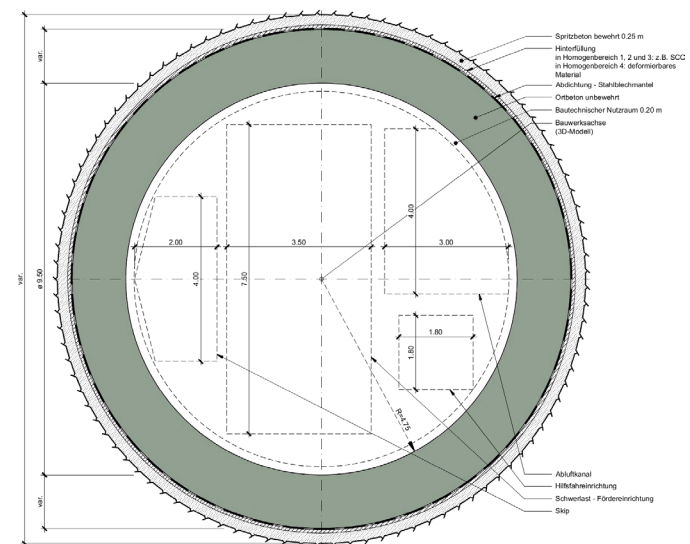
S20-BET-LRP1A



Quelle: Nagra

4 Normalprofil Einlagerungsschacht

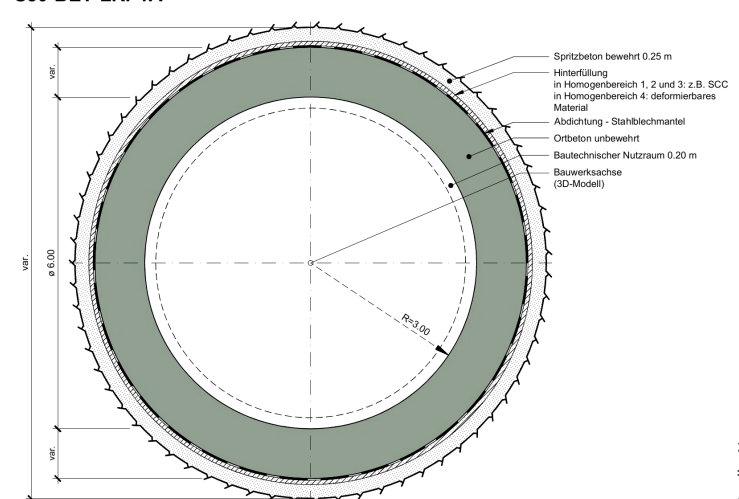
S80-BAU/BET-LRP1A



Quelle: Nagra

5 Normalprofil Bau- und Betriebsschacht

S50-BET-LRP1A



Quelle: Nagra

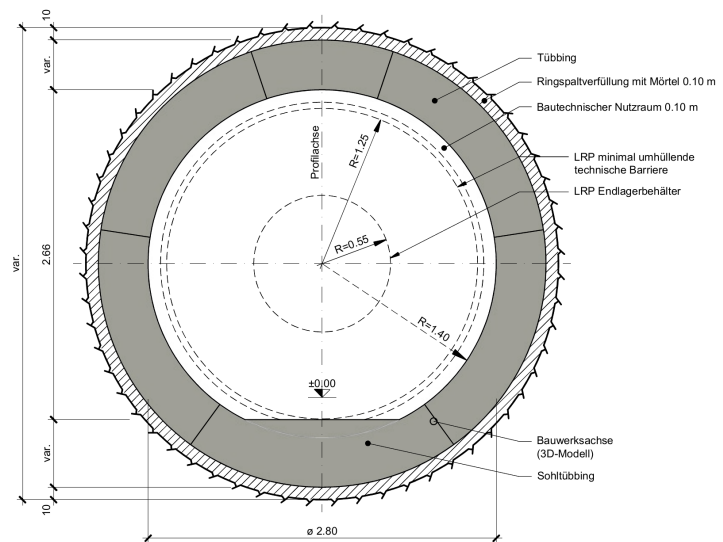
6 Normalprofil Lüftungsschacht

primär auf den Platzbedarf der zwei Fahranlagen ausgerichtet und erlaubt im freien Querschnitt die Abluftführung zur OFA.

Der Bau- und Betriebsschacht beinhaltet eine Schachtförderanlage für den Tunnel- und Kavernenbau sowie für den Betrieb und den Unterhalt auf Lagerebene, eine Fahranlage für Personentransporte und einen Skip für den kontinuierlichen und unabhängigen Abtransport von Ausbruchmaterial (Bild 5). Zusätzlich verfügt der Betriebsschacht über einen separaten Abluftkanal, über den Sprengschwaden zur Oberfläche abgeführt werden können.

Der Lüftungsschacht bietet neben seiner Primärfunktion der Bewetterung des gTL (Zufuhr von Frischluft auf Lagerebene) zusätzlich Raum für die optionale Durchführung von Sondertransporten Bau (Bild 6). Der Schacht bietet dabei aufgrund seines Normalprofils auch ausreichend Platz, um im Ereignisfall eine Hilfsfahranlage für den reinen Personentransport im Frischluftzustrom zum Tiefenlager betreiben zu können.

F10-BET-LRP1A



Quelle: Nagra

7 Normalprofil F10 für die HAA-Lagerstollen

4.2.2. Vortriebsmethode, Sicherungsmittel und Bauhilfsmassnahmen der Schächte

Die Schächte werden nach aktuellem Planungsstand konventionell abgeteuft. Das Lösen des Gebirges erfolgt dabei im Felsbereich mittels Sprengvortrieb (SPV). Die Sicherungsmittel werden dem Vortrieb folgend ab einer Schachtbühne eingebaut. Zur Vermeidung von unzulässigen Wasserzutritten wird das Gefrierverfahren eingesetzt.

4.3. Stollen, Tunnel und Kavernen im Opalinuston

Die Stollen, Tunnel und Kavernen liegen alle im Opalinuston. Aufgrund dessen geringer hydraulischen Durchlässigkeit ist eine Abdichtung der Bauwerke auf Lagerebene nicht erforderlich. Für das geologische Tiefenlager sind drei typische Normalprofile vorgesehen, das Normalprofil F10 der HAA-Lagerstollen (total ca. 19 km Tunnellänge), das Normalprofil K90 der SMA-Lagerkavernen (total ca. 1.7 km Kavernenlänge) sowie das Normalprofil D20 der Betriebs-, Lüftungs- und Bautunnel sowie weiterer Teile des zentralen Bereichs. Diese drei Normalprofile decken rund 90% der auf Lagerebene aufzufahrenden Streckenlänge ab.

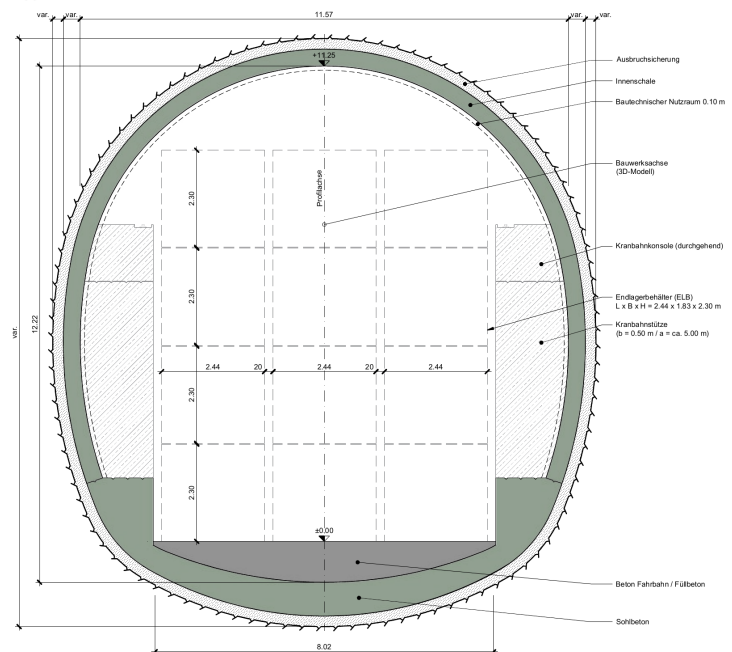
4.3.1. Normalprofile

Das Profil F10 zeigt den Ausbau des HAA-Lagerstollens mittels Tübbing (Bild 7). Die Tübbingstärke beträgt 40 cm. Massgebend für die Dimensionierung ist dabei der unwahrscheinliche Fall einer Rückholung der Abfälle innerhalb der Beobachtungsphase (Bild 2).

Das Profil K90 zeigt den Endausbau der Lagerkaverne für eine Einlagerung der SMA mittels Kranbahn (Bild 8).

Die Bau-, Betriebs- und Lüftungstunnel weisen alle dieselbe Profilform auf (D20, Bild 9). Da der Bauverkehr für das Auffahren der SMA-Kavernen und den Bau des HAA-Lagerteils aus Gründen der Arbeitssicherheit im Einbahnverkehr vorgesehen ist, weisen zudem alle Tunnel in der Verbindung vom zentralen Bereich bis hin zu den Lagerstollen bzw. Kavernen denselben Innendurchmesser von ca. 6 m auf. Das Profil D20 steht somit stellvertretend für einen Großteil der auf Lagerebene vorhandenen Profile.

K90-BET-LRP2A



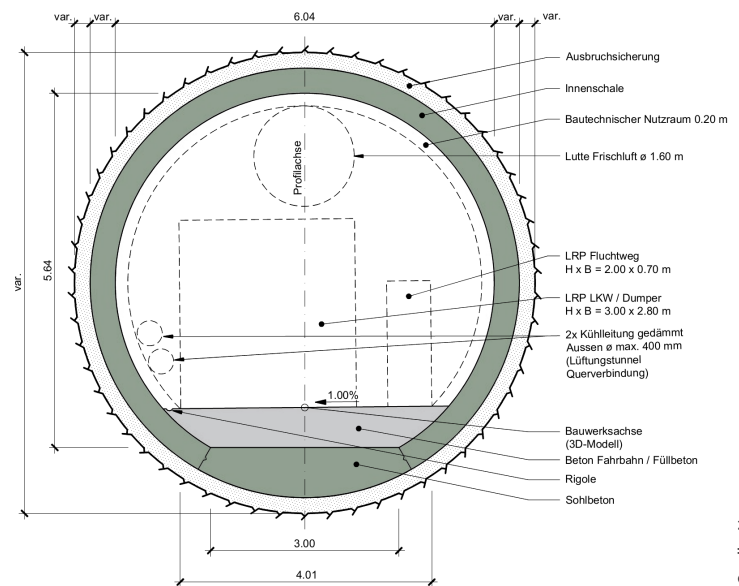
Quelle: Nagra

8 Normalprofil K90 für die SMA-Lagerkaverne

4.3.2. Vortriebsmethode, Sicherungsmittel und Bauhilfsmassnahmen der Bauwerke auf Lagerebene

Für alle Bauwerke auf Lagerebene, ausser für den HAA-Lagerstollen, wird ein Sprengvortrieb zugrunde gelegt. Aufgrund der hohen Gebirgsdrücke kommt für alle Profile im SPV eine nachgiebige Ausbruchssicherung zur Anwendung, die aus einer Systemankerung, einer geschlitzten Spritzbetonschale und Stahlbögen mit Gleitschlössern besteht. Nach Abklingen der Deformationen wird die definitive Innenschale eingebaut. Der Einbau der Innenschale erfolgt präferenziell in Ortbeton. Bei komplexen Geometrien, wie etwa im Bereich von Verschneidungsbauwerken und Abzweigungen, ist auch ein Spritzbetoninnenausbau möglich. Der Vortrieb erfolgt bei den genannten Tunnelprofilen jeweils im Vollausschub. Bei den Lagerkavernen wird mit einer abgetreppten Ortsbrust ebenfalls im Vollausschub vorgetrieben. Für den Bau der HAA-Lagerstollen inkl. der HAA-Pilotlagerstollen ist ein maschineller Vortrieb mit einer Schild-Tunnelbohrmaschine (TBM-S) und einem starren Tübbingausbau im Schutz des Schilds vorgesehen. Der Ringspalt wird mit Mörtel verfüllt.

D20-BAU-LRP1B



9 Normalprofil D20 für die Bau-, Betriebs- und Lüftungstunnel

Quelle: Nagra

5. Ausblick

Die hier gezeigte exemplarische Umsetzung der untertägigen Anlagen des geologischen Tiefenlagers diene dem Standortvergleich im RBG und zeigt die generelle Machbarkeit des Projekts. Das dargestellte Lagerprojekt bietet einen Startpunkt für die standortspezifische Entwicklung der Gesamtanlage (inklusive Oberflächenanlagen). Diese wird, basierend auf den Festlegungen im RBG, gemäss dem Bewilligungsverfahren nach der Kernenergiegesetzgebung stetig weiterentwickelt. Durch die Realisierung des Lagers in mehreren Phasen, werden vertiefere Kenntnisse der lokalen geologischen Verhältnisse aus Schachterkundungen oder aus den zukünftigen Testbereichen sowie die Ergebnisse von Projektoptimierungen in die Planung einfließen. Detaillierte Abklärungen von Betriebsabläufen oder der Betriebssicherheit können gegebenenfalls zukünftig noch zu Projektänderungen führen. In der Untertaganlage werden beispielsweise Anpassungen bei der Anzahl und dem Ort der Schächte oder bei den Testbereichen erwartet. Insgesamt soll ein möglichst kompaktes, sicheres und finanzierbares Lagerprojekt angestrebt werden.

PROJEKTDATEN

Region

Standort Haberstal, Gemeinde Stadel, Kanton Zürich, Schweiz

Bauherr, Projekt- und Oberbauleitung

Nagra, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle

Kenndaten

Bauzeit:	ca. 2035 bis 2130
Inbetriebnahme:	2050 (Einlagerungsbetrieb)
Baukosten:	ca. 12 Mrd. (Gesamtvorhaben)
Gesamtlänge:	ca. 40 km
Ausbruchquerschnitt:	ca. 12 m ² bis 152 m ²

Antoine Devillers, Ing. Généraliste HEI – Lille (FR), Chef de chantier, InfraTunnel SA, Marin-Epagnier/CH
Raphaël Leroy, Ingénieur civil EPF/AILg, Hydropower generation expert, Civil Engineering & Environment, Alpiq SA, Lausanne/CH

Renovation Project for the Eastern Water Supply Galleries of the Hongrin

Complex Logistics and Open-Book Contract for Fair Cost Control

Forces Motrices Hongrin-Léman SA (FMHL), represented by Alpiq SA, launched a call for tenders in 2010 for the renovation of the eastern water supply galleries of the Hongrin hydroelectric infrastructure. Following issues encountered during a first renovation phase (2011–2013), initiated under a contract that was never completed, FMHL and the Hongrin Gallery Consortium (CGH) decided to proceed with an open-book contract. This type of agreement reflects a commitment to transparency and to sharing some of the inherent risks of the construction project.

1. The Project

1.1. General Overview

Forces Motrices Hongrin-Léman SA, owned by Romande Energie SA, Alpiq Suisse SA, Groupe E SA, and the Lausanne Industrial Services (SIL), has been operating the Hongrin reservoir (Figure 1) since 1971 through the Veytaux I power plant, and since 2017 through the Veytaux II power plant. The total catchment area covers 90.8 km², of which 45.4 km² pertains to the eastern water intake network. Alpiq is acting as the project owner's representative. Following regular monitoring of the installations, part of the eastern water supply galleries was deemed to be in critical condition, requiring renovation to maintain water transfer functionality. The engineering firm Gruner Stucky SA was commissioned to develop the rehabilitation project. After the failure of an initial contract, the Hongrin Gallery Consortium (CGH), which includes JPF SA and InfraTunnel SA, was commissioned in 2015 to carry out the renovation work.



1 Aerial view of the Hongrin reservoir

Credit: Geologos SA

Projekt zur Sanierung der östlichen Zulaufstollen am Hongrin

Komplexe Logistik und Open-Book-Vertrag zur fairen Kostenkontrolle

Die Forces Motrices Hongrin-Léman SA (FMHL) hatte 2010 – vertreten durch die Alpiq SA – eine Ausschreibung zur Sanierung der östlichen Zulaufstollen der Wasserkraftinfrastruktur Hongrin eingeleitet. Nach Problemen in einer ersten Sanierungsphase (2011–2013), die im Rahmen eines nie fertig gestellten Vertrags eingeleitet worden war, beschloss die FMHL und das Hongrin Gallery Consortium (CGH), mit einem Open-Book-Vertrag fortzufahren. Solch eine Vereinbarung spiegelt eine Verpflichtung zur Transparenz und zum gemeinsamen Tragen eines Teils des dem Bauvorhaben innewohnenden Risikos wider.

Projet de rénovation pour les galeries d'adduction EST de l'Hongrin

Logistiques complexes et contrat à livre ouvert pour un contrôle équitable des coûts

Les Forces Motrices Hongrin-Léman SA (FMHL), représentées par Alpiq SA, ont lancé un appel d'offres en 2010 pour la rénovation des galeries d'adduction EST de l'infrastructure hydroélectrique de l'Hongrin. Suivant les problèmes rencontrés lors de la première phase de rénovation (2011–2013), initiée dans le cadre d'un contrat qui n'a jamais abouti, FMHL et le Consortium CGH – Galerie Hongrin ont décidé de poursuivre les travaux avec un contrat à livre ouvert. Ce type d'accord reflète un engagement envers la transparence et le partage d'une partie des risques inhérents au projet de construction.

Progetto di risanamento delle gallerie di rifornimento idrico est dell'Hongrin

Logistica complessa e contratto open book per un controllo equo dei costi

Nel 2010 Forces Motrices Hongrin-Léman SA (FMHL), rappresentata da Alpiq SA, ha pubblicato un bando di gara per il risanamento delle gallerie di rifornimento idrico est dell'infrastruttura idroelettrica dell'Hongrin. In seguito alle problematiche riscontrate durante la prima fase di risanamento (2011–2013), avviata nel quadro di un contratto che non è stato mai completato, FMHL e il Consorzio Galleria Hongrin (CGH) hanno deciso di procedere con un contratto open book. Questo tipo di accordo riflette un impegno a favore della trasparenza e della condivisione dei rischi intrinseci del progetto di costruzione.

1.2. Timeline

Discussions and planning regarding the renovation method began in 2015 in order to define the final construction schedule. The civil work, with a total duration of 21 months, was divided into three construction seasons to allow the network of galleries to remain operational during periods of high water inflow. Additionally, the start of the project was postponed by one year due to COVID-related health restrictions:

- June 2021 to March 2022 (9 months)
- June 2022 to December 2022 (6 months)
- June 2023 to December 2023 (6 months)

1.3. Project Figures

The renovation project concerns a section of the Raverette branch between TM 1,971 and 3,211. This branch is part of a network of water supply galleries spanning over 10 km, made up of three branches: Raverette, Torneresse, and Hongrin. The first two, supplied by several water intakes, join into a common gallery located 3 km from the outlet at the eastern end of the Hongrin reservoir (Figure 2).

The tunnel section, divided into four parts, includes:

- 816 meters with complete renovation (411 m + 405 m)
- 200 meters of localized renovations (tunnel vault and sidewalls)
- 54 meters of invert renovations

Here are some key figures regarding the quantities of materials used during the construction work:

- 7,949 tons of excavated material
- 4,718 tons of shotcrete
- 680 linear meters of concrete segments installed
- 3,272 saw cuts

Renovation Project for the Eastern Water Supply Galleries of the Hongrin • Complex Logistics and Open-Book Contract for Fair Cost Control

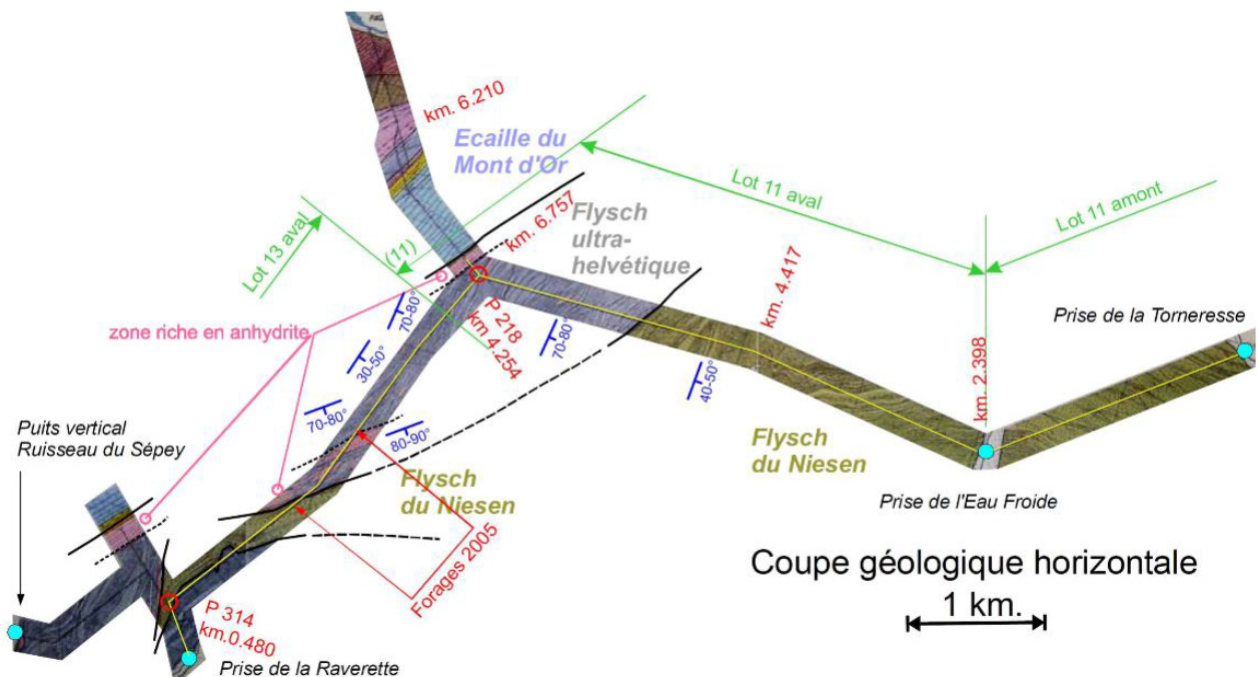


Credit: Gruner-Stucky

2 Location of the East Long Gallery

1.4. Geological Context

The galleries were excavated through two main geological formations: the Ultrahelvetic Flysch and the Niesen Flysch (Figure 3).



Credit: Gruner-Stucky

3 Geological situation of the galleries

The most significant damage is located in the Ultrahelvetic Flysch, which is mainly composed of alternating lenses of clayey schist and anhydrite. When in contact with water, anhydrite can deteriorate and transform into gypsum, accompanied by a volume increase. Moreover, both anhydrite and gypsum release sulfates, which have degraded the concrete lining (Figure 4).



Credit: Gruner-Stucky

4 Condition of galleries before restoration

1.5. Preliminary Tests and Excavation Method

In 2019, prior to the contract signing, and in order to better manage the risks for both the client and the contractor, a shotcrete test was carried out using a mold with a similar profile. This was done to validate the selection and type of shotcrete to be used. A trial section was also conducted over a stretch of about ten meters to refine the methodology for weakening the rock, and for excavating both the concrete and the in-situ rock. In 2020, due to the COVID-19 pandemic and the associated health constraints, the start of construction was postponed by one year by mutual agreement between the parties. Based on these experiences, the excavation cycle was defined as follows:

- Weakening of the section to be excavated using saw cuts;
- Demolition of the vault and sidewalls;
- Application of safety shotcrete;
- Excavation of the invert;
- Installation of concrete segments;
- Application of the final lining shotcrete.

The tunnel section cutting was performed by Mauroux, a subcontractor of the consortium. To meet the technical requirements of the site, a machine was specially adapted for the task. A Manitou loader was equipped with a rotating axis onto which two motors were mounted to drive the cutting discs (Figure 5).



Credit: CGH

5 Sawing equipment

The dual-disc cutting method made it possible to perform full-section cuts with a 180° axis rotation. This allowed for high productivity without hindering excavation progress, which was dependent on ventilation flow.

Renovation Project for the Eastern Water Supply Galleries of the Hongrin • Complex Logistics and Open-Book Contract for Fair Cost Control

The excavation machines were selected according to the dimensions of the galleries:

- Brook 170 for demolition;
- A Bobcat S70 for mucking;
- A Menzi Muck 125A excavator for cleaning.

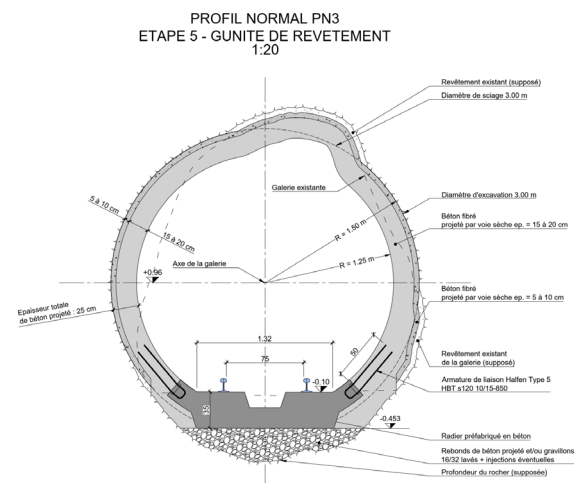
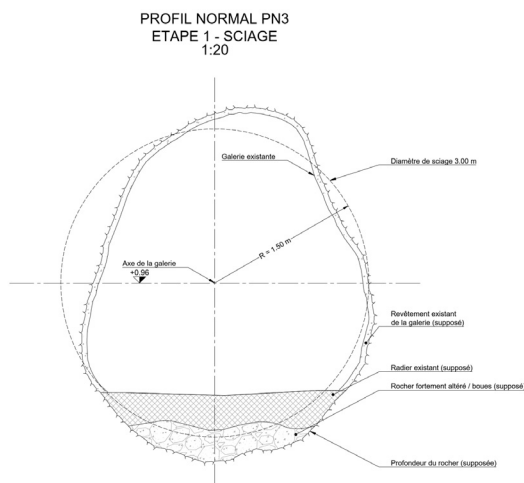
All of these machines were heavily used and subjected to extreme conditions. Therefore, at the end of each construction season, a general overhaul was carried out to minimize mechanical failures. In the context of this site, each breakdown posed a significant logistical challenge.

1.6. Technical Specificities of the Project

This project stands out due to several major constraints:

- The worksite is located in the heart of a tunnel network more than 10 km long. The operations were carried out at distances ranging from 3,084 m to 4,507 m from the access portal.
- The tunnel cross-section is very narrow, with a minimum diameter of just 2.30 meters (Figure 6).
- The seasonal nature of the work, with harsh winter conditions.
- The constant presence of water inside the galleries.

These constraints required the implementation of logistics specially adapted to the unique configuration of the site.



6 Typical gallery profile

1.6.1. Construction Site Facilities

The external construction site installations (Figure 7) had to be designed to withstand the seasonal nature of the work and harsh winter conditions.

- The roof of the site facilities (base camp) was specially reinforced to support heavy snow loads.
- A 40-meter-long by 12-meter-wide hall was installed to keep heavy inventory protected from the weather during the off-season.

To keep the work areas dry, a water management system is implemented at the beginning of each season. Cofferdams, installed at the ends of the galleries downstream from the decommissioned water intakes, retain as much water as possible, leaving only minor inflows to be managed at the actual work zones. The water volumes collected behind the cofferdams also served as a water supply source for the construction site.



7 Aerial view of outdoor site installations

The electrical supply for the site was another major challenge. Romande Energie SA was commissioned to carry out the electrical installation work. The unique aspect lay in assembling and dismantling the equipment at the start and end of each season, including the installation of a 16 kVA medium-to-low voltage (MV/LV) transformer (Figure 8) and the entire low-voltage line.



Credit: CGH

8 MV/LV Transformer cab before gallery entrance

The 3,680 m-long medium-voltage line remained equipped with a gallery during seasonal power cuts. To guarantee the safety of the installation, this line was inspected before the start of each work season.

1.6.2. Worksite logistics

To ensure that the worksite ran smoothly, a logistics inventory was specially designed to ensure that all the various materials could be brought in and out of the tunnel's limited dimensions.

A rail logistics system has been set up to manage transport flows in the gallery. Two site trains pulled by electric locomotives were equipped for the various phases of the advancement cycle (Figure 9). Each locomotive has two interchangeable batteries, enabling it to operate 24 hours a day, 5 days a week.



Credit: CGH

9 Locomotives

A train conveying the platforms could be equipped with skips for marinating or with a hold for the segments (Figure 10). This made it possible to evacuate excavation materials and supply the segmental linings. In all, the site had around fifteen multi-purpose platforms.



Credit: CGH

10 Drive train configurations

A shotcrete train consisted of a shotcrete robot, a compressor and four horizontal silos (Figure 11). Each shotcrete silo, with a capacity of 2.5 m³ of material, was equipped with a mixing system to limit settling of the material during rail transport.



Credit: CGH

11 Loading of the shotcrete train



Credit: CGH

12 Installation of invert segments using the monorail

Renovation Project for the Eastern Water Supply Galleries of the Hongrin • Complex Logistics and Open-Book Contract for Fair Cost Control

In the tunnel, equipment specifically adapted to the tunnel's dimensions had to be used for the shoring and installation of the invert segments. The heavy elements were managed by installing a monorail attached to the forward movement. The monorail allowed the handling of shoring buckets and prefabricated invert between the train and the forward movement (Figure 12).

The use of this inventory and the miners involved on the site enabled an average progress rate of 75 cm per shift to be maintained, and the work to be delivered according to the contractual schedule.

Progress	Excavation Vault	av./post	Excavation Invert	av./post	Concrete Lining	av./post	Sawing
Season 1	303 m	0.69 m	263 m	0.60 m	262 m	0.60 m	411 m
Season 2	217 m	0.77 m	198 m	0.70 m	199 m	0.71 m	226.5 m
Season 3	298 m	0.85 m	358 m	1.02 m	355 m	1.01 m	180.5 m

Table 1 Progress rates by season and by activity.

At the request of the MO, season 1 was shortened by 3 months due to the geopolitical situation in Europe, the tension linked to the country's energy supply and the risk of a blackout in Switzerland. This stoppage made it possible to capture the natural inflow of meltwater and runoff in advance. During season 2, 200 metres of spot repairs (vault and right foot of the sidewall) were also carried out.

2. Contract

2.1. History

The project was first put out to tender in 2010. This tender procedure led to an initial, unsuccessful contract running from 2011 to 2013. The Owner therefore issued a recall of the projects that had been put out to tender in 2010, which led CGH 2nd in the tender procedure to confirm its interest in taking over the project. After discussions, analyses and definition of the final project variant, the Owner's past experience with this complex project led it to propose remuneration based on an open book system.

2.2. Open book

The principle of the open book is complete transparency of construction costs. The consortium gives the Owner all its prices, and together they establish a remuneration system for each item of expenditure. This framework enables the contractor to guarantee remuneration of his cost price (direct SMIT costs) as well as indirect costs (via the SEE calculation scheme). In return, the contractor transfers a percentage of the accounts for the risks and benefits as well as for the financial costs associated with remuneration via instalments during the civil works.

2.2.1. Implementing the open book system

In order to avoid unpleasant discussions during the project, it is important to set up a system that includes all the services for the site. This was done in collaboration between the project Owner/Construction management/Contractor. Once all the costs were known to the project Owner, we had to work out how to allocate them fairly. The breakdown of these costs has been divided into 5 sections (A-B-C-D-E). Each section covers one aspect of the worksite:

- A: Initial mobilisation and final demobilisation of worksite facilities (including all services for the mobilisation and demobilisation of the worksite, broken down into lump-sum costs, reimbursable costs and salary costs);
- B: Site operating costs (including capital expenditure and maintenance of site facilities);
- C: Progress costs (including remuneration on an SMIT basis);
- D: Partial demobilisation (including transport and wage costs);
- E: Partial remobilisation (including transport and wage costs).

Examples include:

In Book A:

- Remuneration for electrical installation is paid on presentation of the service provider's invoices, as this is a job that is likely to change over the duration of the site.
- The provision of water treatment facilities, paid for on a lump-sum basis, as this is a fixed item for the entire site.

In Book C:

- Prices for hours worked underground in the tunnel and hours worked outside as per daily statement.
- Materials as per invoices.

Renovation Project for the Eastern Water Supply Galleries of the Hongrin • Complex Logistics and Open-Book Contract for Fair Cost Control

- Inventory paid per item at the TFI rate for the inventory used.
- Third parties as per invoices.

Once the various amounts and quantities have been established, the reference amount excluding tax serving as the contractual basis is agreed, in this case CHF 14,920,000.

In the event of unforeseen work, the creation of a new item of expenditure in reimbursable costs, as well as changes to the reference amount if additional work is required according to the various site contingencies, remain entirely possible following discussion and agreement between the parties.

2.2.2. Remuneration

Remuneration according to the open-book method is therefore based on requests for advance payments, which the contractor draws up in advance of the planned services and which enable him to cover his direct and indirect expenses.

Each month, the quantity surveys are drawn up on the basis of the various specifications, enabling us to check that the value of the advance payments corresponds to the costs incurred by the site. In this way, as the site progresses, the amount of the advance payments is adjusted as accurately as possible by the company for the following season. It is also possible, with the agreement of the project Owner, to submit an adjustment payment if the cost projections were initially incorrect.

The aim for the parties is therefore to keep site costs below the contractual reference amount to which they have committed. A system of penalties for exceeding this amount encourages the various parties involved in the project to find common-sense alternatives on the various issues.

Cost increases due to inflation for this project were defined based on the method of calculating the specific work index (MIS) in accordance with the SIA1021/3 appendix. Cost increases were calculated at the end of each season on the basis of turnover. Some items were not taken into account because they belong to the owner (for example, inventory acquired by the owner via reimbursable costs).

2.2.3. Closing the contract

The final invoice for the contract is therefore based on the difference between the advance payments received from the Owner and the actual cost for the work carried out and recorded in the various specifications.

In addition, in order to maximise the desire not to exceed its reference price. The Owner has put in place an adjustment mechanism aimed at distributing the profit between the reference price and the final real price of the construction project.

3. Conclusion

The rehabilitation of the eastern supply galleries of the Hongrin was a technically very interesting project, both in terms of complex preparation of the worksite, and in terms of reflection, identification and anticipation of the conditions that would not allow improvisation, as early as possible in order to best adapt the phases of the works to come.



13 End of the 2023 season before dismantling of outdoor installations

Credit: Geologos SA

Renovation Project for the Eastern Water Supply Galleries of the Hongrin • Complex Logistics and Open-Book Contract for Fair Cost Control

The open book concept is also a key element in the smooth running of the project. The many hours of work required to transform a CAN tender into an open book have proved their worth over the seasons. This system greatly simplifies financial matters. In fact, the rules are known and shared throughout the execution phase, allowing the technical aspect to take precedence through common-sense solutions, with the aim of producing high-quality and appropriate work.

As a result, at the end of this project, through the technical proposals and the quality of the work carried out, the full operation of the supply galleries is guaranteed for decades to come, in a Swiss energy context that is becoming ever tighter (Figure 13).

The authors would like to thank the project Owner, Forces Motrices Hongrin-Léman SA and Alpiq for allowing this article to be published, the project planner Gruner-Stucky for their collaboration throughout the project, with high-quality technical exchanges, and all those involved, subcontractors and suppliers.

Hydropower has a bright future in Switzerland.

PROJECT KEY DATA

Region

Galerie Est d'Hongrin, Vaud, Suisse

Client

Force Motrice Hongrin-Léman, Alpiq SA

Design, site supervision and overall construction management

Gruner Stucky

Execution

Consortium Galerie Hongrin: JPF Construction SA (pilote), InfraTunnel SA

Key data

Construction period: June 2021–December 2023

Start of operations: July 2021

Construction costs: 14'920'000 CHF

Length: 816 m

Excavated cross section: Gallery diameter 2.50 m

Special features

Project at the heart of a network of hydraulic tunnels located 4 km from the access portal, with a restricted work schedule requiring complex site logistics, open book accounting, demanding seasonal operating constraints (hydro-electric production and demanding winter weather)

David Fragnoli, Ingénieur civil dipl EPFL, Responsable du Domaine Gestion des projets Nord, OFROU F1 – Estavayer le Lac/CH

Andrea Belfiore, Ingénieur civil Niv. Master, Responsable du projet du Contournement du Locle OFROU F1 – Estavayer le Lac/CH

Jean-François Vullioud, Ingénieur civil dipl EPFL, Responsable d'agence, Chef de groupe, WSP ingénieurs Conseils SA, Neuchâtel/CH

N20 – Contournement autoroutier du Locle

Le contexte environnemental : risques ou opportunités ?

La Confédération, par l'Office fédéral des routes (OFROU), assume la planification et la réalisation du contournement autoroutier du Locle par la N20. Ce projet est confronté à des contraintes ayant un impact important sur la conception et le déroulement des travaux.

1. Présentation générale

1.1. Une passation du Canton à la confédération

Les projets de contournement du Locle et de la Chaux-de-Fonds, menés par le canton de Neuchâtel sont qualifiés d'exécutoires (2012). En 2017, le Parlement a souhaité que les projets cantonaux exécutoires soient repris tels quels par la Confédération. Ainsi, en 2020, le contournement du Locle passe sous la responsabilité de l'OFROU.

1.2. Contexte général

La ville du Locle est confrontée à des problèmes croissants de circulation routière. Allant de 13'000 véhicules par jour au Col des Roches à plus de 23'000 au Crêt-du-Locle. Aucun itinéraire alternatif aux axes desservant des quartiers d'habitation ne permet actuellement la traversée de la ville. Cette situation surcharge le réseau routier aux heures de pointe et entraîne des nuisances aussi bien pour les riverains que les usagers.

Pour y remédier, la solution retenue est un évitement par le nord de la ville, dont les travaux ont débuté en 2021 et se termineront à l'horizon 2032. Ainsi, le Locle sera mieux connecté aux réseaux autoroutiers, permettra de désengorger efficacement son centre-ville et aussi d'absorber l'augmentation du trafic prévue pour la prochaine décennie.



Crédit : OFROU

1 Situation actuelle du trafic

2. Particularités du projet – Enjeux

2.1. Caractéristiques du projet

Le tracé du projet a fait l'objet de variantes avec des points d'accroches fixes, la frontière à l'Ouest et l'autoroute existante à l'Est. Cette situation engendre des enjeux techniques et environnementaux, ainsi que des contraintes importantes à respecter. Le contexte urbanisé, le tissu industriel horloger, la saturation du trafic aux heures de pointes complexifient le cadre de réalisation de cet ouvrage important.

Le projet, dans son ensemble, consiste à créer un tunnel monotube bidirectionnel d'une longueur de 4 km et d'un diamètre d'environ 12 mètres, avec une galerie de sécurité. Trois secteurs distincts peuvent être décrits :

- Le Locle-Ouest : Accueille un portail enterré dans l'ancienne carrière des Granges, intègre une demi-jonction permettant notamment le raccordement à la France, ainsi qu'un nouveau tunnel de 250 m pour accéder aux Brenets.
- Le tunnel : Du point de vue géologique, l'ouvrage recoupe longitudinalement le flanc Sud de l'anticlinal de Pouillerel (lithologies des formations calcaires du Jurassique supérieur). Il croise 2 lignes ferroviaires : un tunnel transN (Le Locle–Les Brenets) en milieu d'ouvrage et la ligne CFF (Le Locle–La Chaux-de-Fonds) au droit du portail Est.
- Le Locle-Est : Accueille de nombreux ouvrages (un viaduc, des murs de soutènement, un pont) pour relier le portail du tunnel à la Jonction existante du Crêt-du-Locle, ainsi que le déplacement de la route cantonale.

N20 – Autobahnumfahrung Le Locle

Der ökologische Rahmen: Risiken oder Chancen?

Der Bund plant und realisiert die Autobahnumfahrung der N20 von Le Locle. Dieses Vorhaben ist mit sehr starken technischen und umweltbedingten Zwängen konfrontiert, die sich in hohem Masse auf die Planung und Ausführung der Arbeiten auswirken. Aus diesen Herausforderungen ergibt sich auch die Chance, starke Verbindungen zwischen den verschiedenen, betroffenen Akteuren zu schaffen, innovative Lösungen umzusetzen und das Bundesamt für Strassen ASTRA langfristig einzubinden.

N20 – Circonvallazione autostradale di Le Locle

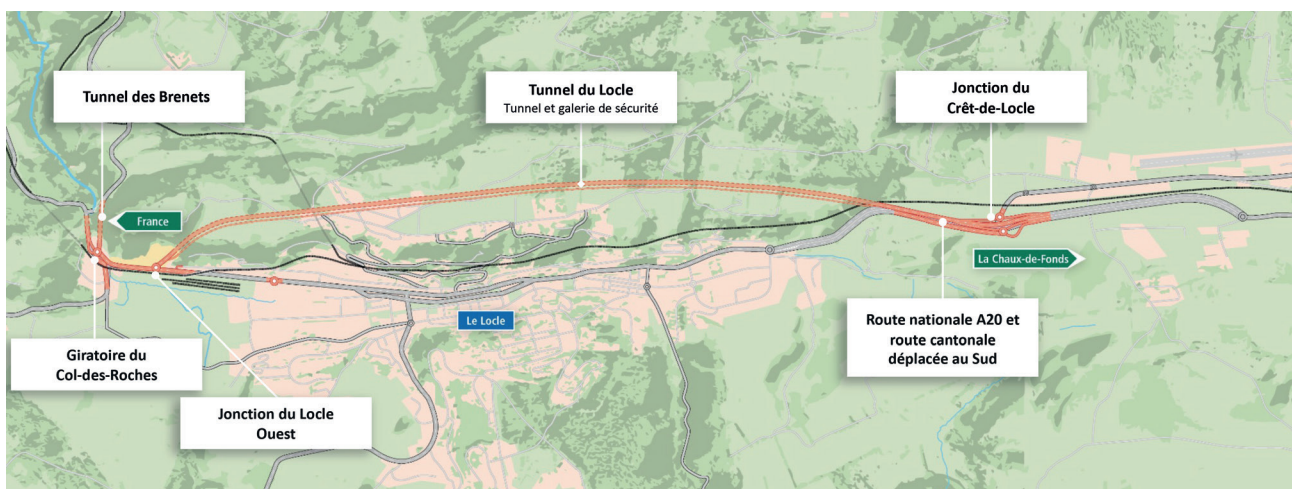
Il contesto ambientale: rischi o opportunità?

La Confederazione è impegnata nella progettazione e realizzazione della circonvallazione autostradale di Le Locle sulla N20. Il progetto deve far fronte a notevoli vincoli tecnici e ambientali che hanno un impatto significativo sulla progettazione e sullo svolgimento dei lavori. Ma queste sfide rappresentano anche un'opportunità per rafforzare i legami tra i vari attori coinvolti, oltre che per mettere in atto soluzioni innovative e assicurare un impegno a lungo termine da parte dell'USTRA.

N20 – Le Locle motorway bypass

Risks or opportunities in an environmental context?

The Swiss Confederation is planning and building the Le Locle motorway bypass via the N20. This project faces considerable technical and environmental constraints that have a major impact on the planning and execution of the work. These challenges have also been an opportunity to forge strong links between the various parties concerned, establish innovative solutions and secure a long-term commitment from the Federal Roads Office (FEDRO).



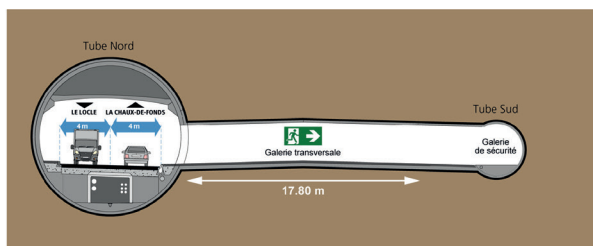
Crédit : OFROU

2 Situation finale du projet

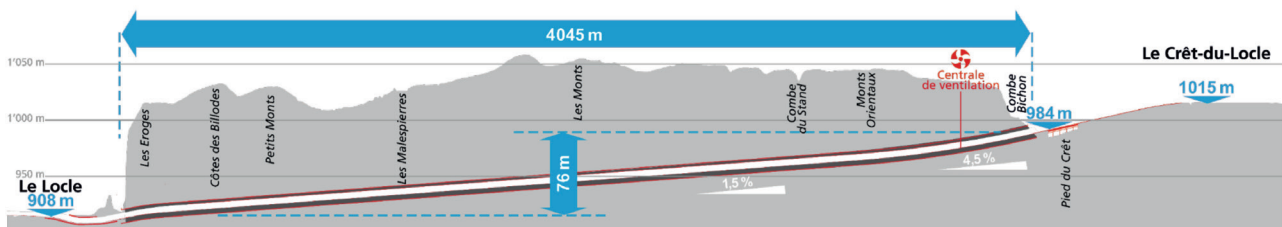
2.2. Enjeux techniques

- Le Locle-Ouest : L'ancienne carrière des Granges présente des falaises instables nécessitant d'importantes mesures de sécurisation (purge de env. 400'000 m³ et pose de filets de protection). Tout le secteur à ciel ouvert est exposé de manière forte aux chutes de pierres et nécessite la pose de nombreux filets de protection.
- Le tunnel : Traverse un massif généralement très fracturé. Le risque de recouper des karsts est réel et important sur 40% du tunnel. Les 189 derniers mètres du tunnel dans le massif sont réalisés dans la Gompholite, formation qui peut être assimilée à du terrain meuble, c'est dans cette formation que le tunnel passe sous la voie CFF.
- Le Locle-Est : Les terrassement pour les ouvrages traversent des terrain médiocres (Gompholite, Oehningien) dans le versant sud du remblai de la voie CFF.
- Mise en place d'une interface de gestion et d'évacuation des matériaux d'excavation du tunnel par trains (environ 2'500'000 t de matériaux d'excavation).
- Entre les secteurs Est et Ouest : La route nationale traverse la ville du Locle et représente presque le seul accès. Le trafic doit être assuré en permanence, y compris pour les services d'urgence, indépendamment des restrictions de voiries imposées par les travaux. En outre, le tissu industriel horloger impose des contraintes vis-à-vis des nuisances (horaires trafic, vibrations et poussières).

N20 – Contournement autoroutier du Locle • Le contexte environnemental : risques ou opportunités ?



Nombre de tubes	1
Nombre de voies	2 (trafic bidirectionnel)
Tube parallèle	Galerie de sécurité (et galerie de reconnaissance géologique)
Longueur	4'045 m

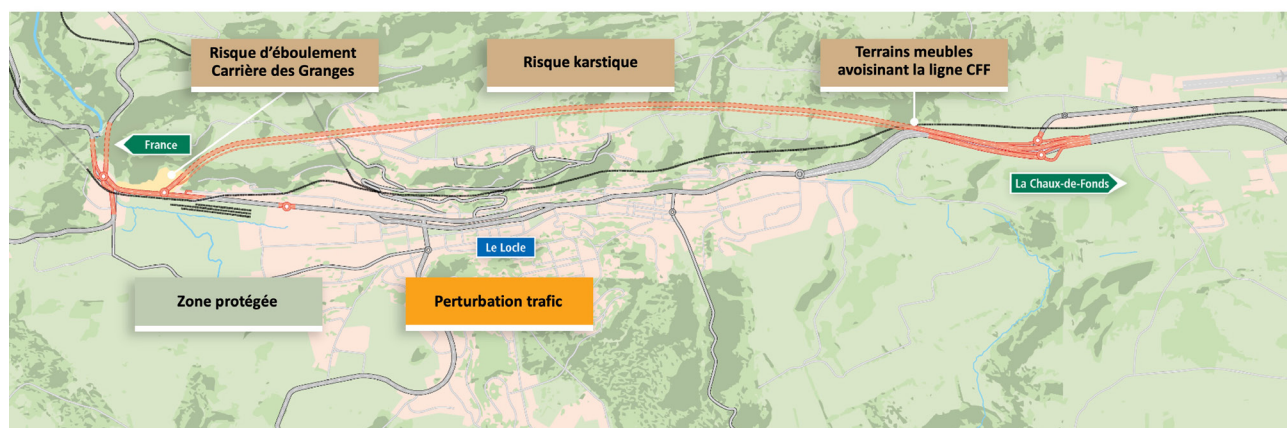


Credit : OFROU

3 Tunnel du Locle

2.3. Enjeux environnementaux

La réalisation d'un tel projet a inévitablement un impact sur différents domaines environnementaux. Afin de garantir la protection des milieux naturels ainsi que des espèces floristiques et faunistiques de la région, l'OFROU a élaboré diverses mesures environnementales faisant partie intégrante du projet et qui seront réalisées dans le périmètre du chantier.



Credit : OFROU

4 Les enjeux principaux

Les mesures sont de deux types :

- Indirectes : compensations des impacts du projet
- Directes : induites par l'interférence entre le projet (tracé, besoins en surfaces) et les milieux protégés

Au programme des interventions indirectes, on trouve, à l'Ouest, la renaturation des ruisseaux (Bied du Locle, La Grecque et les Calame), ainsi que divers aménagements paysagers à l'Ouest et à l'Est. Une anticipation des mesures pour le contournement de La Chaux-de-Fonds est intégrée par la mise en œuvre des mesures de protection des batraciens.

Une attention particulière est portée au biotope d'importance nationale, à la sauvegarde des espèces floristiques rares ou menacées telles que les Fritillaires, ces fleurs protégées en forme de clochette qui s'épanouissent du printemps au début de l'été dans des sols,



5 Renaturation du Bied et de la Grecque, état 2024

Credit : OFROU

N2o – Contournement autoroutier du Locle • Le contexte environnemental : risques ou opportunités ?

pour les espèces propres à la région, frais à franchement humides. Cette fleur rare, est protégée en Suisse et classée « en danger d'extinction » selon la liste rouge des espèces menacées.

Les mesures « directes » de protection environnementale liées à la présence des Fritillaires ainsi qu'à la composition tourbeuse des marais du Locle engendrent de fortes contraintes pour les surfaces dédiées aux installations de chantier et à la gestion des matériaux (impacts sur l'organisation des surfaces disponibles et le phasage des travaux, limitation des capacités de stockage intermédiaire).



Crédit : OFROU

6 Fritillaires

3. Intégration des aspects environnementaux

3.1. Organisation du projet

Au vu des enjeux, un organe de coordination et de vérification de la pertinence et de l'efficacité des mesures environnementales a été mis en place et conseille le groupe de pilotage du projet. Cette instance (Groupe de suivi environnemental – GSE), unique en son genre, encadre le travail du suivi environnemental (SER) et doit permettre d'assurer une réalisation concertée des mesures prévues. Il est composé de représentants du maître d'ouvrage, des services cantonaux concernés, des communes du Locle et de la Chaux-de-Fonds, ainsi que des associations de protection de la nature et de l'environnement.

3.2. Revitalisation des ruisseaux du marais du Locle

Les ruisseaux présents à l'Ouest dans les marais du col-des-Roches sont réaménagés afin de leur redonner un aspect naturel en créant des milieux aquatiques et riverains diversifiés.

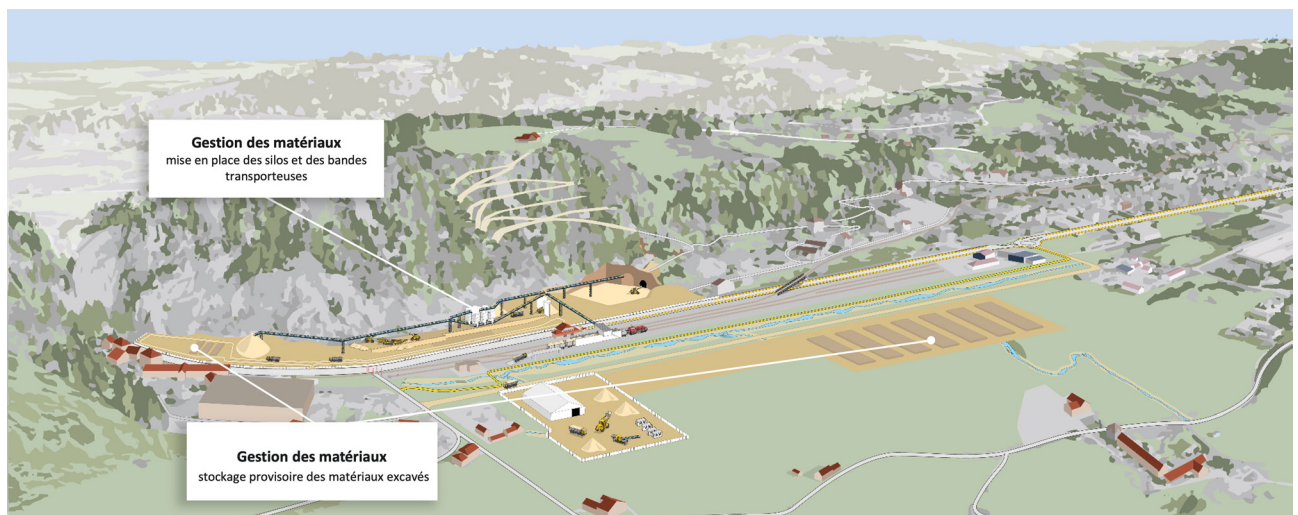
Les travaux de revitalisation du Bied ont débuté en 2023, avant les travaux d'infrastructures autoroutières, selon conditions du permis de construire. En raison des installations de chantier situées dans les marais du Locle, la revitalisation des trois cours d'eau concernés ne pourra être achevée qu'au terme des travaux liés aux infrastructures autoroutières.

Cette mesure indirecte tisse un lien avec l'aménagement du territoire en contribuant à la mise en valeur d'une zone très urbanisée. Une piste de mobilité douce, construite par le projet et longeant le Bied renaturé, augmente la contribution à la qualité de l'exploitation du site.

3.3. Conservation des fritillaires pintades

Le site des marais, à l'Ouest, héberge une population de fritillaires pintades (*Fritillaria meleagris*) de plus de 10'000 pieds dans les marais du Locle. Les surfaces d'installation de chantier entrant en contact direct avec certaines de ces populations, l'OFROU a pris des mesures afin de les préserver au maximum.

En collaboration avec le jardin botanique de Porrentruy, les populations mises en danger par le chantier ont fait l'objet d'un déplacement effectué en mai 2021. En parallèle, une récolte de graines a été effectuée en 2020 et 2021. Les Fritillaires plantées en pépinière seront remises en terre dans les marais du Locle à la fin des travaux.



Crédit : OFROU

7 Gestion des matériaux, surfaces à disposition restreintes

N20 – Contournement autoroutier du Locle • Le contexte environnemental : risques ou opportunités ?

Un récent rapport de comptage démontre que le nombre de Fritillaires a largement augmenté depuis 2023, bien que leur habitat ait été réduit de moitié le temps des travaux.

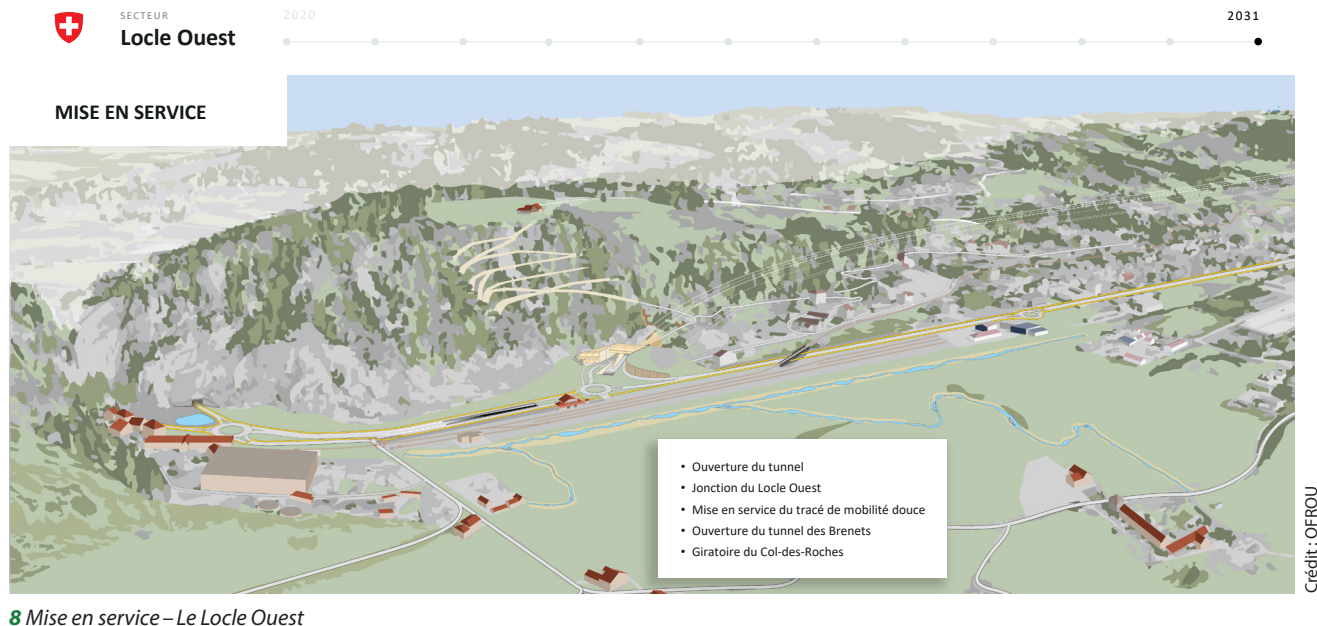
Il en résulte une contrainte sur les surfaces d'installations de chantier qui sont limitées aux zones à faible densité de Fritillaires et douées d'un système de drainage tel à garantir le bon niveau d'humidité dans le marais (effet barrage induit par les tassements de tourbes). Combiné à la composition tourbeuse des Marais, il en résulte des capacités de stockage intermédiaire et provisoire des matériaux d'excavation faibles vis-à-vis des capacités d'avancement du TBM. Ces différentes limitations ont donc conduit à limiter contractuellement, malgré l'adoption d'un système de transbordement de matériaux d'excavation par train, la cadence de pointe de l'avancement du TBM ($\leq 9'000$ t/j ou $30'000$ t/sem.).

4. Conclusions

Le projet de contournement du Locle est confronté à des contraintes environnementales très fortes. Les mesures directes et indirectes doivent être intégrées dans la conception du projet, car les conséquences sur les coûts et délais peuvent s'avérer importantes. Une mesure directe (Fritillaires) est particulièrement impactante. D'une part sur le projet (concept d'utilisation des surfaces de chantier) et contractuels (limitation de la cadence de pointe de l'avancement du TBM).

Ces contraintes sont aussi une opportunité par la mise en place d'une collaboration peu usuelle entre la Confédération, le Canton et les Communes, ainsi que des associations de protection de la nature et de l'environnement. Elles permettent aussi un engagement fort l'OFROU vis-à-vis de l'environnement.

Le contournement du Locle permettra de contribuer à la revitalisation de toute une région et de mettre en valeur les qualités paysagères exceptionnelles du site du Col-des-Roches, une des portes d'entrée du pays.



PROJECT KEY DATA

Region

Le Locle, Neuchâtel, Suisse

Client

Confédération, Office fédéral des routes

Design, site supervision and overall construction management

- BAMO-DGT : OPAN – WSP
- Mandataire tunnel : GLAM (GVH, Lombardi, ATB, MPAIC)
- Mandataire ouvrages extérieurs : ACTIV (AFRY, CSD, T-Ing, VBI)
- Mandataire dangers naturels : CSD
- Mandataire gestion des matériaux : 3+ (E+B, MAWI/ Pagani-Lanfranchi Bilger)
- Mandataire BSA : EGIS – Lombardi
- Spécialiste ENV-SER : biol conseils
- Spécialiste géologie : Institut Géotechnique
- Spécialiste trafic : Corolle (Transitec, RGR)
- Spécialiste géomètre : GSSA (MAP, Géoconseils, Géoexpert)
- Spécialiste communication : CoTra (WGR, IC)

Key data

Construction period : 2021–2032
Construction costs : 810 MCHF HT
Length : 4 km
Excavated cross section : 130 m²

Wasserkraftprojekt Chlus

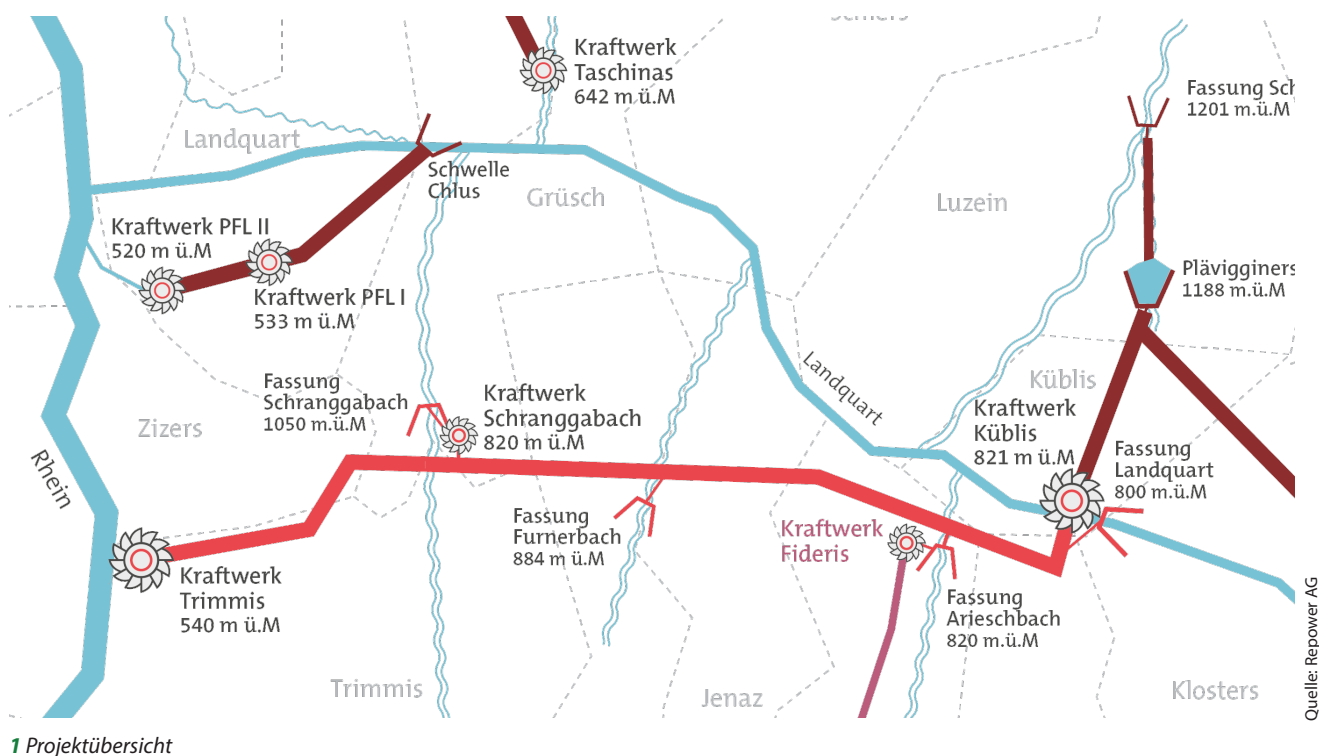
Projektentwicklung aus den Perspektiven Bauherrschaft und Projektverfasser

In der Region Landquart/Prättigau plant die Repower AG die Erweiterung der bestehenden Wasserkraftwerksanlagen. Mit dem Projekt Chlus soll die Kraftwerkskaskade zwischen dem Davosersee und dem Kraftwerk Küblis bis in den Rhein bei Trimmis um eine weitere Stufe erweitert werden. Kern der geplanten Anlage ist der 16 km lange Druckstollen durch das Prättigau hinaus ins Bündner Rheintal.

1. Einleitung

Die Repower AG plant im Prättigau/Bündner Rheintal den Bau eines Wasserkraftwerks mit einer installierten Gesamtleistung von ca. 62 Megawatt und einer Jahresproduktion von ca. 215 Gigawattstunden. Das entspricht dem Verbrauch von rund 50'000 durchschnittlichen Schweizer Haushalten. Die neue Anlage ergänzt die bestehende Kraftwerkskaskade Davos – Klosters/Schlappin – Küblis um eine weitere Stufe. So sieht das Projekt Chlus vor, das Gefälle der Landquart zwischen Küblis und dem Rhein von ca. 283 m ebenfalls zur Stromproduktion zu nutzen. Dabei wird das turbinierete Wasser aus dem bestehenden Kraftwerk in Küblis gefasst und über einen Druckstollen und eine Druckleitung talauswärts zur neuen Kraftwerkszentrale in Trimmis geführt. Weiteres Wasser kommt aus der Landquart bei Küblis sowie den drei Seitenbächen Ariesch-, Furner- und Schranggabach dazu. Am Schranggabach kann die Fallhöhe zusätzlich mittels eines Kleinwasserkraftwerks genutzt werden. Insgesamt können die Turbinen in Trimmis bei Volllast ca. 25 m³/s zu Strom verarbeiten. Für die Erstellung der im Projekt Chlus geplanten Anlagen wird mit einer Bauzeit von 5 Jahren und einem gesamten Investitionsvolumen von über CHF 400 Mio. (Kostenschätzung Vorprojekt) gerechnet.

Das Projekt Chlus zählt zu den 16 Wasserkraftprojekten, welchen mit der Annahme des neuen Bundesgesetzes über eine sichere Stromversorgung (StromVG) nationale Bedeutung zugesprochen wurde. Dadurch profitiert das Projekt einerseits von Vorteilen im Genehmigungsverfahren, andererseits sind dadurch auch zusätzliche Ausgleichsmassnahmen zu Gunsten der Umwelt erforderlich.



Projet hydroélectrique Chlus

Développement du projet du point de vue du maître d'ouvrage et du concepteur du projet

Repower prévoit une extension des aménagements de la centrale hydroélectrique existante dans la région de Prättigau/Landquart. Le projet Chlus vise à étendre d'un niveau la cascade de centrales électriques entre le lac de Davos et la centrale électrique de Küblis jusqu'au Rhin à Trimmis. La galerie d'amenée souterraine de 16 km de long, qui traverse le Prättigau pour rejoindre la vallée du Rhin près de Trimmis, constitue le cœur de la centrale prévue. Le développement du projet est diversifié et complexe, aussi bien du point de vue des procédés que de l'aspect technique.

Progetto idroelettrico Chlus

Sviluppo del progetto dal punto di vista della committenza e del progettista

Nella regione Prelligovia/Landquart, Repower progetta l'impianti d'ampliamento della centrale idroelettrica esistente. Il progetto Chlus prevede di ampliare la cascata di centrali tra il Lago di Davos e la centrale di Küblis sfruttando il dislivello fino al Reno nei pressi di Trimmis. Il cuore dell'impianto previsto è costituito da una galleria in pressione lunga 16 km che da Prelligovia giunge fino alla Valle del Reno vicino Trimmis. Lo sviluppo del progetto si presenta sfaccettato e impegnativo sia sul piano procedurale che sul piano tecnico.

Chlus hydropower project

Project development from the perspectives of the client and project author

Repower is planning to expand the existing hydropower plants in the Prättigau/Landquart region. The Chlus project is intended to extend the power plant cascade between Lake Davos and the Küblis power plant to include a further stage that stretches to the Rhine near Trimmis. The core of the planned facility is a 16 km long pressure tunnel through Prättigau and into the Rhine Valley near Trimmis. Project development is multifaceted and challenging from both a procedural and technical point of view.

Aktuell wird das Bauprojekt erarbeitet und das Projektgenehmigungsverfahren vorbereitet. Die Projekteingabe ist noch in der ersten Hälfte des laufenden Jahres vorgesehen. Im Falle eines positiven Investitionsentscheids der Bauherrschaft kann das neue Kraftwerk frühestens 2032 in Betrieb genommen werden.

Das Projekt durchlief bereits einen langen und komplexen Entwicklungsprozess. Die Planung begann 2007, wurde jedoch mehrfach aus wirtschaftlichen Gründen unterbrochen. Seit Ende 2022 wird das Projekt wieder aktiv vorangetrieben. Der langwierige Verfahrens- und Projektentwicklungsprozess bringt sowohl aus Perspektive des Projektverfassers als auch der Bauherrschaft diverse Herausforderungen mit sich. Unter anderem muss eine zweistufige Umweltverträglichkeitsprüfung durchgeführt werden.

2. Projektentwicklung im Rückblick

Die Kraftwerksnutzung im Prättigau hatte ihren Anfang zu Beginn des letzten Jahrhunderts. So leisten die bestehenden Kraftwerke Küblis und Klosters im oberen Prättigau bereits seit über 100 Jahren ihren Anteil zur nachhaltigen Stromversorgung der Schweiz. Die Nutzung des unteren Abschnitts der Landquart war ebenfalls schon im Verlauf des letzten Jahrhunderts immer wieder ein Thema.

Die Entwicklung des heutigen Projekts nahm seinen Anfang im Jahr 2007. Zwischen damals und heute wurden diverse Varianten geprüft und weiterentwickelt. Während zu Beginn des Projekts eine zweistufige Variante mit zwei Zentralen entlang der Landquart im Vordergrund stand, sieht das aktuelle Projekt eine einzige Stufe zwischen Küblis und Trimmis vor.

Bei grossen Kraftwerksprojekten sind lange Planungs- und Verfahrensphasen üblich. Neben den komplexen Genehmigungsverfahren (im Kanton Graubünden Konzessions- und Projektgenehmigungsverfahren) beeinflussen auch wirtschaftliche Veränderungen das Projekt erheblich. Anders als beispielsweise bei grossen Verkehrsinfrastrukturprojekten werden Vorhaben im Bereich der Stromproduktion marktwirtschaftlich bewertet und entsprechend beurteilt. Es versteht sich von selbst, dass die Projektbewertungen über Konzessionszeiträume von bis zu 80 Jahren äusserst anspruchsvoll und mit grossen Unsicherheiten behaftet sind. In Kombination mit den langwierigen Planungs- und Verfahrensdauern können sich Veränderungen der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen so hemmend auf den Projektentwicklungsprozess auswirken. In der zweiten Hälfte des letzten

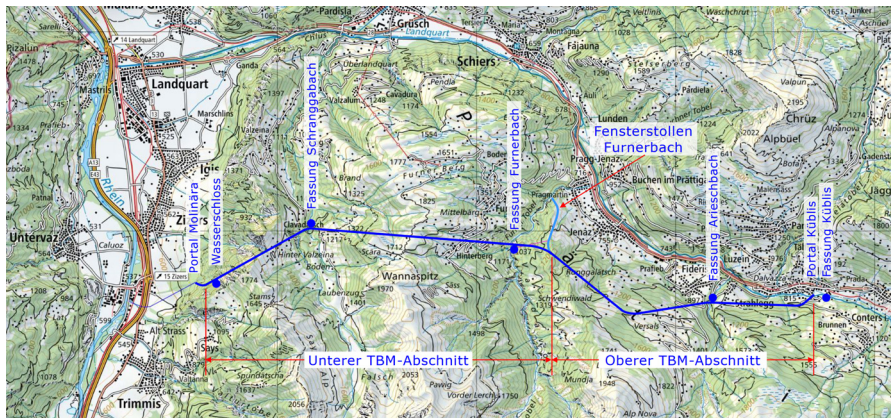
Wasserkraftprojekt Chlus • Projektentwicklung aus den Perspektiven Bauherrschaft und Projektverfasser

Jahrzehnte führten niedrige Strompreise dazu, dass das Projekt Chlus vorübergehend gestoppt wurde. Erst nachdem sich die Lage an den Strommärkten wieder etwas entspannte sowie Massnahmen zur Förderung von Erneuerbaren Energien eingeführt wurden, entschied sich die Bauherrschaft im Jahr 2022 mit der Weiterführung der Projektierungsarbeiten, welche zuvor auf Stufe Vorprojekt unterbrochen wurden.

3. Triebwassersystem KW Chlus

3.1. Übersicht

Der untertägige Triebwassersweg zwischen Küblis im Prättigau und Molinära bei Trimmis umfasst ein komplexes Stollen- und Schachtsystem, bestehend aus einem über 16 km langen Druckstollen, vier Vertikalschächten mit bis 290 m Tiefe, einem Wasserschlosssystem sowie diversen Anschluss- und Zugangsstollen. Neben langen TBM-Vortrieben werden kürzere Abschnitte konventionell im Sprengverfahren erstellt. Der Ausbruch der Vertikalschächte mit Tiefen von rund 70–290 m ist im Raise-Drill-Verfahren geplant mit konventioneller Aufweitung wo erforderlich. Die technische Projektentwicklung erfolgte kollaborativ mit Fachspezialisten aus den Disziplinen Untertagbau, Geologie, Hydraulik, Wasserbau, resp. Stahlwasserbau und in ständiger und enger Abstimmung mit der Bauherrschaft.



Quelle: swisstopo / AFRY Schweiz AG

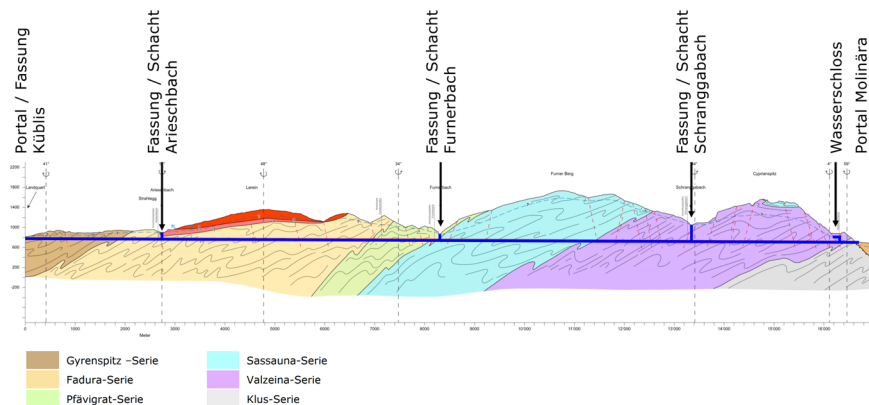
2 Situation Triebwassersystem KW Chlus

3.2. Linienführung

Die definierte Linienführung resultierte als Bestvariante aus einer Vielzahl von Varianten, welche technisch und wirtschaftlich analysiert wurden. Mit lediglich einem Angriffsort ist ein langer Druckstollenabschnitt aufgrund der langen Bauzeit und den hohen Anforderungen an die Arbeitssicherheit kaum realisierbar. Deshalb wird die Erstellung des Druckstollens unterteilt in zwei kürzere Abschnitte, welche zeitgleich und unabhängig voneinander ausgeführt werden. Bei der Wahl der Linienführung ist die Festlegung der Hauptangriffspunkte für die TBM-Vortriebe von zentraler Bedeutung. Hierfür bieten sowohl die Region Molinära wie auch das Furnerbachtal bei Pragg-Jenaz gute Voraussetzungen. Beide Standorte sind bereits heute erschlossen und lassen einen temporären Ausbau der Erschliessungswege für die Bauphase zu.

3.3. Geologie und Hydrogeologie

Der Druckstollen durchörtert insgesamt sechs geologische Serien der nordpenninischen Schiefer- und Flysch-Decke. Die Serien sind charakterisiert durch Wechsellagerungen aus Kalken, Mergeln und Tonschiefern mit variierenden Anteilen von Serie zu Serie. Als Störzonen gibt es zum einen stark zerscherte Bereiche, welche aus ausgewalzten Tonschiefern und teilweise zerbrochenen, plattigen Sandkalk- bzw. Kalksandsteinen bestehen und zum anderen die Valzeina-Formation, welche vorwiegend aus Tonschieferlagen besteht. Generell gilt das Gebirge entlang des Druckstollens infolge der Tonanteile als mehrheitlich dicht.



3 Geologisches Längsprofil Druckstollen

Quelle: BTG Büro für Technische Geologie AG / AFRY Schweiz AG

4. Druckstollen

4.1. Innendurchmesser Druckstollen

Der TBM-Ausbruchdurchmesser beim Triebwasserstollen wird definiert durch die hydraulischen Anforderungen der späteren Nutzung als Druckstollen sowie durch die bauleistungsbedingten Bedürfnisse während der Bauphase. Die hydraulischen Mindestanforderungen an

den Innendurchmesser des Stollens betragen 3.0–3.5 m. Diese Größenordnung ist für einen effizienten und sicheren Stollenvortrieb nicht auskömmlich. Eine leistungsfähige Baulegistik erfordert eine Stollenbahn sowie die Installation eines Förderbandes. Zur

Frischluftversorgung sind zwei Lutten mit je einem Durchmesser von 1.5m notwendig. Somit werden die baubetrieblichen Anforderungen zum treibenden Faktor bei der Wahl des minimalen Stollendurchmessers. Unabhängig des TBM-Typs wurde ein minimaler Innendurchmesser von 4.4m definiert.

4.2. Oberer Druckstollenabschnitt

Der obere TBM-Abschnitt hat eine Länge von 8'380m und erstreckt sich anfangs als «Fensterstollen Furnerbach» und ab dem Zusammenschluss mit dem unteren Abschnitt als «Druckstollen Furnerbach-Küblis» bis nach Küblis. Als Vortriebsmethode ist eine Gripper-TBM vorgesehen. Mit diesem Vortriebskonzept lassen sich die baulichen Massnahmen flexibel den örtlichen Bedingungen anpassen, der Einbau der Felssicherung sowie der Verkleidung richtet sich nach dem effektiven Bedarf und variiert entlang der Stollenlänge. Die Gripper-TBM ist mit einem Ausbruchdurchmesser von 4.8m geplant. Der Ausbruch erfolgt steigend mit 0.3%, was eine gravitäre Entwässerung bis zum Portal Fensterstollen ermöglicht.

Als Sicherungs- und Verkleidungsmassnahmen sind Anker, Netze, Spritzbeton sowie ein Sohlrüttling vorgesehen. Falls erforderlich werden lokal Gitterträger und Spiesse eingesetzt. Die permanente Verkleidung besteht aus einer zusätzlichen, bewehrten Spritzbetonschale. Die gesamte Gewölbbestärke variiert in Abhängigkeit der Sicherungsklassen und reicht 12–20 cm. Die Stollenverkleidung ist als drainiertes System konzipiert. Durch eine systematische Perforation wird der Aussenwasserdruck im entleerten Zustand entspannt.

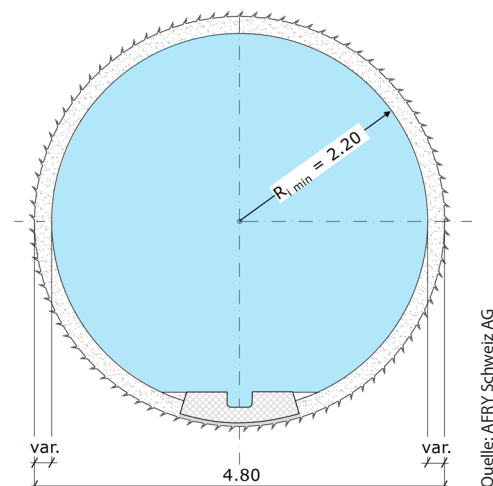
4.3. Unterer Druckstollenabschnitt

Die geologischen Bedingungen im 8'990m langen Abschnitt «Molinära-Furnerbach» sind infolge der dominant vorkommenden Valzeina-Serie mit hohem Anteil Tonschiefer, tiefen Gebirgsfestigkeiten und hohem Sicherungsaufwand weniger günstig, verglichen mit dem oberen Abschnitt. Die anstehenden geologischen Bedingungen verlangen auf dem 5'000m langen Streckenabschnitt in der Valzeina-Serie eine Ort betonverkleidung oder ein Tübbingausbau. Aus Risikoüberlegungen sowie aus terminlicher und wirtschaftlicher Sicht wird ein TBM-Vortrieb mittels Schildmaschine mit komplettem Tübbingausbau als die bevorzugte Vortriebsmethode vorgesehen.

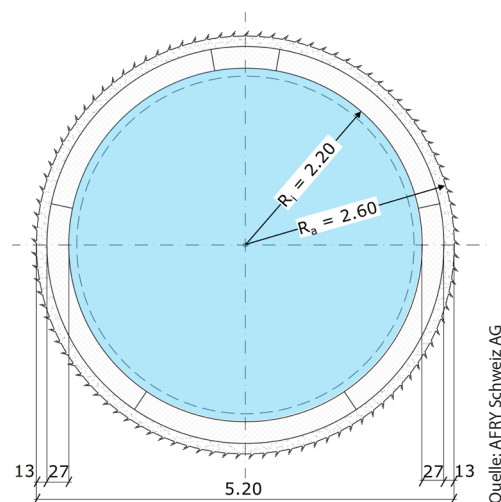
Der Ausbruchdurchmesser der Schild-TBM beträgt 5.2m. Über den gesamten Stollenabschnitt werden Tübbingelemente von 27 cm Stärke eingebaut. Der Ringspalt wird kraftschlüssig mit Mörtel verpresst. Der Ausbruch erfolgt steigend ab Molinära mit 0.55%. Das Verkleidungssystem ist als drainiertes System konzipiert ohne Anspruch auf Dichtheit der Fugen zwischen den Tübbing-Segmenten. Ringspalt wird kraftschlüssig mit Mörtel verpresst. Der Ausbruch erfolgt steigend ab Molinära mit 0.55%. Das Verkleidungssystem ist als drainiertes System konzipiert ohne Anspruch auf Dichtheit der Fugen zwischen den Tübbing-Segmenten.

5. Ausblick

Das Projekt befindet sich aktuell in der entscheidenden Phase bezüglich des noch offenen Bauentscheids der Bauherrschaft. Mit Abschluss des Bauprojekts wird die inzwischen mehrere Jahre alte Kostenschätzung aus dem Vorprojekt durch den neuen Kostenvoranschlag ersetzt. Basierend auf der Weiterentwicklung des Projekts wird die Wirtschaftlichkeit neu beurteilt während gleichzeitig die kommenden Projektphasen vorbereitet werden können.



4 Normalprofil Gripper-TBM, oberer Druckstollen



5 Normalprofil Schild-TBM, unterer Druckstollen

PROJEKTDATEN

Region

Prättigau/Landquart, Kanton Graubünden

Bauherr, Projektleitung

Repower AG

Planung

AFRY Schweiz AG

Ausführung

offen

Kenndaten

Bauzeit: 5 Jahre

Inbetriebnahme: frühestens 2032

Baukosten Tunnel: über CHF 200 Mio.

Gesamtlänge: ca. 19 km

Ausbruchquerschnitt: 4.8 m (oberer Abschnitt) / 5.2 m (unterer Abschnitt)

Besondere Merkmale

2 Druckstollenabschnitte mit unterschiedlicher Vortriebsart (Gripper-, bzw. Schild-TBM)

Filippo Gianelli, MSc Civil Engineer, Pini Group SA, Lugano/CH

Gianluca Bella, PhD Geotechnical Engineer, Pini Group SA, Lugano/CH

Matteo Falanesca, MSc Geotechnical Engineer, Pini Group SA, Lugano/CH

Alessandro Flematti, MSc Geotechnical Engineer, Pini Group SA, Lugano/CH

Davide Merlini, MSc Civil Engineer, Pini Group SA, Lugano/CH

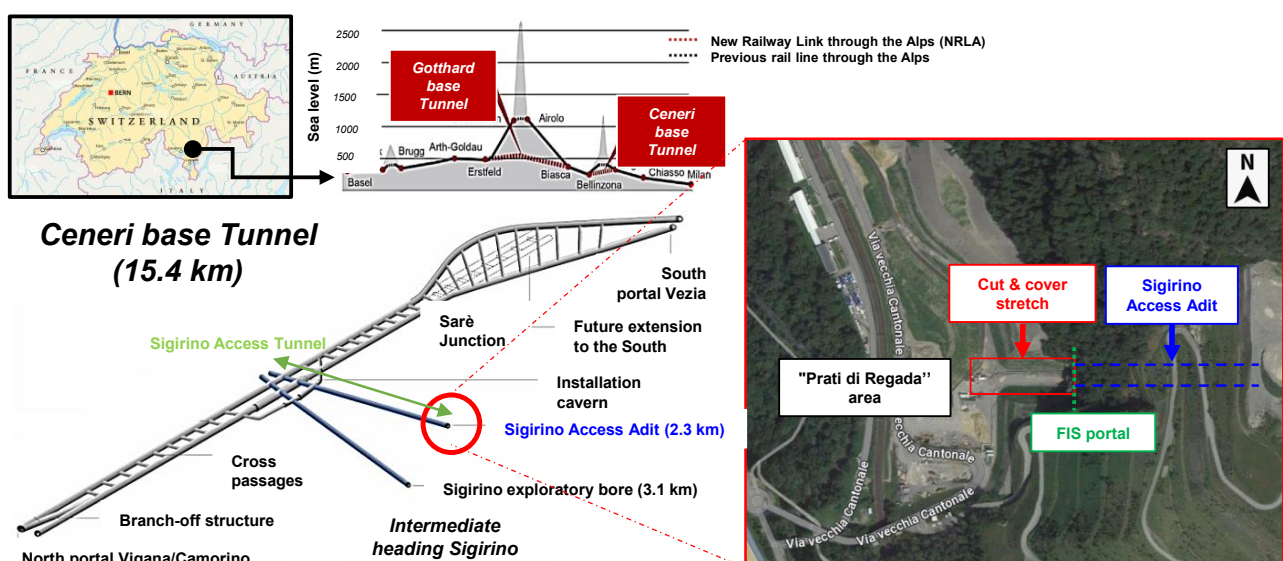
Sigirino Access Tunnel (CBT)

Geotechnical and Design Challenges

This paper focuses on the Sigirino Access Tunnel, which provides regular maintenance access to the Ceneri Base Tunnel. Focusing on the cut&cover section of the tunnel, the main design, geotechnical risks, and challenges encountered during the project and construction are described. The measures taken to minimize settlements and the main results of an extensive monitoring campaign are given.

1. Introduction and Main Challenges of the Project

The Ceneri Base Tunnel (CBT) is the southern part of the New Railway Link through the Alps (NRLA), crossing the Swiss Alps from North to South. The NRLA is designed to create a continuous flat-rail connection from Basel to Milan, aimed at reducing travel times, increasing the efficiency and sustainability of freight traffic, and connecting Switzerland to the European high-speed railway network. Within this frame, the CBT is a new 15.4 km long tunnel connecting the Swiss cities of Lugano and Bellinzona (Figure 1). It consists of a north portal (Vigana), the main section with the intermediate heading (Sigirino), a south portal (Vezia). It is made of a twin-tube system with a single-track railway tunnel linked through cross-passages spaced 325 m. The excavation of the main tunnels started in 2010 from the intermediate heading of Sigirino, and the infrastructure was opened to traffic in 2020. The Sigirino Access Tunnel represents the access for the Swiss Federal Railways personnel to carry out maintenance operations on the CBT ([1]). The Sigirino Access Tunnel consists of two stretches: the Sigirino Access Adit and a Cut&Cover Tunnel (CCT), the latter to allow continuity with the outside even once the Sigirino deposit is completed (Figure 1). Connected to the Sigirino Access Adit, the CCT is partially realized on deformable, saturated cohesive soils and partially built on good-quality rock mass. This paper presents the main geotechnical challenges associated with the design and construction phase of the new “Sigirino Access Tunnel”, together with monitoring results. The main challenges of the project mainly consist of: 1) realization of a concrete structure based on deformable soils in saturated conditions where differential settlements are expected; 2) estimation of the settlements before the construction of the CCT; 3) identification of technical solutions to minimize the expected settlements below the CCT and below the existing railway line in operation to guarantee structural safety and serviceability limit-state requirements.



1 The layout of NRLA project and view of the new Sigirino Access Tunnel (CBT).

Zugangsstollen Sigirino (Ceneri Basistunnel)

Geotechnische und konstruktive Herausforderungen

Dieses Paper erläutert die wichtigsten konstruktiven Herausforderungen bei der Ausführung des in offener Bauweise konstruierten Sigirino-Zufahrtstunnels sowie die dabei angewandten technischen Lösungen. Dabei werden die Massnahmen vorgestellt, die ergriffen wurden, um Setzungen zu minimieren, ebenso wie die Ergebnisse einer Überwachungskampagne sowie ein Vergleich zwischen den erwarteten und tatsächlich aufgetretenen Setzungen. Die Gesamtkosten des Vorhabens belaufen sich auf 21 Mio. CHF und werden vollständig von der Schweizer Bundesbahn (SBB-CFF-FFS) getragen. Die Arbeiten begannen im Mai 2022 und endeten im Dezember 2024 erfolgreich mit der Inbetriebnahme des Tunnels.

Galleries d'accès Sigirino (tunnel de base du Ceneri)

Défis géotechniques et conceptuels

Ce document présente les principaux défis en matière de conception et les solutions techniques adoptées pour la construction en tranchée couverte du tunnel d'accès Sigirino. Il inclut une présentation des mesures prises pour minimiser les tassements, des résultats de la campagne de surveillance et une comparaison entre les tassements prévus et réels. Les frais de construction totaux du projet s'élèvent à CHF 21 millions et sont entièrement pris en charge par les Chemins de Fer Fédéraux Suisses (SBB-CFF-FFS). Les travaux ont démarré en mai 2022 et ont été achevés avec succès en décembre 2024.

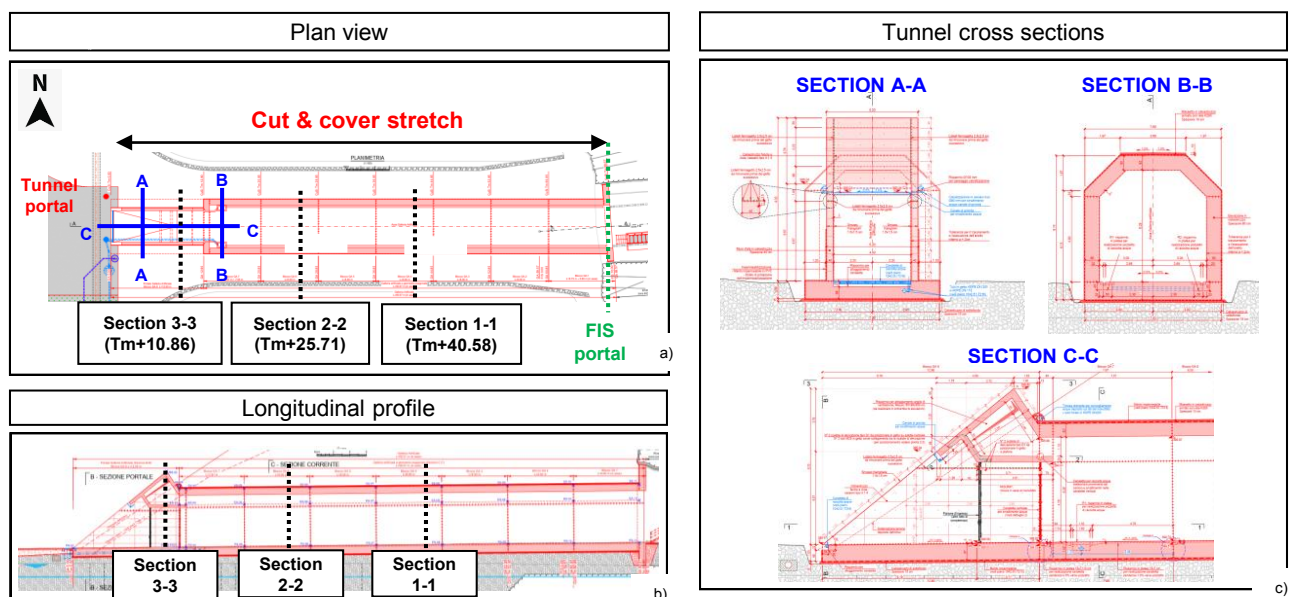
Cunicolo di accesso di Sigirino (GbC)

Sfide geotecniche e progettuali

L'articolo presenta le principali sfide progettuali e le soluzioni tecniche adottate nella costruzione del tunnel cut&cover del cunicolo di accesso di Sigirino. Si espongono inoltre le misure volte a minimizzare i cedimenti delle opere coinvolte, i risultati di una campagna di monitoraggio e un confronto tra i cedimenti previsti e quelli effettivi. Il costo complessivo dell'opera ammonta a 21 milioni di franchi, interamente finanziato dalle Ferrovie Federali Svizzere (SBB-CFF-FFS). I lavori sono iniziati a maggio 2022 e sono stati completati con successo a dicembre 2024.

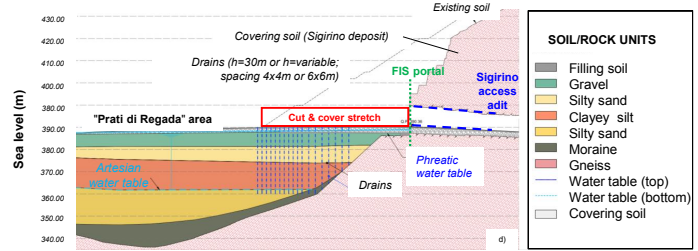
2. Cut&Cover Tunnel and Geotechnical Characterization

The cut&cover stretch of the Sigirino Access Tunnel is a 68.00 m long reinforced concrete structure made of hexagonal section (maximum height = 6.15 m, net width = 6.00 m, slab thickness = 1.00 m, elevation thickness = 0.80 m), and rectangular sections close to the portal (height = 4.80 m, internal width = 4.40 m; slab thickness = 1.00 m, elevation thickness = 0.40 m, Figure 2 a,b,c). Based on a proper number of boreholes and proceeding from the top to the bottom, the cut&cover stretch lies on a shallow layer of "organic soil", "filling soil", "gravel" where the main aquifer is expected, "silty sand" and "fluvio-lacustrine deposits", "clayey silt" with fine sand and lacustrine deposits, "deep silty sand" of fine compact silty sand and glacio-lacustrine deposits, "moraine" made of

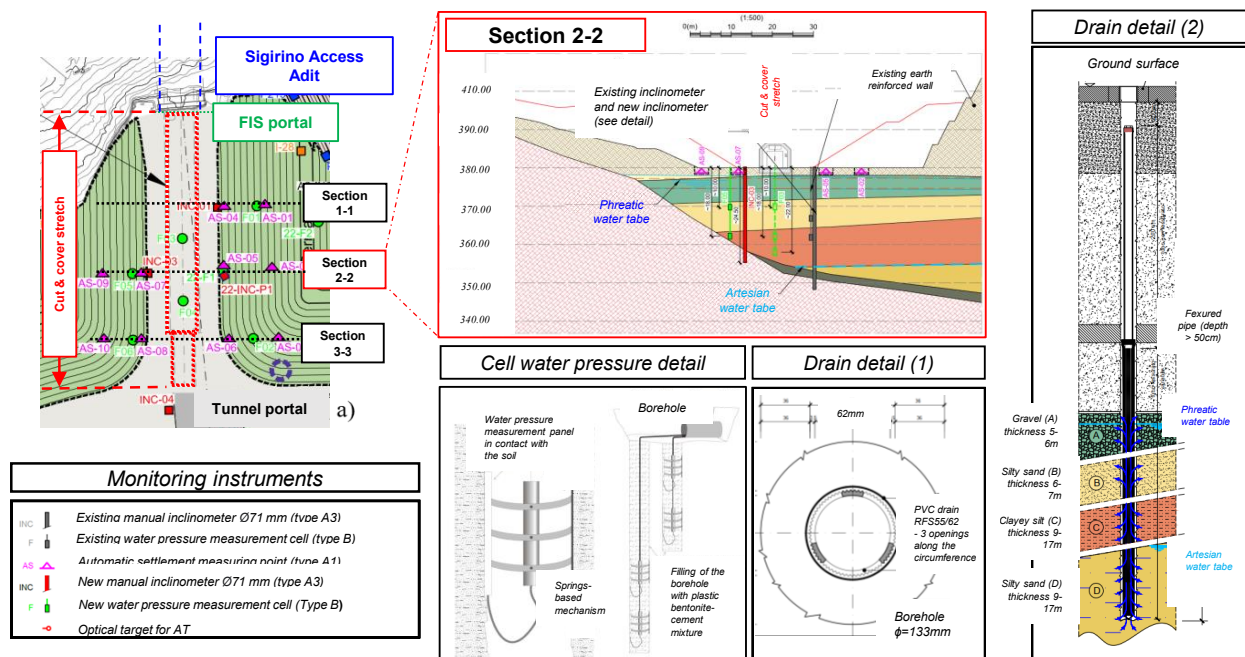


2 Sigirino Access Tunnel, cut&cover section: a) general plan, b) longitudinal profile, c) standard cross-sections.

gravely sand with silt and moraine deposits, “gneiss”. A rock outcrop is identified close to the FIS portal (Figure 2d). Then, an extensive in-situ test (Flat Dilatometer, Cone Penetration Tests), as well as laboratory test (Compression/Extension Triaxial Test, Direct Simple Shear Tests, Oedometer Tests) allowed the estimation of the hydraulic conductivity, shear strength, deformability properties and consolidation coefficients of the geological units revealing a certain anisotropy ([2, 3]). An upper water table was identified at 386.00 m.a.s.l, while a lower water surface was expected at 360.00 m.a.s.l so that all the soil units were expected to be in saturated/unsaturated conditions. The saturation state, poor deformability properties of the soils, non-homogenous layering along the longitudinal direction, and the filling loads to be realized above the CCT led to identifying the static liquefaction and differential settlement occurrence as the main issues during the construction and operational life of the cut&cover stretch of the Sigirino Access Tunnel.



2 d) Geological cross-section and soil/rock units along the axis.



3 Plan view of the monitoring system and details.

3. Monitoring System

An extensive monitoring system has been implemented to evaluate settlements and excess pore water pressure with depth before and during the CCT construction (Figure 3). Vertical displacements were automatically measured by the installation of a continuous monitoring system consisting of assestimeters placed below the CCT slab at three cross sections at different distances from the tunnel portal, respectively Section 1–1 (distance Tm+40.58), Section 2–2 (distance Tm+25.71), and Section 3–3 (distance Tm+10.86).

Parameter/option	Option n.1	Option n.2	Option n.3
Cost saving	1.0	2.5	3.0
Environmental impact	1.0	2.0	2.0
Safety	1.0	1.0	3.0
Feasibility	1.0	2.0	3.0
Durability/Maintenance	1.0	2.0	2.0
Total score	1.0	1.9	2.6

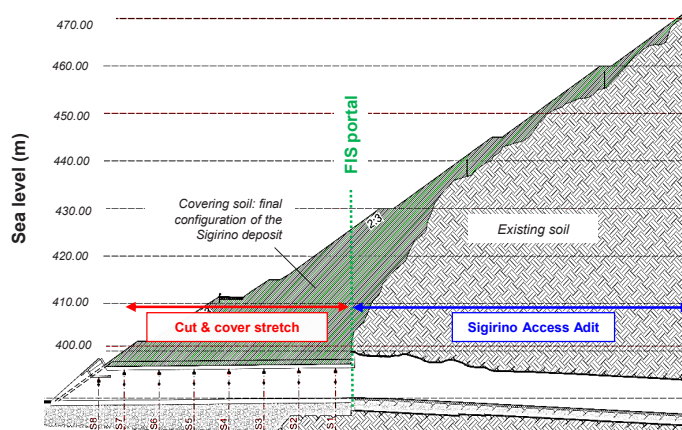
Table 1 Multicriteria comparison between the intervention measures (1.0: 'good' -> 3.0: 'poor').

Settlements were assessed regarding a “fixed point” based on rock and far from the Sigirino access gallery. The system was integrated by periodical optical targets installed inside the CCT, continuous automatic measurements given by piezometers, inclinometers, and cell water pressures placed into boreholes at different depths.

4. Technical Solutions for Excess Pore Pressure and Settlement Reduction

Approximately 1300 vertical PVC drains $\varnothing_{\text{external}}=65$ mm, $\varnothing_{\text{internal}}=55$ mm, spacing: 3.0×3.0 m / 4.0×4.0 m / 6.0×6.0 m or 8.0×8.0 m, depth: 23–60 m were installed ([3]). They allowed excess pore pressure dissipation during the construction phase, or in case of extreme rainfall, thus preventing bearing capacity reduction due to temporary shear strength loss or excessive settlements, the latter representing a key aspect for Serviceability Limit State checks of structures ([4]).

Some measures were analyzed and compared to minimize the settlements below the CCT. The first option consisted of ‘pre-lateral loads’: the ground would be loaded with a uniformly distributed load consisting of earth-compacted embankments raised step-by-step over time before and during the CCT construction. The construction of deep foundations (‘drilled piles’ below the foundation slab) until reaching the rock mass bedrock has been considered as option n.2. Finally, the injection of cement grout at high pressure in the soil after vertical drilling (‘jet grouting’) was the third option. The above solutions have been compared and weighted in terms of costs, environmental impact, safety level, feasibility, and durability (Table 1). The first option was recognized as the best technical solution since it provided the best score for all the analyzed criteria. The adopted loading sequence mainly consisted of five phases (Table 2) until reaching the final configuration (Figure 4).



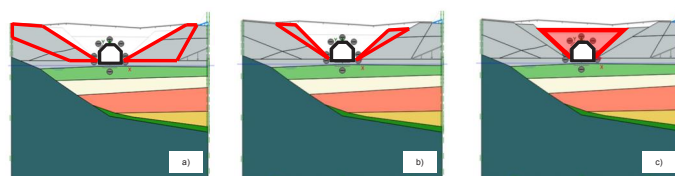
4 Final configuration of the Sigirino deposit.

Phase n.	from	to	Description	Figure
1	September, 2020	March, 2021	Execution of the lateral pre-loads both at the North and South sides of the artificial gallery to be realized.	5a
2	April, 2023	June, 2023	Execution of the lateral pre-loads both at the North and South sides of the artificial gallery to be realized.	5b
3	September, 2023	October, 2023	Cut&Cover Tunnel construction. Execution of the lateral pre-loads at the North/South side (from Tm+0.00 to Tm+44.00), until reaching +402.00 m.a.s.l.	5c
4	January, 2024	February, 2024	Execution of the lateral pre-loads at the North/South side, and above the Cut&Cover Tunnel segments already realized (from Tm+44.00 to Tm+68.00), until reaching +402.00 m.a.s.l.	5c
5	February, 2024	October, 2024	Completion of the final deposit	–

Table 2 Loading phases.

5. Numerical Analysis

The analyses were performed by using the code Plaxis2D (Version 21.01.00.479), and the bi-dimensional model was constrained by rollers on the vertical edges and hinges on the lower edge. Finite Element analyses (FE) were carried out under plane strain conditions at different relevant sections from the tunnel portal. Drained conditions were assumed because of the presence of vertical drains. The soil was discretized then by triangular meshes, while Mohr-Coulomb or Hardening-Soil constitutive law were adopted for rock units and soil, respectively (Table 3). The installation of lateral preloads was simulated by applying overloads at different steps (Figure 5).



5 Pre-load phases at section 2–2. Red polygons represent the pre-loads near and above the Sigirino artificial tunnel: a) phase n.1; b) phase n.2; c) phase n.3 and phase n.4–5.

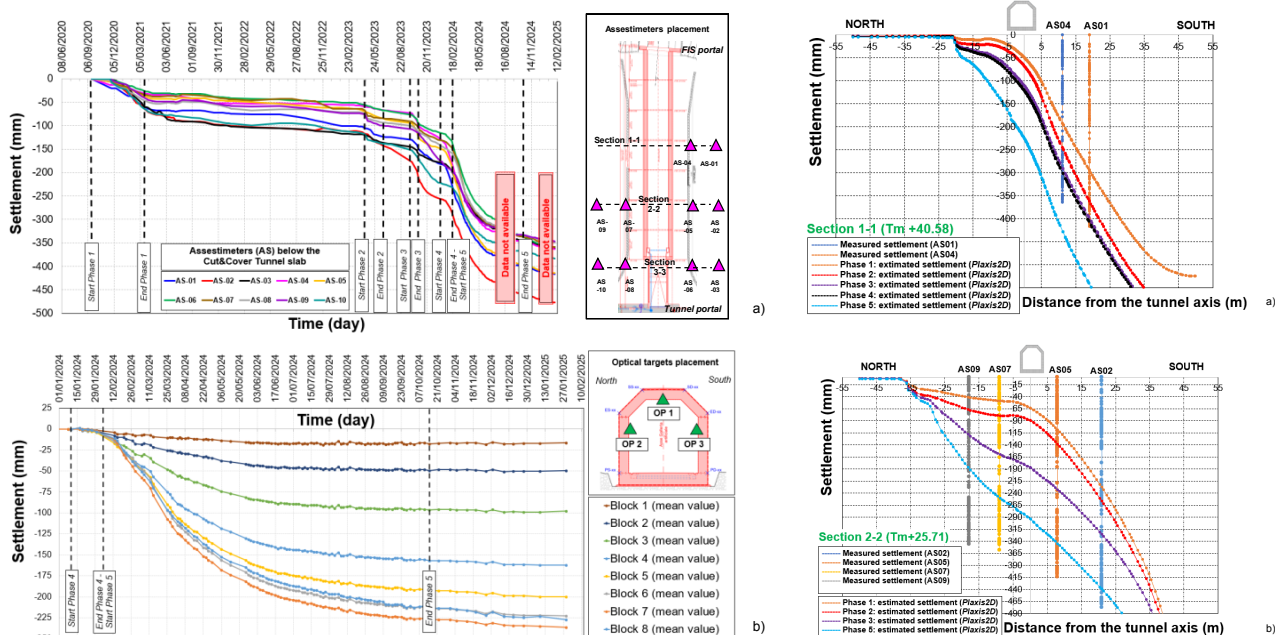
6. Results and Status of the Work

Displacement over time – measured by assestimeters installed under the CCT slab and by optical targets installed inside the CCT – highlights a relevant settlement developed during each loading phase, i.e. ‘immediate settlements’ and ‘consolidation

Properties	Filling soil	Gravel	Silty sand	Clayey silt	Silty sand	Moraine	Gneiss
Cohesion, c' (kPa)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	5.0	1000
Friction angle, φ (°)	37	38	33	20	35	38	40
Unit volume weight, γ (kN/m ³)	22	20	19	19	20	20	27
Coeff. of earth pressure at rest, k_0 (NC) (-)	0.39	0.38	0.45	0.65	0.42	0.38	0.7
Elastic modulus, E_{50}^{ref} (MPa)	100	75	35	5	35	78	5000
Oed. elastic modulus, E_{oed}^{ref} (MPa)	100	75	35	5	35	78	–
Unloading-reloading elastic modulus, E_{ur}^{ref} (MPa)	200	150	70	20	70	170	–
Power, m (-)	0.20	0.50	0.60	0.60	0.50	0.30	–
Reference pressure, p_{ref} (kPa)	100	100	100	100	100	100	–
Failure ratio, R_f (-)	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	–
Min. mean effective stress, p_{lim} (kPa)	10	10	10	10	10	10	–
Poisson ratio, ν (-)	0.20	0.27	0.32	0.33	0.30	0.27	0.20
Hydraulic conductivity, k (m/day)	10^{-4}	10^{-3}	10^{-5}	10^{-8} – 10^{-9}	10^{-6}	10^{-6}	–

Table 3 Geotechnical properties of the soil/rock units.

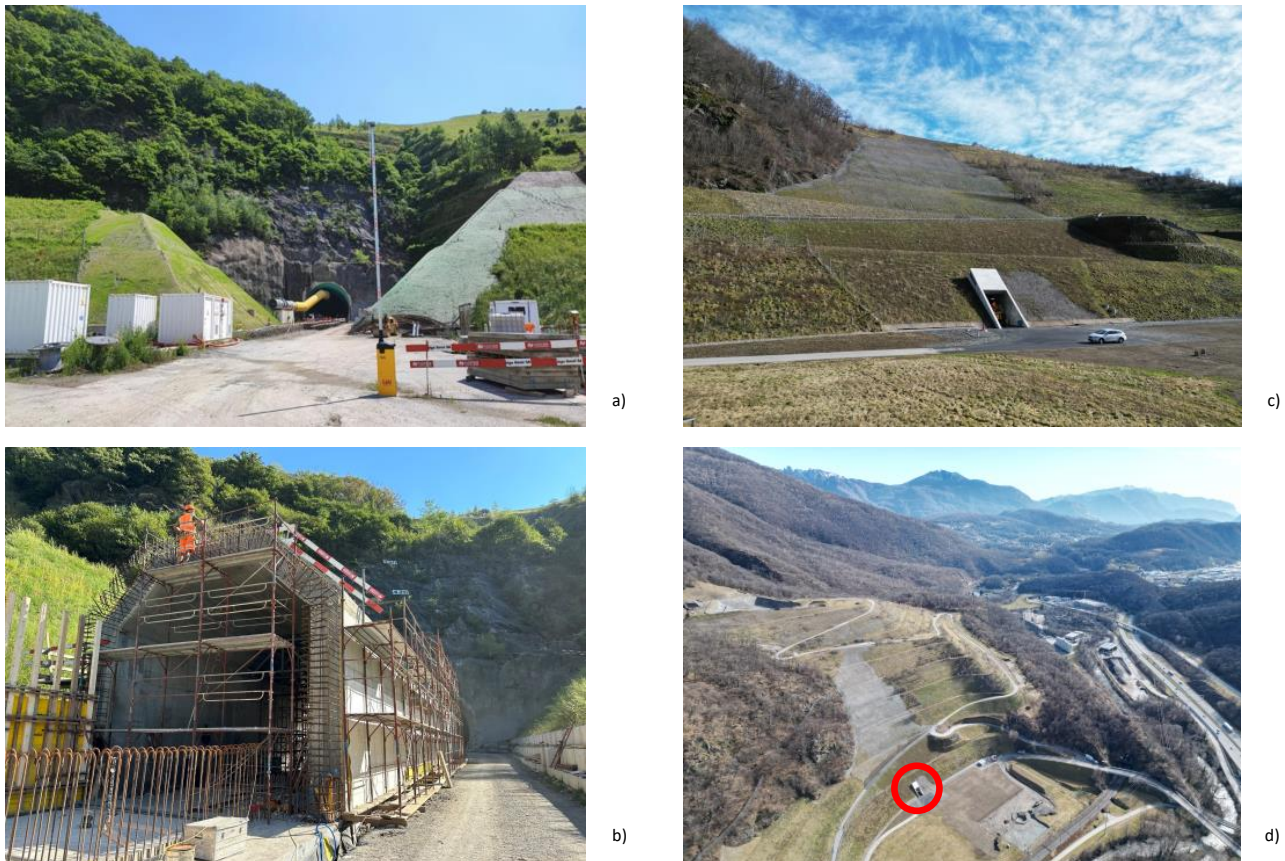
settlements' (Figure 6a, b). When no loads are applied, i.e. between phase $n-1$ and phase n , it follows a certain stabilization where displacement due to viscosity under constant effective stress ('secondary settlements'). A comparison between the estimated settlement provided by the FE analyses models and the measured ones at cross section 1–1 and section 2–2 is given (Figure 7a, b). The curved lines represent settlements obtained by the FE analyses at the end of each phase. A certain accordance between



6 a/b) Measured settlements over time: assestimeters (AS01–AS10) and periodical optical target readings (OT01–OT08) inside the Cut&Cover Tunnel.

7 a/b) Comparison between measured settlements and predicted settlements at each loading phase: cross section 1–1 and cross section 2–2.

estimated and measured settlements can be appreciated, especially for Section 1–1. A possible reason for the scatter between measured and estimated data in Section 2–2 could be addressed by considering the influence of 3D effects. FE calculations are performed as bidimensional analyses, therefore 3D effects due to load conditions and geological heterogeneity, are expected not to be considered. The maximum settlement values detected since the construction of the CCT are approximately 25 cm. In terms of absolute settlements, the actual settlements were about 20% higher than those estimated by the calculation; conversely, in terms of differential settlements, the actual settlements were lower than those predicted by the calculation model. The contract was tendered by Ferrovie Federali Svizzere for 16 Mio CHF. All works started in September 2020 with successfully commissioned in October 2024 (Figure 8).



8 a) Pre-load phase n.2; b) construction of the artificial tunnel portal; c) final configuration; d) aerial view.

7. Conclusion

This paper presents the main geotechnical challenges associated with the construction of the Sigirino access tunnel. Since the structure is realized on fine-grained, saturated soil layers where differential settlements are expected, technical solutions were adopted to avoid the occurrence of static liquefaction and to minimize vertical displacement. An efficient drainage system was realized, and pre-loads were installed before and during the tunnel's staged construction. Measuring data are compared with numerical results, thus confirming the importance of the observational method.

References

- [1] Merlini, D., Stocker, D., Falanesca, M., Schuerch, R. (2017), "The Ceneri Base Tunnel: Construction Experience with the Southern Portion of the Flat Railway Line Crossing the Swiss Alps", Engineering. Volume 4, pp. 235–248.
- [2] Steiner, W. (2012), "Characterization of soft glacial soils: a tricky business". Proc. 4th Int. Conf. on Geotechnical and Geophysical Site Characterization, ISC' 4, Pernambuco, Brazil, Taylor & Francis.
- [3] Steiner, W., Irngartinger, S., Martinenghi, T., Guandalini, S., Winter, M.G., Smith, D.M., Elder, P.J.L., Toll, D.G. (2015), "Construction of a deposit of tunnel muck on soft soil", Geotechnical Engineering for Infrastructure and Development, pp. 1–6.
- [4] Larsson, R.L. (1998), "Calculation of Settlements of Shallow Foundations on Sand and Silt Based on In Situ Test Result", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. Volume 1614, pp. 15–23.

PROJECT KEY DATA

Region

Canton Ticino

Client

Swiss Federal Railways (SBB-CFF-FFS)

Design, site supervision and overall construction management

- Design consultancy services: Pini Group SA
- Site supervision: Project Partners Ltd Consulting Engineers

Contractor for the Civil Works

Joint Venture “Consorzio FFS Sigirino” composed by: Ugo Bassi SA, Impresa Luigi Notari (Suisse) SA, Rofer SA, Ecorecycling SA

Key data

Construction period:	2022–2024
Start of operations:	2025
Construction costs of civil works:	CHF 12 Mio
Total construction cost:	CHF 21 Mio
Length:	Total length: 2.3 km, of which 70 m for the cut&cover tunnel
Cut&Cover tunnel Cross section:	approx. 57 m ²

Special features

Cut&Cover tunnel, soil-structure interaction, settlements

Michal Benovic, Dipl.-Ing., Frutiger AG, Thun/CH

Daniel Fanger, dipl. Bau-Ing. ETH, Tiefbauamt Kanton Obwalden, Kerns/CH

Jasmin Amberg, MSc ETH Bau.-Ing., Amberg Engineering AG, Regensdorf/CH

Daniel Kohler, dipl. Bau-Ing. ETH/SIA, Frutiger AG, Thun/CH

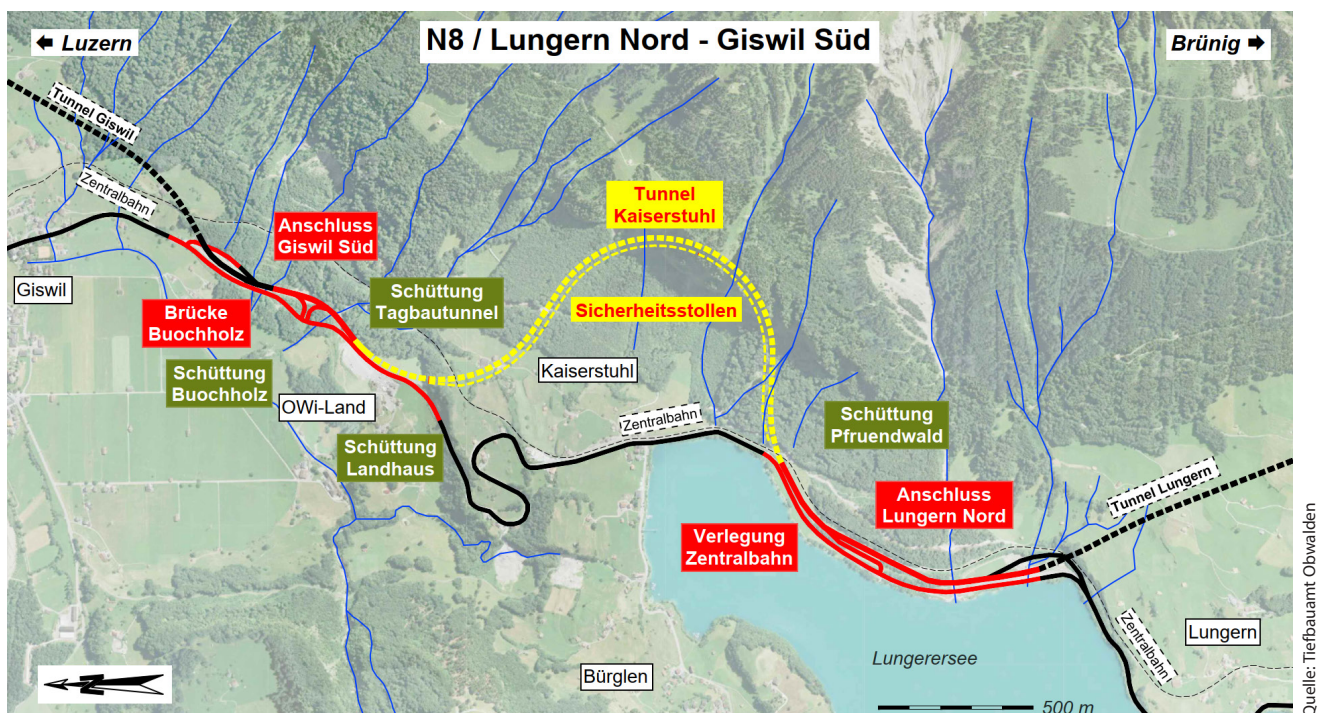
Tunnel Kaiserstuhl

Bautechnische Herausforderungen in der Lockergesteinsstrecke mit Jetting

Der Tunnel Kaiserstuhl schliesst die letzte Lücke der Nationalstrasse N8 im Kanton Obwalden. Eine grosse bautechnische Herausforderung ist der Abschnitt im Lockergestein, der aufgrund der Geologie besondere Massnahmen erfordert und hohe Anforderungen an Projektierung und Ausführung stellt. Massgebender Bestandteil des Vortriebskonzepts ist der Einsatz von Jetting. Die Fertigstellung ist für 2029 geplant.

1. Projektübersicht

Die N8 verbindet das Berner Oberland mit der Zentralschweiz und führt von Spiez nach Hergiswil. Für den Kanton Obwalden ist sie die Hauptschlagader vom Brünig in den Raum Luzern. Seit 1984 erfolgt der schrittweise Ausbau. Mit dem Projekt «N8 Lungern Nord / Giswil Süd mit Tunnel Kaiserstuhl» wird die letzte Lücke im Nationalstrassennetz des Kantons zwischen Giswil Süd und Lungern Nord geschlossen. Das Gesamtprojekt umfasst diverse Anpassungen am offenen Trasse sowie verschiedene Kunstbauten und Geländemodellierungen (Bild 1).



1 Übersicht Gesamtprojekt N8/Lungern Nord – Giswil Süd mit Tunnel Kaiserstuhl

1.1. Ziele des Projekts

Naturgefahrenereignisse im Abschnitt zwischen Giswil und Lungern unterbrechen wiederholt die Hauptverbindungsstrasse des Kantons. Mit dem Tunnel Kaiserstuhl wird dieses Risiko für die Nationalstrasse eliminiert. Ausserdem erhöht die Trennung von National- und Kantonsstrasse die Verkehrssicherheit und schafft eine redundante, leistungsfähige Verbindung. Das Projekt ermöglicht zahlreiche ökologische Massnahmen für den Amphibienschutz, die Wiederherstellung von Tierwanderkorridoren und

Tunnel de Kaiserstuhl

Défis de construction dans le tronçon en roche friable avec jet grouting

Le dernier segment manquant de la route nationale A8 dans le canton d'Obwald va être comblé par le tunnel de Kaiserstuhl, long de 2,1 km. L'avancement conventionnel au sud d'environ 190 m traverse le tronçon complexe en roche friable dans l'éboulis de ravine. L'emploi de jet grouting en tant que procédé de construction en amont forme la base du concept d'avancement. La méthode des éléments finis a été utilisée pour effectuer les mesures avec des superpositions jusqu'à environ 120 m. L'exécution des travaux est dominée par les questions de déroulement du travail, de gestion du reflux de jet grouting et de logistique dans un espace restreint.

Galleria di Kaiserstuhl

Sfide costruttive nella tratta in materiale sciolto con jet grouting

L'ultima tratta mancante della strada nazionale A8 nel Cantone di Obvaldo viene completata con la galleria di Kaiserstuhl, lunga 2,1 km. Al portale sud l'avanzamento in metodo convenzionale attraversa una zona molto impegnativa di 190 m nel materiale sciolto di un canale detritico. L'impiego del jetting come provvedimento preventivo di stabilizzazione è l'elemento base del progetto di avanzamento. Il dimensionamento, considerata una copertura fino a circa 120 m, è stato effettuato con il metodo FEM. Il processo esecutivo dei lavori, la gestione del reflujo di perforazione e la logistica in spazi ristretti sono state le tematiche principali della fase di realizzazione.

Kaiserstuhl Tunnel

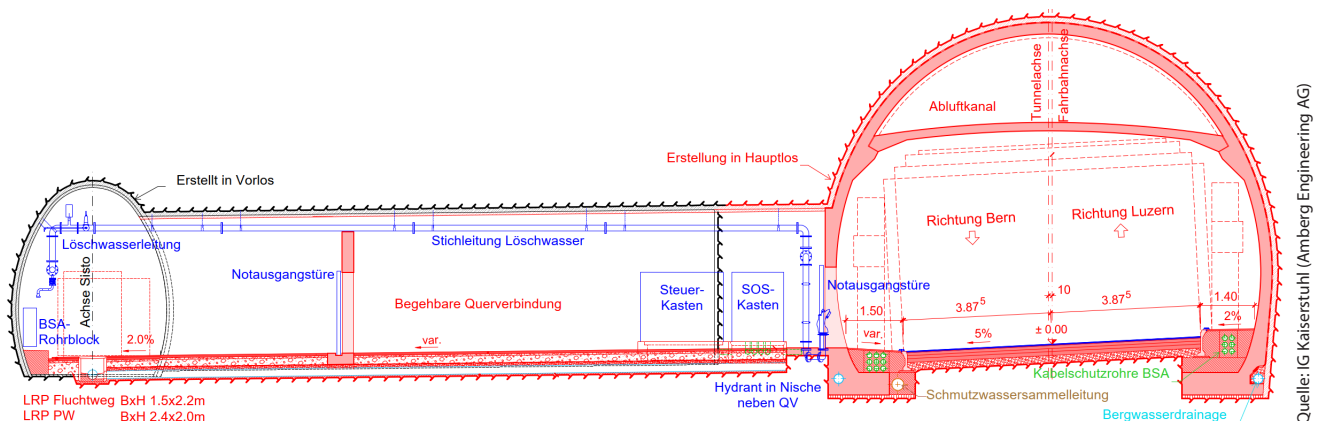
Construction-related challenges in the loose rock section with jetting

The final gap in the A8 national road in the Canton of Obwalden is being closed by the 2.1 km long Kaiserstuhl Tunnel. The conventional advancing in the south, spanning a length of approximately 190 m, leads through the challenging loose rock section in the gully rubble. The use of jetting as a pre-emptive construction supporting measure is at the centre of the advancing concept. The Finite Element Method (FEM) has been used for dimensioning with overlying formations of up to 120 m. The work process, the handling of jetting backflow and logistics in confined spaces are at the forefront of execution.

Renaturierungen. Weiter wird die Löschwasserversorgung des Tunnels mit einem neuen Trinkwasserkraftwerk verbunden, das mehr Energie produziert, als der Tunnel verbraucht.

1.2. Tunnel Kaiserstuhl

Der Tunnel Kaiserstuhl (ca. 2.1 km) ist ein zweispuriger Tunnel im Gegenverkehr. In den Drittelpunkten befinden sich beidseitige Ausstellbuchten. Anschliessend an den bergmännisch erstellten Abschnitt (1776 m) befinden sich die Tagbaustrecken Nord (225 m) und Süd (88 m). Parallel zum Tunnel verläuft der Sicherheitsstollen. Aufgrund der Steigung von 6.5% sind die elf begehbaren Querverbindungen in einem reduzierten Abstand von ca. 155 m angeordnet. Der Tunnelquerschnitt ist zweischalig aufgebaut mit einer Regenschirmabdichtung und seitlichen Drainagen. Der Tunnel verfügt über eine Zwischendecke. Für die Betriebsausrüstung sind zwei Zentralen an den Portalen und zwei unterirdische Zentralen vorhanden. Die Erschliessung im Tunnel erfolgt mittels Kabelrohrblöcken in den seitlichen Banketten sowie einem Kabelrohrblock im Sisto (Bild 2). Die Hydranten im Fahrraum werden über Stichleitungen von der Löschwasserleitung im Sicherheitsstollen erschlossen. Das Ausbruchmaterial des Tunnels wird mehrheitlich für



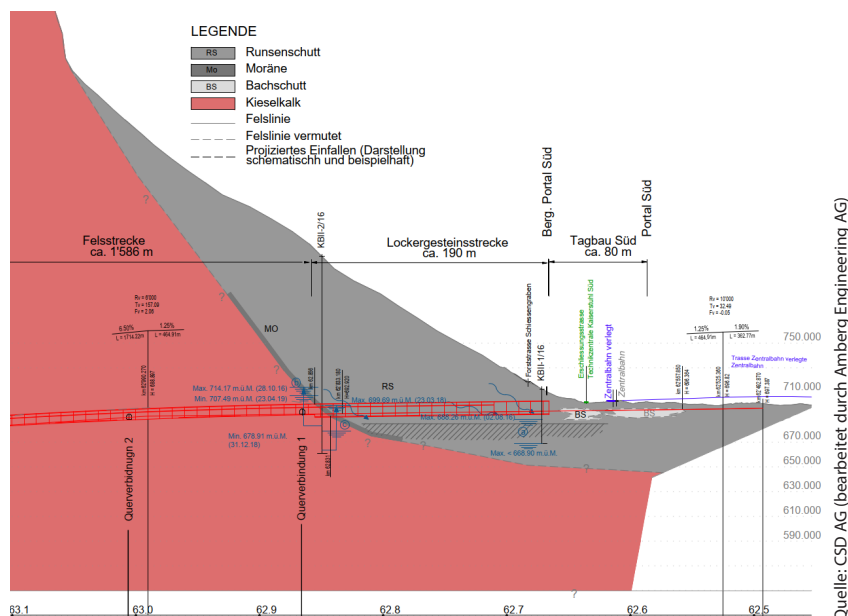
2 Querverbindung zwischen Tunnel Kaiserstuhl und Sicherheitsstollen

Schüttungen und Geländemodellierungen im Gesamtprojektperimeter wiederverwendet.

2. Planung der Lockergesteinsstrecke

Der bergmännische Abschnitt des Tunnels wird konventionell, von beiden Portalen aus, ausgebrochen. Ab Norden wird er im Sprengvortrieb im Fels (1586 m) und ab Süden mit einem maschinenunterstützten Vortrieb im Lockergestein (190 m) aufgeföhren.

Die Überlagerung in der Lockergesteinsstrecke steigt ab dem Voreinschnitt von ca. 10 m auf ca. 120 m beim Übergang zum Fels an. Der Tunnel fällt in diesem Bereich mit 1.25% Richtung Norden.



3 Übersicht Geologie Portal Süd Lockergesteinsabschnitt Tunnel Kaiserstuhl

2.1. Geologie

Im Lockergesteinsvortrieb Süd liegt hauptsächlich Runsenschutt vor, ein heterogenes Schuttmaterial (Bachschtutt, z.T. Hangschutt- und Murgangmaterial), das sich im Bereich von nacheiszeitlichen Schuttkegeln angesammelt hat. Neben meist gut sortiertem, feinkornarmem Material tritt untergeordnet bindiges Kiesmaterial mit Zwischenlagen aus tonigem bis siltigem Sand auf (Bild 3).

Die Standfestigkeit im Ausbruch ist gering mit stark nachbrüchigem resp. rolligem Verhalten. Ungestörtes, trockenes bis erdflechtes Material ist kurzfristig standfest, aber insbesondere feuchtes bis nasses, mit Feinkornanteil durchsetztes Material kann bei mechanischer Störung eine Art «fließenden» Zustand annehmen.

Die Durchlässigkeit ist sehr variabel ($k = 1 \times 10^{-2}$ bis 5×10^{-5} m/s). Zusammen mit der Wechsellagerung führt dies zu präferenziellen Fließwegen und / oder Schichtwasser und dadurch zur Vernässung und Verbreitung des anstehenden Lockergesteins (v.a. bei Schichten mit hohem Feinkornanteil). Vernässende und aufgeweichte Schichten können zu lokalen Instabilitäten und damit verbundener Auflockerung mit Auswirkung auf darüberliegende Schichten führen (geringe ME-Werte trotz grosser Überlagerung).

2.2. Erkundungsstollen

Der Vortrieb des Sicherheitsstollens wurde zeitlich vorgezogen mit dem Ziel, den Stollen zur Erkundung der geologischen Verhältnisse (z.B. Übergang Lockergestein / Fels, Verhalten des Runsenschutts im Vortrieb) für den Hauptvortrieb zu nutzen.

Der Vortrieb im Lockergestein (Ausbruchquerschnitt 17–26 m²) erfolgte konventionell mit Rohrschirm und Sicherung mittels Stahlbögen, Netzen und Spritzbeton. Die Ortsbrust wurde mit Anker, Netzen und Spritzbeton gesichert. Die geologischen Verhältnisse führten mehrfach zu Einbrüchen zwischen den Rohrschirmrohren bis hin zum Tagbruch. Ebenfalls kam es zu lokalen und globalen Instabilitäten der Ortsbrust (Bild 4). Als Massnahme wurde der Rohrschirm verdichtet, die Überlappungslänge der Etappen vergrößert, die Ortsbrustsicherung verstärkt und nach Bedarf der Ausbruchquerschnitt unterteilt mit sofortiger Trockenspritzbetonsicherung. Der Vortrieb konnte nachfolgend kontrolliert bis in den Fels geführt werden.

Aufgrund der Erfahrungen wurde entschieden, für den Hauptvortrieb einen Jettingschirm zu prüfen, um gegenüber einem Rohrschirm ein geschlossenes Gewölbe zu erhalten und das Risiko eines Materialeintrags auf ein Minimum zu reduzieren. Die Machbarkeit wurde während des Erkundungsstollens mit Versuchen in der Ortsbrust bestätigt. Die freigelegten Säulen zeigten erreichbare, mittlere Durchmesser von > 80 cm.



4 Ortsbrustinstabilität beim Vortrieb des Erkundungsstollens (späterer Sicherheitsstollen)

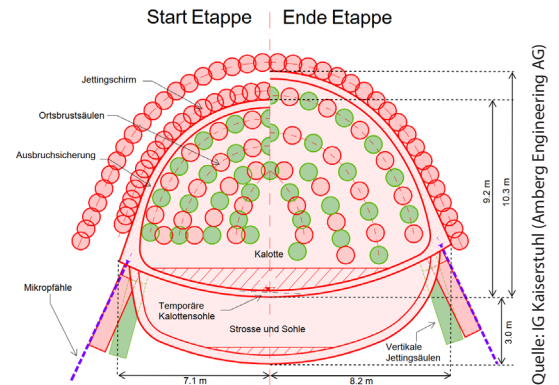
Quelle: CSD AG (bearbeitet durch Amberg Engineering AG)

Quelle: IG Kaiserstuhl (Amberg Engineering AG)

Für die Bau- und Betriebsphase wird der Erkundungsstollen zum Sicherheitsstollen aufgerüstet.

2.3. Ausbruch- und Sicherungskonzept Hauptvortrieb

Der Ausbruch erfolgt im Schutz eines Jettingschirms (Länge 15 m, Überlappung 5 m). Zur Gewährleistung der Ortsbruststabilität werden in der Kalotte Ortsbrustpfähle erstellt. Die Sofortsicherung der 1 m langen Abschlüge erfolgt mit faserbewehrtem Spritzbeton. Die weitere Sicherung besteht aus Stahleinbau, Netzen und Spritzbeton. Der Ausbruch erfolgt im Kalottenvortrieb mit einer temporären Kalottensohle mit Netzen und Spritzbeton, sowie Mikropfählen (Abstand 1 m) zur Sicherung des Kalottenwiderlagers (Bild 5). Die Strossenfenster werden mit vorgängig ab der Kalottensohle ausgeführten, vertikalen Jettingsäulen gesichert.



Quelle: IG Kaiserstuhl (Amberg Engineering AG)

5 Profil Vortrieb und Sicherung Lockergesteinsstrecke Haupttunnel Kaiserstuhl

Die Sicherung konnte mittels detaillierten 3D-FE-Betrachtung in Abhängigkeit von der Überlagerung optimiert werden (Bild 6). Durch Versuche im Erkundungsstollen konnten die Längen der Mikropfähle (Dm 103 mm) sowie die erforderlichen Bohrdurchmesser (Dm 220 mm) festgelegt werden. Im Bereich mit einer Überlagerung > 90 m ist ein zusätzlicher, radial aussenliegender Jettingschirm im Paramentbereich erforderlich (doppeltes Jettingewölbe).

Der Vortrieb wird messtechnisch eng mit horizontalen, automatisch messenden Inklinometern im First und geodätischen Konvergenz-messquerschnitten überwacht. Das Messintervall wird entsprechend den gemessenen Verformungsgeschwindigkeiten festgelegt.

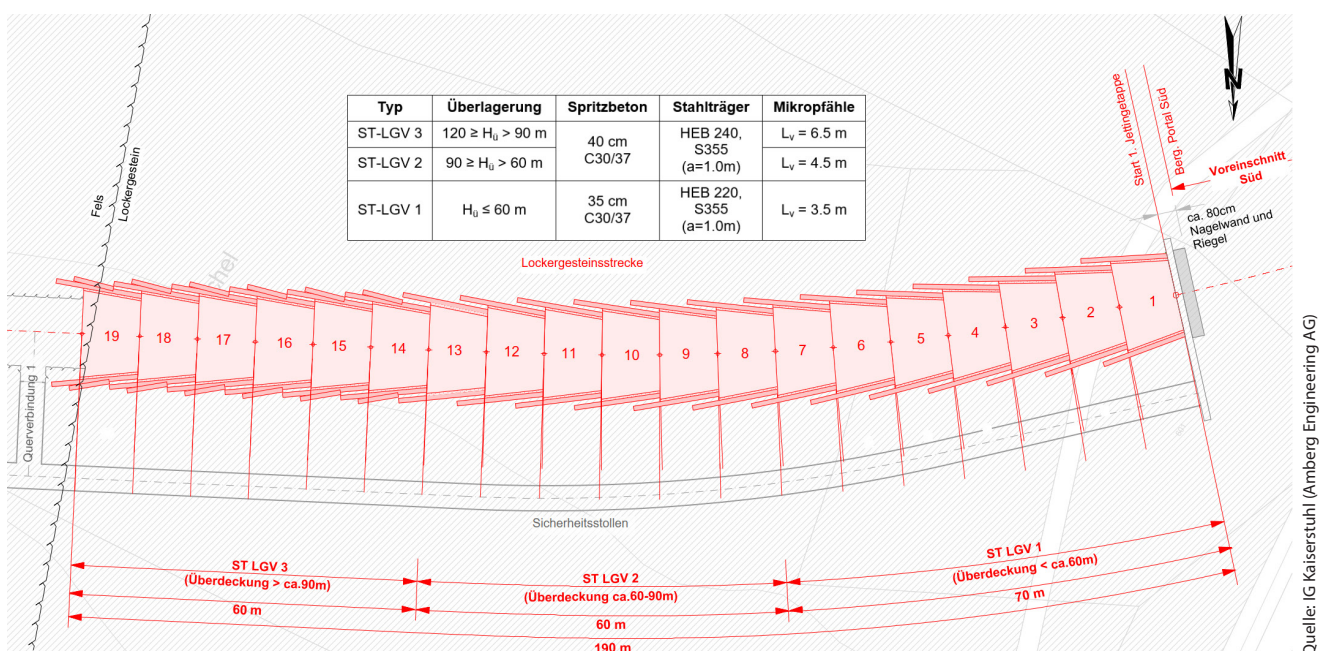
3. Ausführung der Lockergesteinsstrecke

Für den maschinenunterstützten Vortrieb im Lockergestein (MUL) wurden folgende Schlüsselstellen und Erfolgsfaktoren identifiziert:

- Kontinuierlicher Bauablauf für Arbeiten auf kritischem Pfad durch Optimierung der Logistik und Anzahl Arbeitsstellen
- Optimiertes Verarbeiten des Jettingrückflusses mit dem Ziel, das anfallende Filterkuchenmaterial und Bauabwasser schnell und effizient zu fassen, zu behandeln und zu entsorgen
- Einsatz von erfahrenen Fachpersonen

Um die Sicherheit, Qualität und Leistung effizient und effektiv abrufen zu können, wird auf folgende Erfolgsfaktoren gezählt:

- Jetting- und Mikropfahlarbeiten werden durch einen spezialisierten Subunternehmer ausgeführt (Züblin Spezialtiefbau)
- Einsatz von Stammpersonal
- Optimale und moderne Baustelleneinrichtungen und Gerätschaft



6 Übersicht Lockergesteinsstrecke und Sicherungstypen

Quelle: IG Kaiserstuhl (Amberg Engineering AG)

3.1. Ausführungskonzept und Dokumentation

Für die Voraussicherung kommen ein Jettinggerät PG185, welches auch zum Erstellen der Bohrungen für die Inklinometer verwendet wird sowie eine Suspensionsmischanlage zum Einsatz.

In einem ersten Schritt werden die Säulen des Schirms erstellt, im Anschluss jene in der Ortsbrust. Die Ansatzpunkte der einzelnen Jettingsäulen werden an der Ortsbrust abgesteckt. Nach dem Ansetzen der Lafette an der Ortsbrust, wird der hintere Teil der Lafette in die korrekte Position navigiert. Der Jettingdruck beträgt max. 400 bar.

Der theoretische Durchmesser der Jettingsäulen von 80 cm wird mittels Fotos und zusätzlich mit 3D-Scanaufnahmen dokumentiert. Um die Stärke des Jettingschirms zu bestätigen, wurden in den ersten Etappen Kernbohrungen durch die Sicherung durchgeführt.

Die Parameter jeder Jettingsäule werden mittels spezialisierter Software (Bestandteil Steuerung Jettinggerät PG185) dokumentiert:

- Bohrlänge
- Start- und Endzeit
- Suspensionsmenge
- Bohrfortschritt
- Anpressdruck
- Drehzahl
- Spüldruck und -durchfluss
- Jettingdruck
- Haltezeit

Das Rückflussmaterial aus dem Jetting wird in einem Becken mit genügend Rückhaltevolumen an der Ortsbrust gesammelt. Anschliessend wird der Rückfluss mit einer Schlauchquetschpumpe bis zu den Puffersilos geführt und mit einer Kammerfilterpresse behandelt. Das Filtratwasser wird einer Wasseraufbereitungsanlage zugeführt und vorgeklärt. Durch die frühzeitige Einbindung der Frutiger Umwelttechnik konnte auf ein grosses Knowhow zurückgegriffen und damit auf den Baubetrieb abgestimmte und optimierte Lösungen erarbeitet werden.

Ausgebrochen wird standardmässig mit einem Tunnelbagger mit Anbaufräse (Bild 7). Die Schutterung erfolgt mittels Fahrlader von der Ortsbrust bis zur Zwischendeponie. Nach Abschluss der Vortriebsarbeiten einer Etappe wird die Ortsbrust zur Aufnahme des Jettingsdruckes mit 25–30 cm Spritzbeton inkl. Netz gesichert (Bild 8).

3.2. Start der Arbeiten

Die Planung des Portals basierte ursprünglich auf einem Rohrschirm. Der Wechsel auf einen Jettingschirm und Ortsbrustsäulen verursachte eine Kollision der geplanten Jettingbohrachsen mit den bestehenden Selbstbohr- und Litzenankern sowie einer Betonlongarine der Portalsicherung.

Neben den maschinentechnischen Herausforderungen stellten die vorgespannten Litzenanker zusätzlich ein Sicherheitsrisiko dar. Die möglichen Risikoszenarien durch das Anbohren oder Anjetten eines vorgespannten Litzenankers wurden von Bauherrschaft, Planer, Bauleitung und Unternehmer diskutiert und analysiert. Im Zuge der Risikoanalyse wurde ein 3D-Modell der bestehenden Portalsicherung erstellt und darin die Position der zukünftigen Bohrlöcher und Jettingsäulen ergänzt (Bild 9).



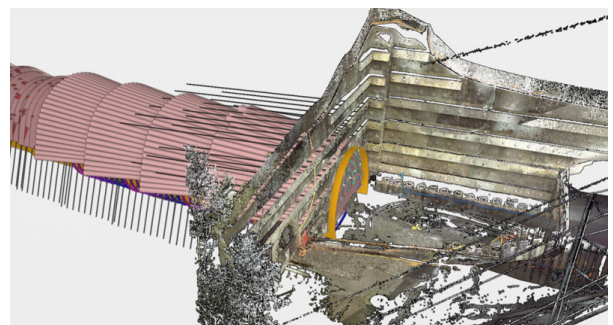
7 Tunnelausbruch

Quelle: Frutiger AG



8 Jettingortsbrust

Quelle: Frutiger AG



9 3D-Model inkl. Punktwolke des Portalbereiches

Quelle: 3D-Modell des Unternehmers
(erstellt durch Donatsch + Partner AG)

Auf Basis dieser Analyse wurde entschieden, zusätzliche Litzenanker zu entspannen, um das Risiko von schlagartiger Entspannung zu verhindern. Um die Stabilität der Portalwand weiterhin zu gewährleisten, wurden zusätzliche Selbstbohranker eingebaut. Die theoretischen Kollisionen mit den Litzenankern haben sich während der Arbeiten bestätigt (Bild 10), was zu einer Ausreizung der maschinentechnischen Limits geführt hat. Auch war das ganze Know-how des Teams gefordert. Aufgrund der getroffenen Massnahmen haben die Kollisionen zu keinem Sicherheitsrisiko geführt.

Aufgrund der Erfahrungen aus dem Erkundungsstollen hat das Projektteam dem Start der Vortriebsarbeiten grosse Aufmerksamkeit gewidmet. Folgende Massnahmen wurden umgesetzt:

- Ausbruch in Teilquerschnitten mit Sofortsicherung
- Belassen eines Brustkeils inkl. Selbstbohranker
- Vorhaltung von Spritzbeton und Schüttmaterial
- Installation einer automatischen Inklinometer-Messkette im Tunnelfirst
- Automatisierte trigonometrische Portalüberwachung

Die getroffen planerischen, bautechnischen als auch organisatorischen Massnahmen haben zu einem erfolgreichen Vortriebstart geführt.

Die Litzen- und Selbstbohranker in der Ortsbrust erschwerten den Ausbruch. Sie mussten einzeln freigelegt und gekürzt werden. Durch die Länge der Anker waren die Jetting- und Vortriebsarbeiten bis in die dritte Etappe (ca. 25 m) beeinflusst.

3.3. Digitalisierung

Das engagierte Projektteam hat zusammen mit dem Ingenieurbüro Donatsch+Partner Ansätze der Digitalisierung und BIM angewendet. So wurde der Portalbereich gescannt und einzelne Bauteile des Tunnels in 3D modelliert. In der Ausführung wurde das Modell mit Ausführungsparametern ergänzt.

Das Modell wurde für die AVOR sehr effizient eingesetzt. So wurden z. B. die Freibereiche der Lafette des PG185 mitmodelliert, um die Platzverhältnisse zu überprüfen. Weiter wurde der Scan der bereits erstellten Kalotte zum Modellieren der vertikalen Jettingssäulen genutzt.

Die Grundparameter der Jettingarbeiten werden mittels BI-Software ausgewertet und analysiert. Durch Integration der Parameter über die Erstellung der einzelnen Bauteile, lässt sich auch der Baufortschritt sehr gut dokumentieren und visualisieren (Bild 11).

4. Fazit

Das Projekt zeigt, wie Erkenntnisse aus einem Erkundungsstollen in die Ausführung einfließen können. So wurde erkannt, dass die für den Haupttunnel ursprünglich geplante Voraussicherung mittels Rohrschirm ein Risiko für den Vortrieb darstellen. Der durchgeführte Jettingversuch bot eine gute Grundlage für die Planung, Ausschreibung und Ausführung.

Die bisherigen Erfahrungen aus dem Kalottenvortrieb der ersten Hälfte der Lockergesteinsstrecke haben die Entscheidung, die ursprünglich angedachte Voraussicherung mittels Rohrschirm auf Jettingssäulen zu ändern, bestätigt.

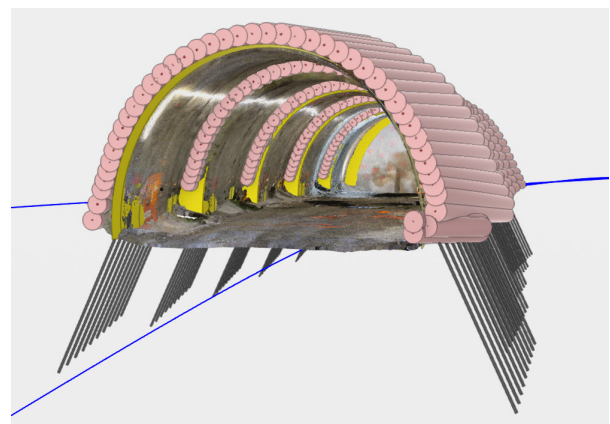
Die Arbeiten erfordern ein hohes Mass an Zusammenarbeit und Flexibilität aller Beteiligten. Das Projektteam ist sehr engagiert und durch offene Kommunikation ist es gelungen, gegenseitiges Vertrauen zu schaffen, was wesentlich zu einer erfolgreichen Ausführung beiträgt.

Glück Auf!



Quelle: Frutiger AG

10 Aufgewickelte Litzenanker



Quelle: 3D-Modell des Unternehmers (erstellt durch Donatsch + Partner AG)

11 3D Visualisierung vom Stand der Arbeiten

Literatur

- [1] Projektübersicht - Ausbauprojekt A8 Obwalden; <https://a8-ow.ch/projekt/projektuebersicht/>
- [2] A8-Tunnel Kaiserstuhl: Durchschlag bei Erkundungsstollen erfolgt | Baublatt; <http://www.baublatt.ch/bauprojekte/a8-tunnel-kaiserstuhl-durchschlag-bei-erkundungsstollen-erfolgt-33026>

PROJEKTDATEN

Region

Gemeinden Giswil und Lungern, Kanton Obwalden

Bauherr, Projekt- und Oberbauleitung

Kanton Obwalden, Bau- und Raumentwicklungsdepartement

Planung und Bauleitung

IG Kaiserstuhl c/o Amberg Engineering AG

Ausführung

Frutiger AG Untertagbau

Kenndaten

Bauzeit:	Februar 2024–April 2028
Inbetriebnahme:	2029
Baukosten gesamt:	CHF 270 Mio.
Baukosten Tunnel:	CHF 95 Mio.
Projektlänge:	3.6 km
Tunnellänge:	2.1 km (1.8 km bergmännisch)
Fahrbahnbreite:	7.75 m, kein Pannestreifen
Max. Steigung Tunnel:	6.5%
Ausbruchquerschnitt:	Sprengvortrieb 95–185 m ² ; Lockergesteinsvortrieb 95–122 m ²

Besondere Merkmale

Jetting in Runsenschutt, limitierte Platzverhältnisse für baubetriebliche Installationen; bestehende Litzen- und KSB-Anker im Jetting- und Ausbruchsprofil; Koordination der Jetting- und Vortriebsarbeiten auch in Bezug auf Personaleinsatz; Bearbeitung des Rückflusses aus den Jettingarbeiten

Alig, Claudia	Locher Ingenieure AG, Zürich
Amberg, Jasmin	Amberg Engineering AG, Regensdorf
Baumann, Andreas	Frutiger AG, Thun
Belfiore, Andrea	Responsable du projet du Contournement du Locle OFROU F1, Estavayer le Lac
Bella, Gianluca	Pini Group SA, Lugano
Benovic, Michal	Frutiger AG, Thun
Brommundt, Jürgen	Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle Nagra, Wettingen
Cantieni, Linard	ETH Zürich, Zürich
Cortesi, Marco	Repower AG, Landquart
Devillers, Antoine	InfraTunnel SA, Marin-Epagnier
Falanesca, Matteo	Pini Group SA, Lugano
Fanger, Daniel	Tiefbauamt Kanton Obwalden, Kerns
Flematti, Alessandro	Pini Group SA, Lugano
Fournier Bidoz, Laurent	CFF, Renens
Fragnoli, David	OFROU F1, Estavayer le Lac
Freudiger, Jasmin	Lombardi AG, Bellinzona-Giubiasco
Gianelli, Filippo	Pini Group SA, Lugano
Giovannini, Patrick	Frutiger AG, Thun
Kohler, Daniel	Frutiger AG, Thun
Leroy, Raphaël	Alpiq SA, Lausanne
Merlini, Davide	Pini Group SA, Lugano
Püntener, Marco	AFRY Schweiz AG, Zürich
Rogenmoser, Marcel	Locher Ingenieure AG, Zürich
Vullioud, Jean-François	WSP ingénieurs Conseils SA, Neuchâtel
Wälchli, Severin	Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle Nagra, Wettingen

Hauptsponsoren • Main Sponsors



Innovative und sichere
Lösungen im Tunnelbau



FÜR EINE INTEL- LIGENTE NUTZUNG VON RAUM

Die optimale Nutzung von ober- und unterirdischen Raum ist ein wesentlicher Erfolgsfaktor bei heutigen Tunnelbauprojekten. Die Amberg Group bietet eine einzigartige Kombination von Wissen, Technologie und Logistik für einen effizienten und kostengünstigen Bau von Infrastrukturen. In digitalisierter Form deckte Amberg Group für Ihre Kunden den gesamten Lebenszyklus der Infrastrukturen sowie alle Engineering- und Technologieaspekte ab.

[ambergroup.com](https://www.amberggroup.com)





Immer zur Stelle – mit dem dichtesten Servicenetz der Schweiz.

Sandvik Tunnelbaugeräte von Avesco setzen Massstäbe. Das flächendeckende Netz unserer Servicetechniker in allen Schweizer Regionen und der führende Tunnel-Mietpark sorgen dafür, dass dies über die gesamte Bauzeit Ihrer Projekte so bleibt.
avesco.ch/tunnelbau



AVESCO AG Hasenmattstrasse 2 CH-4900 Langenthal Tel +41 (0) 848 832 832 www.avesco.ch
Avesco GmbH Gerling 95 4175 Herzogsdorf Tel:+43 (0) 7232 383 0832 www.avesco.at



B+S
INGENIEURE UND PLANER

Bei uns steht
der Mensch im
Vordergrund.

Intelligente Ingenieurösungen für
eine lebenswerte Zukunft. Dafür
setzen wir uns persönlich ein, mit
Herz, Verstand und Leidenschaft.

www.bs-ing.ch



Gesamtleitung für komplexe Untertagbauten

Wir mögen Herausforderungen. Ob anspruchsvoller Baugrund, engste Platzverhältnisse oder Bauen unter Betrieb: Wenn viele Rahmenbedingungen erfüllt werden müssen und verschiedene Fachdisziplinen gefordert sind, setzen wir uns mit unserem Know-how und unserer Erfahrung für eine nachhaltige Lösung ein. Als Gesamtleiter begleiten wir Infrastrukturprojekte von der Planung bis zur Ausführung.



www.baslerhofmann.ch

Basler & Hofmann



Unser Einsatz. Ihre Entlastung.

Bellini Personal AG
Zugerstrasse 76
6340 Baar

baar@bellini.ch | 058 059 59 94
www.bellini.ch

bellini[®]
Vermittelt Baufachkräfte.



belloli
www.belloli.ch

Breaking limits

Herstellung und Lieferung von Produkten,
Maschinen und Ausrüstungen im Bereich
des Tunnelbaus und Bauwesens. Weltweit!



CSC
webuild group

www.csc-sa.ch



Via Pioda 5, CH-6901 Lugano | Tel. +41 (0)91 910 90 90 | Fax. +41 (0)91 910 90 99



Emch+
Berger

N2 Belchentunnel

Gesamtlösungen sind unser Plus.

Planung, Beratung und Management seit 1953.
Mit über 800 Mitarbeitenden an mehr als 30
Standorten sind wir national und international
präsent und nahe bei unseren Kunden.

www.emchberger.ch



Frutiger

Mit Freude
bauen wir.

frutiger.com/untertagbau



SCHNELL VERBUNDEN

PLANUNG GOTTHARD-BASISTUNNEL

ERFOLGREICH PLANEN

GÄHLER UND PARTNER AG | SONNENBERGSTRASSE 1 | CH-5408 ENNETBADEN | TEL +41 56 200 95 11 | INFO@GPAG.CH | WWW.GPAG.CH

FELSTECHNIK



Gasser

GASSER FELSTECHNIK

Als Spezialunternehmen in der Felstechnik sorgen wir für die Sicherheit und Beständigkeit von Infrastrukturen.

So auch bei der Druckleitung Balbalera:

VIDEO
ANSEHEN

**ZUSAMMEN
VERSETZEN
WIR BERGE.**
felstechnik.ch

Tunnel bauen – aus Leidenschaft!

HEITKAMP
Construction Swiss GmbH

Ihr Partner im Untertagebau



GOTTHARD ROAD TUNNEL

BACK AT GOTTHARD



GOTTHARD 2ND TUBE ROAD TUNNEL,
SWITZERLAND
Machine type: 3x Single Shield TBM,
1x Gripper TBM
Diameter: 12,310 mm, 12,225 mm,
7,400 mm, 7,000 mm
Contractor: Marti Tunnel AG,
ARGE secondo tubo

**PIONEERING
UNDERGROUND
TOGETHER**



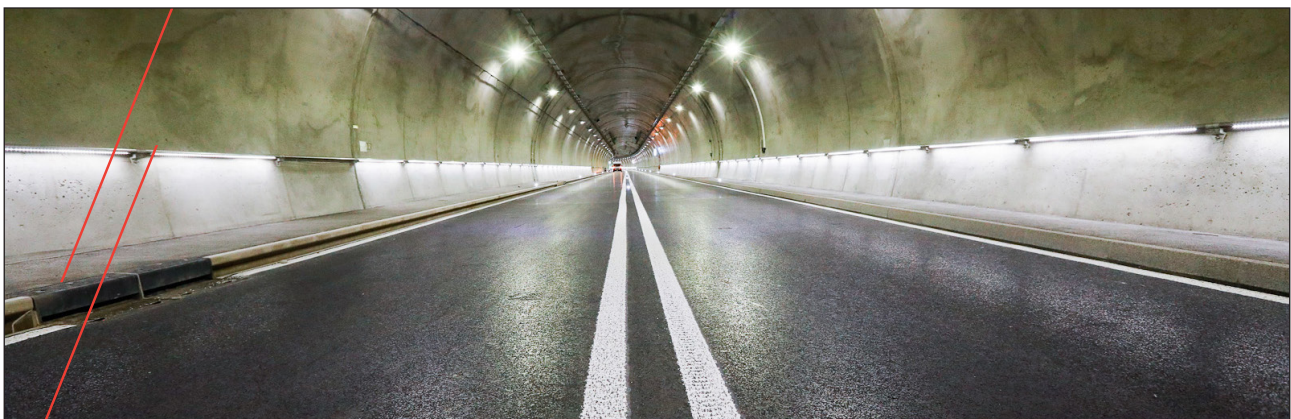
Frutiger



**DURCH ENGE ZUSAMMENARBEIT
SETZEN WIR HÖCHSTE ANFORDERUNGEN
IN BESTE QUALITÄT UM.**



holcimpartner.ch



Ingenieurskunst – unsere Leidenschaft

Gesamtlösungen für Energie, Infrastruktur und Umwelt.

Wir sind Spezialisten in den Bereichen Kraftwerk-, Untertag-, Verkehrswegebau, Tief- und Hochbau sowie bei Ausrüstungen von Infrastrukturbauten.

Beratung, Studien, Projektierung, Bau- und Montageleitung, Expertisen und Projektmanagement.



IM Maggia Engineering SA · via Stefano Franscini 5 · CH-6601 Locarno 1
Tel. +41 91 756 68 11 · info@im-maggia.ch · www.im-maggia.ch
IUB Engineering AG · Belpstrasse 48 · CH-3000 Bern 14
Tel. +41 31 357 11 11 · info@iub-ag.ch · www.iub-ag.ch

IM Engineering | **IUB** Engineering



Implenia

EXPERTISE FÜR KOMPLEXE INFRASTRUKTUR

WIR BAUEN DIE INFRASTRUKTUR VON MORGEN

AKTUELL AUCH IN DER ARGE „SECONDO TUBO“
LOS 241 DER ZWEITEN GOTTHARD-RÖHRE



Frutiger



ERFAHRE MEHR ÜBER PROJEKTE, MENSCHEN UND KARRIERE-MÖGLICHKEITEN AUF [IMPACT.IMPLENIA.COM](https://impact.implenia.com)



Tunnelbau als
Beispiel für die
Kreislaufwirtschaft:
Als Projektverfasserin
engagieren wir uns
für die nahezu 100%
Wiederverwendung von
Ausbruchmaterial in
unseren Projekten.



Lombardi

Mit Energie für die Zukunft

Kreislauf des Rohmaterials



SIMATEC

Lochackerweg 2, CH-3302 Moosseedorf
info@martitechnik.com, www.martitechnik.com
info@simatec.org, www.simatec.org

2. Röhre Gotthard Strassentunnel,
 Baustellen Süd



Tunnelbohrmaschine 2. Röhre Gotthard, Los 341



Marti Tunnel AG
 Seedorffeldstrasse 21
 3302 Moosseedorf
tunnel@martiag.ch www.marti-tunnel.ch

Marti, der Tunnelspezialist für alle Fälle, verfügt über qualifizierte und erfahrene Mitarbeitende und ist mit einem hochmodernen Maschinenpark für alle Herausforderungen im Tunnelbau ausgerüstet.

MasterFiber® I5I SPA

**Wahre Stärke kommt
von innen**

Ihre Vorteile

- Verbesserung des Arbeitsvermögens
- Kann Stahlfasern ersetzen
- Einfache Verarbeitung
- Geringer Verschleiss der Misch- und Förderanlagen

master-builders-solutions.ch

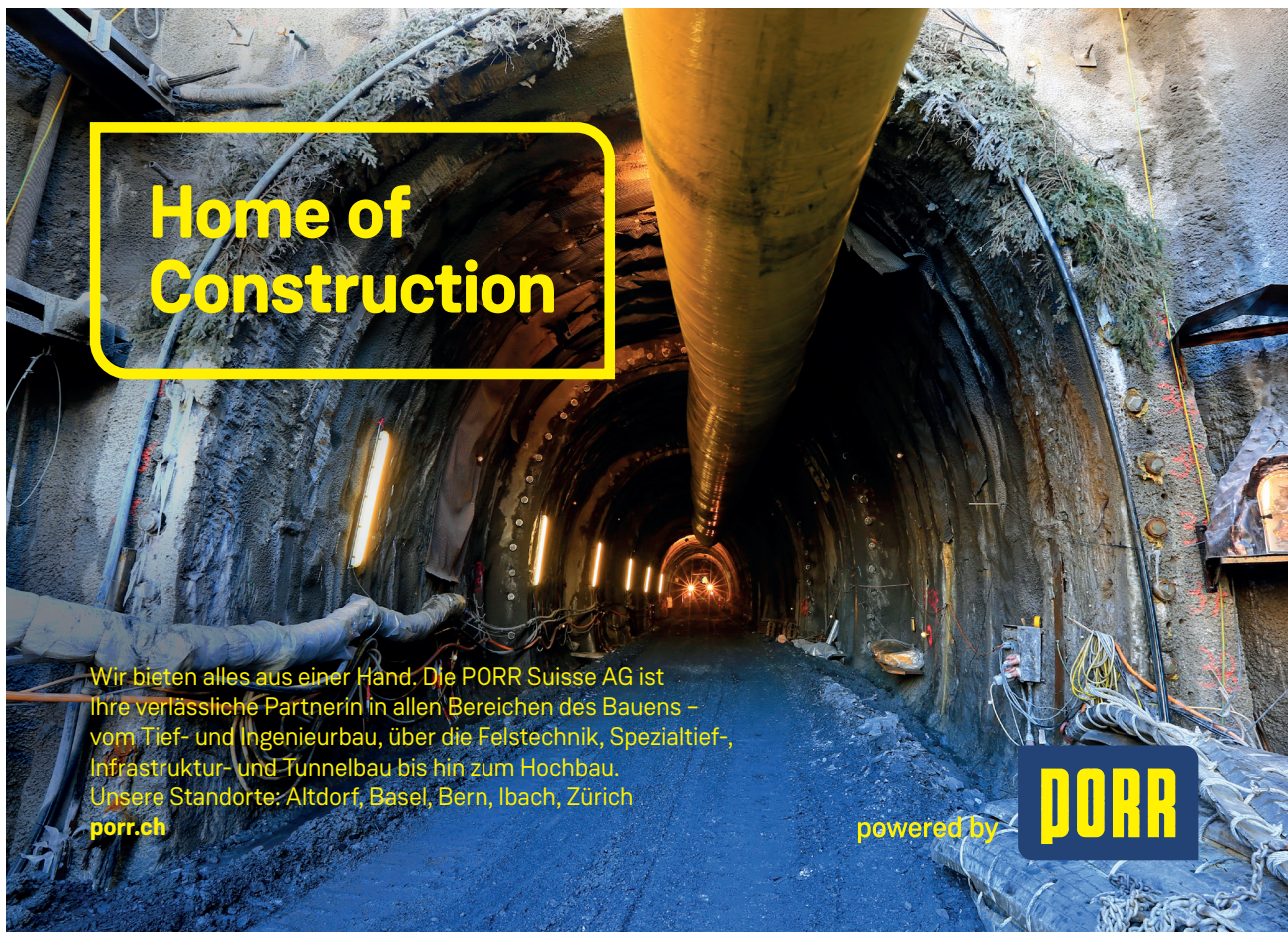


Tunnel-Experten

Wir sind ein umfassendes Netzwerk von Spezialisten, das durch die Integration von Talenten und Expertise stetig wächst. ARX bewältigt komplexe Ingenieur- und Designprojekte und passt sich dabei einer dynamischen und anspruchsvollen globalen Landschaft an.

arx.ing





Home of Construction

Wir bieten alles aus einer Hand. Die PORR Suisse AG ist Ihre verlässliche Partnerin in allen Bereichen des Bauens – vom Tief- und Ingenieurbau, über die Felstechnik, Spezialtief-, Infrastruktur- und Tunnelbau bis hin zum Hochbau. Unsere Standorte: Altdorf, Basel, Bern, Ibach, Zürich
porr.ch

powered by **PORR**



Die Spezialisten der Baustellenleitungen
und des Vertragswesens

Gli specialisti della conduzione di cantieri
e della contrattualistica

Experts in construction site management
and in the field of contracts

Ausschreibungen, Werkverträge, Realisierungen
Appalti, contratti di appalto, esecuzione
Tendering, special-order contract, implementation

www.tar.ch

Via Montarina 19 – 6900 Lugano CH

KOMPETENZ IM BERG- UND TUNNELBAU

Mit Produkten der Marken
Epiroc und Putzmeister

BOHREN UND SPRENGEN

MISCHEN UND TRANSPORTIEREN

PUMPEN UND BEFÜLLEN

SPRITZEN UND VERTEILEN



Robert Aebi AG
Riedthofstrasse 100, CH-8105 Regensdorf
+41 44 842 51 11, betontechnik@robert-aebi.com
www.robert-aebi.ch



Schneller, sicherer und wirtschaftlicher bauen



SNOWY HYDRO (Australien)
www.rowa-ag.ch



≡ **SABAG** ≡

Bauprodukte

persönlich
pünktlich
schnell

Bewehrungsstahl für Ihre Baustelle erhalten Sie im SABAG Stahlcenter Biel/Bienne.

sabag.ch

Swiss Tunnel Day
12. Juni 2025, Kongresshaus Biel
Wir freuen uns auf Sie!



QUALITÄTSBETON STÄRKT KOMPETENZ IM TUNNELBAU

Mit dem Neubau einer Grossanlage zur Herstellung von Spritzbeton-Additiven in Kirchberg ist Sika optimal für grosse Infrastrukturprojekte der Bauindustrie gerüstet. Ortsnah, speditiv und zuverlässig werden Tunnelbaustellen mit erstklassigen Betonzusatzmitteln von Sika beliefert. Setzen Sie auf Exzellenz im Tunnelbau – mit Sika® Sigunit®!

Sika bietet gesamtheitliche Lösungen für: Betonherstellung, Spritzbeton, Abdichtung, Sanierung, Oberflächenbeschichtungen.



www.sika.ch

BUILDING TRUST





Image/Bild : Tunnel des Evouettes

ENSEMBLE, PLANIFIONS
LES TUNNELS DE DEMAIN.
GEMEINSAM PLANEN WIR
DIE TUNNEL VON MORGEN.

www.wsp.com



SWISS TUNNEL DAY 2025

Fachtagung für Untertagbau

ISBN 978-3-033-11366-4



FGU Fachgruppe für Untertagbau
GTS Groupe spécialisé pour les travaux souterrains
GLS Gruppo specializzato per lavori in sotterraneo
STS Swiss Tunnelling Society