

Band 22

2024

SWISS TUNNEL CONGRESS

Fachtagung
für Untertagbau



Kolloqium

5. Juni 2024

Congress

6. Juni 2024



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

Organizing Committee

Davide Fabbri, Dipl. Ing.	President Swiss Tunnelling Society
Martina Fasani, Dipl. Ing.	Swiss Tunnel Congress
Adrian Müller, Dipl. Ing.	Swiss Tunnel Congress
Nicolas Pagani, Dipl. Ing.	Swiss Tunnel Congress
Richard Kocherhans, Dipl. Ing.	Swiss Tunnel Kolloquium
Eric Carrera, Dipl. Ing.	Swiss Tunnel Kolloquium, STSym
Patricia Dal Pont	Secretariat
Viktor Gjorgjiev	Secretariat

Advisory Board

G�rard Seingre, Dipl. Ing.	Chairman, STS
Davide Fabbri, Dipl. Ing.	STS
Pedro Ram�rez Rodr�gez, Ing.	AETOS
Robert Galler, Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont.	ITA Austria
Roland Leucker, Prof. Dr. Ing.	STUVA/DAUB
Giuseppe Lunardi, Ing.	SIG
Emmanuel Humbert, Ing.	AFTES

  2024 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: Marvin Klostermeier, Christian Ippach, Bauverlag BV GmbH, Gütersloh/DE

Fachlektorat: Martin Rauer

Druckvorstufe: J rn Gehrke, Bauverlag BV GmbH, Gütersloh/DE

Druck: B smann Medien und Druck GmbH & Co. KG, Detmold/DE

ISBN 978-3-033-10603-1

Swiss Tunnel Congress 2024 – Fachtagung für Untertagbau

Umschlagfoto: Zweite Röhre Gotthard-Strassentunnel, Quelle: Bundesamt für Strassen ASTRA

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 CONGRESS 2024

Fachtagung für Untertagbau

5.–7. Juni 2024



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 • Preface
- 2.1 Daniel Reichlin 3. Röhre Rosenberg, St. Gallen – Projektübersicht und Herausforderungen
Third Rosenberg Tunnel, St Gallen - Project overview and challenges
- 3.1 Alexander Heim TELT – Tunnel Lyon–Turin – Neuartige Lösungsansätze im Lockergesteinsvortrieb im Baulos CO08 am Mont-Cenis Basis Tunnel
TELT – Lyon–Turin Tunnel – Novel solutions for loose rock tunnelling in construction lot CO08 at the Mont-Cenis Base Tunnel
- 4.1 Raphael Wick SBB-Doppelspurtunnel Ligerz – Eine Engpassbeseitigung mit komplexen Randbedingungen
Cathie Lequertier *SBB dual-track tunnel Ligerz – Eliminating a traffic bottleneck with complex boundary conditions*
Lorenz Livers
John Eichenberger
- 5.1 Jürg Portner Gubristtunnel 1. und 2. Röhre – Von der Pinselsanierung zur Gesamterneuerung
Thomas Espinosa *Gubrist Tunnel: 1st and 2nd tunnel tubes – From facelift renovation to complete refurbishment*
Stefan Matsch
- 6.1 Raphaël Defert La tranchée couverte de Ferney – Un ouvrage aux multiples spécificités
The Ferney cut-and-cover tunnel – A project with several specific challenges
- 7.1 Alain Métrailler Réalisation du Tunnel des Pyramides – Entreprise générale ou totale : solution pour les travaux
Dr Vincent Pellissier *souterrains ?*
Constructing the Pyramids tunnel – Is general or total contracting the solution for underground construction?
- 8.1 Giuseppe Lunardi New high speed Milan–Genoa railway line – Innovative design solution for the crossing of the
Nicola Meistro *Sestri Voltaggio fault area*
- 9.1 Davide Calderara Projet Ligne Directe NE-CF – La nouvelle liaison ferroviaire Neuchâtel–La Chaux-de-Fonds
Patrick Senn *NE-CF Direct Rail Link Project – The new Neuchâtel–La Chaux-de-Fonds rail link*
- 10.1 Klaus Schneider Das Finale der 130 km langen Koralmbahn mit dem 33 km langen Koralmtunnel –
Helmut Steiner *Herausforderungen eines Grossprojektes in der Fertigstellungs- und Inbetriebnahmephase*
The final stage of the 130-km-long Koralm Railway and the 33-km-long Koralm Tunnel Project –
Challenges faced in a major project during its completion and commissioning phase



Kolloquium

- 11.1** Götz Schackenberg Rheintunnel Basel – Multimodales Logistikkonzept
Rhine Tunnel, Basel – Multi-modal logistics concept
- 12.1** Jérémy Voiron
Étienne Garin
Benoît Champeau
Laury Barnes Davin
Éric Bureau
Matthias Bürki
Julie Phan
Bertrand Fayot FCC, La molasse, une ressource sous-exploitée
FCC: The Molasse, an under-exploited resource
- 13.1** Markus Inniger Aktuelle Erfahrungen im Gebiet der Materialbewirtschaftung aus Sicht der Projektverfasser –
Projekte: Zweite Gotthardröhre + Umfahrung Le Locle
*Current experiences in the materials management sector from the perspective of the designer
engineer – Projects: Second Gotthard Roadtunnel and Le Locle bypass*
- 14.1** Alexander Wyss Tunnelbau: Auf dem Gipfel der Kreislaufwirtschaft? – Faktencheck am Beispiel zweier aktueller
Grossprojekte in den Alpen
*Tunnelling: The peak of a circular economy? – Checking the facts using the example of two current
major projects in the Swiss and French Alps*
- 15.1** Anna Hundhausen Carbonatisierter Abbruchbeton im Tunnelbau
Carbonated demolition concrete in tunnelling
- 16.1** Simone Stürwald Zukunftsfähige Tiefbaulösungen – Nachhaltigkeit durch den Einsatz von Beton mit
Recyclingmaterialien in Infrastrukturprojekten
*Sustainable civil engineering solutions – Achieving sustainability by using concrete and recycled
materials in infrastructure projects*
- 17.1** Florian Ott
Alain Mardo
Nicolas Miravalls
Isabelle Armani *Tunnel Construction and Design – Designing more sustainable linear infrastructure projects using
advanced digital technologies*





Vorwort

Davide Fabbri

Präsident der Fachgruppe
für Untertagbau

Sehr geehrte Damen und Herren
Liebe Kolleginnen und Kollegen

Mit Stolz blicken wir auf ein erfolgreiches Jubiläumsjahr 2023 zurück, in welchem wir das 50-jährige Bestehen der FGU gebührend gefeiert haben. Eines dieser herausragenden Ereignisse war natürlich das Projekt „EinBlick in den Untergrund“ – eine grossartige Möglichkeit, um der Schweizer Bevölkerung bekannte und weniger bekannte Bauwerke zugänglich zu machen. Wir freuen uns sehr, dass dieses Projekt generationsübergreifend auf grosses Interesse gestossen ist. Auch das „STS Young Members Podium“ wurde erstmalig in der Geschichte der FGU durchgeführt. Junge Ingenieurinnen und Ingenieure konnten sich im Rahmen dieser Veranstaltung mit ihren Projekten einem grösseren Publikum präsentieren. Der Festakt mit Ansprachen, Podiumsdiskussionen und musikalischen Darbietungen gab der Feier einen würdigen Rahmen.

Nach diesen unvergesslichen Erlebnissen im Jubiläumsjahr kehren wir 2024 wieder zurück zum traditionellen, aber nicht minder interessanten Programm. Der STC findet vom 5. bis 6. Juni 2024 im Luzerner Saal des KKL Luzern statt. Die Exkursionen werden entsprechend am 7. Juni 2024 durchgeführt. Wir freuen uns sehr auf das persönliche Treffen und den Austausch mit Ihnen!

Der Titel des diesjährigen Kolloquiums lautet „Materialbewirtschaftung und Nachhaltigkeit im Tunnelbau“. Das Thema Materialbewirtschaftung ist nicht neu, allerdings werden die Ansprüche und Anforderungen an Effizienz und Nachhaltigkeit gerade im Bereich von Untertagbauprojekten immer grösser. Das liegt unter anderem an den zunehmenden Bedürfnissen der Bevölkerung und der Politik, die eine vernünftige und umsichtige Nutzung der Ressourcen verlangen sowie technische Lösungen und Massnahmen einfordern, die den Anforderungen des Klimaschutzes entsprechen.

Das Kolloquium wird, wie in den vergangenen Jahren, in Zusammenarbeit mit den STS young members (STSym) organisiert. Um die Teilnahme von jungen, ambitionierten Tunnelbauerinnen und Tunnelbauern am STC zu fördern, können Eintrittskarten zu attraktiven Preisen bezogen werden.

Das Kongressprogramm ist auch in diesem Jahr voller interessanter und anspruchsvoller Beiträge. Unsere ausgewählten Referentinnen und Referenten werden Sie in den Vorträgen zu den Schweizer Untertagbauwerken 3. Tunnelröhre Rosenberg, SBB-Doppelspurtunnel Ligerz, Gubristtunnel, Tagbautunnel Ferney, Tunnel Pyramides d'Euseigne und Neubaustrecke Neuchâtel–La Chaux-de-Fonds über den aktuellen Stand dieser Projekte informieren. Zusätzlich werden Case Studies bzw. Lessons Learned vorgestellt. Einen spannenden, fachtechnischen Erfahrungsaustausch über die Landesgrenzen hinaus versprechen die Präsentationen unserer internationalen Tunnelbauprojekte mit Referaten zu den Projekten TELT Lyon–Turin Basistunnel, Galleria Terzo Valico und Koralmtunnel.

Schliesslich freuen wir uns sehr, dass Herr Marco Rosso, Verwaltungsratspräsident der Cargo sous terrain AG, das Einführungsreferat zu einem innovativen Projekt halten wird, welches eine zukünftige unterirdisch geführte, klimafreundliche Güterlogistik zum Ziel hat.

Die angebotenen Exkursionen führen uns zu den Projekten Gotthard-Strassentunnel (Materialbewirtschaftung/Vorlos), Entlastungsstollen Sihl-Zürichsee (Thalwil) und Gubristtunnel Instandsetzung (1. und 2. Röhre). Den Teilnehmenden werden verschiedene Bereiche der Baustellen gezeigt, sodass sie sich selber einen umfassenden Einblick über die Arbeiten verschaffen können.

Der STC wäre ohne das grosse Engagement unserer treuen Sponsoren nicht umsetzbar. Deshalb gebührt ihnen mein besonderer Dank. Mein Dank richtet sich aber auch an die Referentinnen und Referenten, die Ausstellenden und die Organisatoren, welche es uns ermöglichen, diese qualitativ hochstehende Veranstaltung jedes Jahr erfolgreich durchzuführen.

Ich wünsche Ihnen viele interessante Begegnungen und lehrreiche Stunden am STC 2024!

Es grüsst Sie herzlich Ihr
Davide Fabbri, Präsident

Swiss Tunnelling Society
Fachgruppe für Untertagbau



Preface

Davide Fabbri

President of the Swiss
Tunnelling Society

Ladies and Gentlemen
Dear Colleagues

We can look back proudly on a successful anniversary year in 2023, in which we celebrated the STS' 50th anniversary with style. One of the outstanding events we experienced last year was, of course, the "InSight into the Underground" project – a great opportunity to make well-known and lesser-known underground structures accessible to the Swiss public. We are very pleased that this project has attracted so much interest across generations. The "STS Young Members Podium" was also organised for the first time in the STS' history. This event gave young engineers the opportunity to present their projects to a wider audience. The ceremony included speeches, panel discussions and musical performances and provided a memorable setting for the celebration.

After these unforgettable experiences during our anniversary year, we will return to our traditional – but no less interesting – programme in 2024. The STC will take place from 5 to 6 June 2024 in the Lucerne Hall of the KKL Luzern. The subsequent excursions on offer will take place on 7 June 2024. We are very much looking forward to meeting you in person and exchanging ideas with you!

The title of this year's colloquium is "Materials Management and Sustainability in Tunnelling". Materials management is not a new topic, but demands and requirements for efficiency and sustainability are becoming increasingly stringent, especially in the area of underground construction projects. This development is partly due to changing public and political expectations, which demand a sensible and prudent use of resources – as well as technical solutions and measures – that meet the challenges of climate protection.

The colloquium will be organised, as in previous years, in collaboration with the STS young members (STSym). To encourage young, ambitious tunnellers to take part in the STC, tickets can be purchased at special prices.

This year's congress programme is, once again, full of interesting and challenging contributions. Our selected speakers will present information on current developments in Swiss underground tunnelling projects such as the 3rd Rosenberg Tunnel, the SBB Ligerz double-track tunnel, the Gubrist Tunnel, the Ferney cut-and-cover tunnel, the Pyramides d'Euseigne Tunnel and the new rail line in Neuchâtel – La Chaux-de-Fonds. Case studies and lessons learned will also be presented. Presentations on our international tunnelling projects, including talks on the TELT Lyon-Turin Base Tunnel, the Galleria Terzo Valico and the Koralm Tunnel projects, promise an exciting exchange of technical expertise across national borders.

Finally, we are thrilled that Mr Marco Rosso, Chairman of the Board of Directors of Cargo sous terrain AG, will be giving the opening speech on an innovative project aimed at future underground, climate-friendly freight logistics.

The excursions on offer after the congress include visiting the following projects: the Gotthard road tunnel (materials management/pre-lot), the Sihl-Zürichsee spillway tunnel (Thalwil) and the Gubrist tunnel repairs (1st and 2nd tunnels). Participants will be shown different areas at the construction sites so that they can gain their own comprehensive insights into the activities being carried out.

Finally, the STC would not be feasible without the enormous commitment of our loyal sponsors. I therefore owe them my special thanks. I would also like to thank the speakers, exhibitors and organisers who make it possible for us to hold such a high-quality event so successfully every year.

I wish you plenty of exciting encounters and informative discussions at the STC 2024!

All the very best,
Davide Fabbri, President

Swiss Tunnelling Society

Hauptsponsoren • Main Sponsors



AFRY Schweiz AG, Zürich



Emch+Berger Gruppe, Bern



Amberg Engineering AG
Amberg Technologies 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



Implenia Schweiz AG, Opfikon

Sponsoren • Sponsors



Infra Tunnel SA, Marin



Pini Gruppe AG, Grono



IM Maggia Engineering SA,
Locarno
IUB Engineering AG, Bern



Renzo Tarchini
Cantieri & Contratti SA
Lugano



Lombardi AG
Bellinzona-Giubiasco, Rotkreuz,
Fribourg



Robert Aebi AG, Regensdorf



Marti Technik AG, Moosseedorf



SABAG Biel/Bienne Stahlcenter



Marti Tunnel AG, Moosseedorf



Sika Schweiz AG, Zürich



Master Builders Solutions
Schweiz AG, Holderbank



WSP | BG
Ingénieurs Conseils SA,
Lausanne

Co-Sponsoren • Co-Sponsors

A. Aegerter & Dr. O. Bosshardt AG, Basel

ACO AG, Netstal

Adolf Würth GmbH & Co. KG, Künzelsau (DE)

Bekaert (Schweiz) AG, Baden

CSD INGÉNIEURS SA, Fribourg

Dolenco Tunnel Systems, Roskilde (DK)

EBP Schweiz AG, Zürich

FAMA Srl, Zoppola (IT)

GIPO AG, Seedorf

Gruner SA, Renens

ILF Beratende Ingenieure AG, Zürich

JAUSLIN STEBLER AG, Muttenz

Liebherr-Baumaschinen AG, Reiden

Locher Ingenieure AG, Zürich

MAPEI SUISSE SA, Sorens

PORR SUISSE AG, Altdorf

Promat AG, Münchwilen

Rothpletz, Lienhard + Cie AG, Aarau

Société Suisse des Explosifs (SSE), Brig

Daniel Reichlin, Dipl. Bau-Ing. FH, Bundesamt für Strassen ASTRA, Filiale Winterthur, 8404 Winterthur/CH

3. Röhre Rosenberg, St. Gallen

Projektübersicht und Herausforderungen

Die stark belastete Stadtautobahn St. Gallen mit den beiden Tunnelröhren Rosenberg wurde 1987 in Betrieb genommen. Ab 2037 müssen diese unter Vollsperrung einer Röhre umfassend saniert werden. Damit der Verkehr im Raum St. Gallen während der Bauarbeiten nicht zum Erliegen kommt, soll vorgängig eine 3. Röhre gebaut werden. Die 3. Röhre ist Bestandteil des Gesamtprojektes A1 Engpassbeseitigung St. Gallen.

1 Projektübersicht

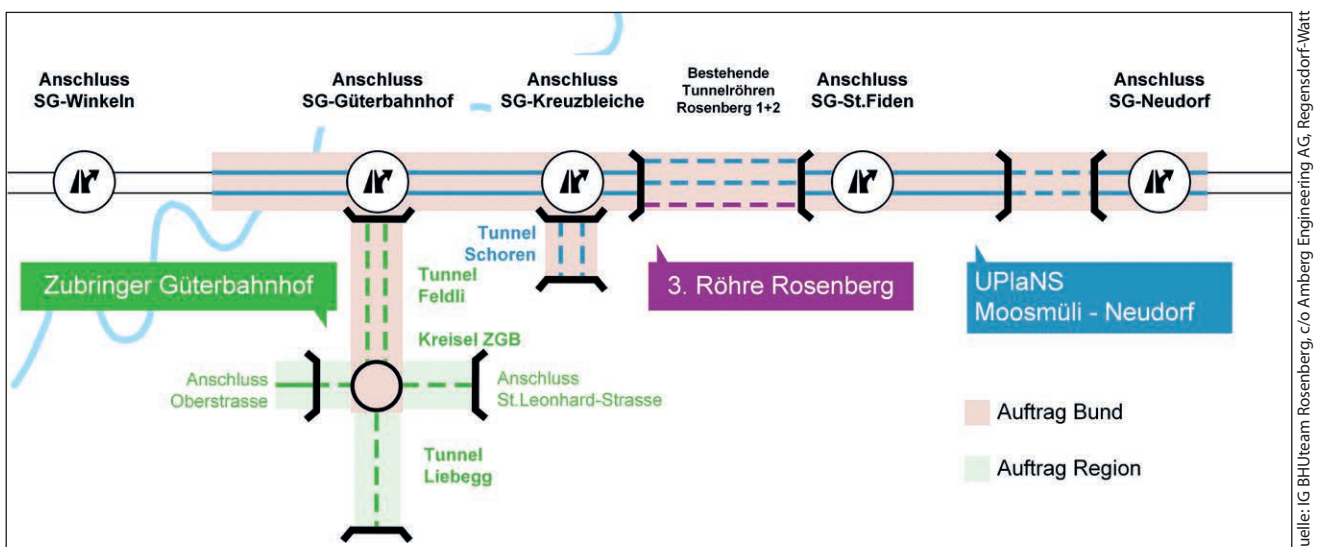
1.1 Ausgangslage

Die 1987 in Betrieb genommene vierspurige Autobahn A1 führt im Raum St. Gallen durch dichtes Siedlungsgebiet. Über die vier Anschlüsse SG-Winkeln, SG-Kreuzbleiche, SG-St. Fiden und SG-Neudorf ist sie mit dem lokalen Hauptverkehrsstrassennetz verbunden und damit für die gesamte Region von zentraler Bedeutung: Über 80 Prozent des Verkehrsaufkommens sind Ziel-, Quell- und Binnenverkehr für die Stadt, nur 20 Prozent sind Transitverkehr. Der Rosenbergtunnel teilt die Strecke in einen westlichen und einen östlichen Abschnitt. Auf einzelnen Abschnitten der Stadtautobahn St. Gallen wird während der Spitzenstunden bereits heute die Kapazitätsgrenze erreicht respektive leicht überschritten. Bis 2030 wird der Abschnitt SG-Winkeln bis SG-Neudorf erheblich überlastet sein. Zudem müssen die beiden ebenfalls 1987 in Betrieb genommenen Tunnelröhren durch den Rosenberg ab ca. 2037 nach 50 Jahren Betriebsdauer aufgrund ihres baulichen Zustands und ihres Alters zwingend umfassend saniert werden. Das Gesamtprojekt A1 Engpassbeseitigung St. Gallen hat zum Ziel, mit dem Ausbau den Verkehrsfluss zu garantieren. Die Instandsetzung der Autobahn soll zudem den sicheren Betrieb für die nächsten 15 bis 20 Jahre gewährleisten.

1.2 Gesamtprojekt A1 Engpassbeseitigung St. Gallen

Das Gesamtprojekt A1 Engpassbeseitigung St. Gallen besteht aus den drei Teilprojekten 3. Röhre Rosenberg, Zubringer Güterbahnhof sowie der Instandsetzung der Autobahn zwischen dem ehemaligen Rastplatz Moosmüli und SG-Neudorf inklusive Instandsetzung der bestehenden Röhren des Tunnels Rosenberg (Erhaltungsprojekt).

Für die Planung der 3. Röhre Rosenberg, des Tunnels Feldli samt unterirdischem Kreisell Güterbahnhof (Bestandteile Zubringer Güterbahnhof) und des UPlaNS Moosmüli-Neudorf ist das Bundesamt für Strassen ASTRA zuständig. Die weiteren Projektbestandteile des Zubringers Güterbahnhof, namentlich die Anschlüsse an das städtische Netz und der Tunnel Liebegg, liegen im Zuständigkeitsbereich des Kantons St. Gallen und werden in enger Abstimmung mit dem ASTRA sowie mit dem Kanton Appenzell Ausserrhoden, der Stadt St. Gallen und der Gemeinde Teufen geplant.



1 Schema Engpassbeseitigung St.Gallen

Troisième tube du Rosenberg à Saint-Gall

Aperçu du projet et défis

Le 3^e tube du tunnel du Rosenberg, d'une longueur de 1607 m, est conçu comme un tunnel routier à deux voies avec une bande d'arrêt d'urgence. Il pourra être exploité ultérieurement comme un tunnel routier à trois voies lorsque le projet global sera mis en service. En raison de la situation urbaine et de l'espace limité dans les environs immédiats, ce projet, commandé par l'OFROU, représente un défi majeur. Le projet est actuellement dans la phase 33 projet d'exécution. Le début des travaux est prévu pour 2030, la mise en service pour 2036. Les coûts du projet sont estimés à environ 410 millions de francs suisses hors TVA (état 2020 du projet général).

Terza canna del Rosenberg, San Gallo

Panoramica del progetto e sfide

La terza canna del Rosenberg, lunga 1607 m, è stata concepita come tunnel stradale a doppia corsia con corsia d'emergenza ed in seguito, con la messa in funzione dell'intero progetto, potrà essere utilizzata come galleria stradale a tripla corsia. La collocazione cittadina e le ristrette condizioni dello spazio nelle immediate vicinanze rendono il progetto, commissionato dall'USTRA, una grande sfida. La pubblicazione è prevista per il 2025. L'inizio dei lavori è fissato al 2030, in modo che la messa in funzione venga attuata per il 2036. Il costo previsto è di circa 410 milioni di franchi svizzeri esclusa IVA (stato Progetto Generale 2020).

Nachfolgend wird nur noch auf das Teilprojekt 3. Röhre Rosenberg eingegangen.

2 Dritte Röhre Rosenberg

Die 3. Röhre Rosenberg ist sowohl notwendig für die Sanierung der bestehenden Röhren als auch zentrales Element der Engpassbeseitigung St. Gallen.

Während der Instandsetzung der bestehenden Röhren muss jeweils die zu sanierende Röhre für den Verkehr gesperrt werden. Dies ist mit nur einer verbleibenden Röhre für den Verkehr nicht möglich. Mit dem Bau einer dritten Röhre kann die Sanierung schrittweise ausgeführt werden. Während die bestehenden Tunnel nacheinander saniert werden, fließt der Verkehr in Richtung St. Margrethen durch den neuen Tunnel.

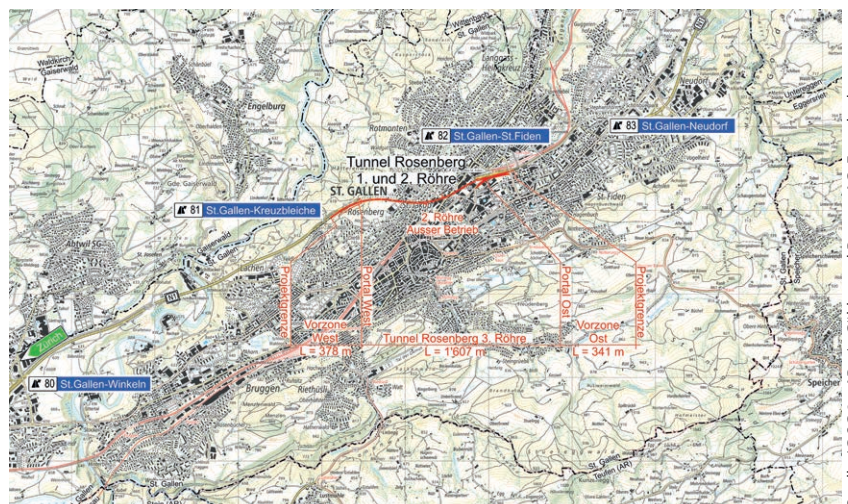
Nach Fertigstellung der Sanierungsmaßnahmen und mit der Inbetriebnahme des Zubringer Güterbahnhofs kann die 3. Röhre für die Engpassbeseitigung als dreispuriger Tunnel in Fahrrichtung St. Margrethen genutzt werden. Die beiden bestehenden Röhren nehmen dann den Verkehr nach Westen (Fahrrichtung Zürich) auf.

Die 3. Röhre Rosenberg wird als zweispuriger Strassentunnel mit Pannestreifen konzipiert, welcher später, mit Inbetriebnahme des Gesamtprojektes A1 Engpassbeseitigung St. Gallen, als dreispuriger Strassentunnel – dann ohne Pannestreifen – betrieben werden kann.

2.1 Lage der 3. Röhre Rosenberg

Die übergeordnete Linienführung wird durch die bestehenden Anschlüsse SG-Kreuzbleiche im Westen und SG-St. Fiden im Osten des Tunnelsystems bestimmt. Zudem ist im Osten die unmittelbar nördlich angrenzende Strecke der SBB zu beachten. Aus den genannten Gründen kann die neue 3. Röhre Rosenberg nur südlich der bestehenden Röhren gebaut werden.

Auch die vertikale Linienführung wird weitestgehend durch die bestehenden Infrastrukturbauwerke bestimmt. Im Westen sind dies das Ausfahrts-



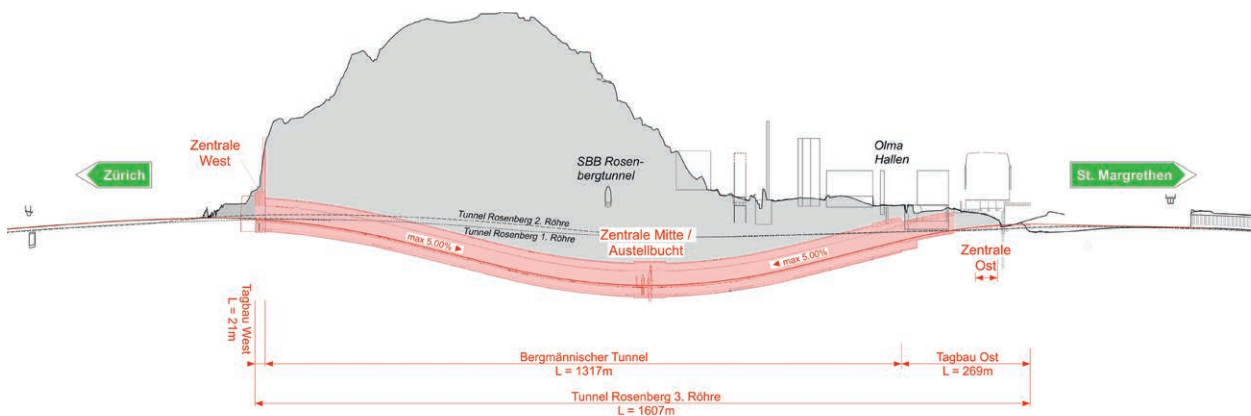
2 Übersichtsplan 3. Röhre Rosenberg (Situation nach Inbetriebnahme 3. Röhre)

Quelle: IG SG 3+ AP / c/o Gähler und Partner AG, Emmenbad

3. Röhre Rosenberg, St. Gallen • Projektübersicht und Herausforderungen

portal der Galerie Dietli (Anschluss SG-Kreuzbleiche) und das bestehende Portal der 2. Röhre. Im Osten sind es vor allem die bestehenden Olma-Hallen, die kürzlich errichtete Überdeckung Rosenberg und der Ausfahrtstunnel St. Fiden. Weiter sind bestehende Gebäude wie das Radisson Blu Hotel/Casino sowie der bestehende SBB-Tunnel für die Linienführung im Berg massgebend.

Die 3. Röhre weist eine Gesamtlänge von rund 1.6 km auf. Das Tunnelportal im Westen befindet sich ungefähr auf Höhe der bestehenden Portale. Nach einem kurzen Tagbauabschnitt im Westen folgt der etwa 1.3 km lange bergmännische Abschnitt, welcher im östlichen Bereich das bestehende Olma-Areal mit knapper Überdeckung unterfährt. Im Bereich der bestehenden Olma-Halle 9 wird der Tunnel in Deckelbauweise (109 m) erstellt. Bevor der Tunnel im Osten endet, unterquert er in der Überdeckung Rosenberg Ost die neue Halle 1 der Olma (158 m). In diesem Bereich wird der Tunnel für den neuen Ausfahrtsstreifen St. Fiden verbreitert (unterirdische Ausfahrt). Aufgrund der bergmännischen Unterquerung des westlichen Olma-Areals und weiterer Infrastrukturobjekte (Radisson Blu Hotel/Casino, SBB-Tunnel Rosenberg) muss der Tunnel in den Portalbereichen möglichst rasch sinken. Die Längsneigung in diesen Bereichen beträgt deshalb bis zu 5 %. Aus diesem Grund weist das Längsprofil eine Wanne mit einem Tiefpunkt ungefähr in Tunnelmitte auf. Dort befindet sich auch eine unterirdische Betriebszentrale mit integrierter Pumpstation, welche mit einer Ausstellbucht erschlossen wird.



Quelle: IG SG 3+ AP, c/o Gähler und Partner AG, Ennetbaden

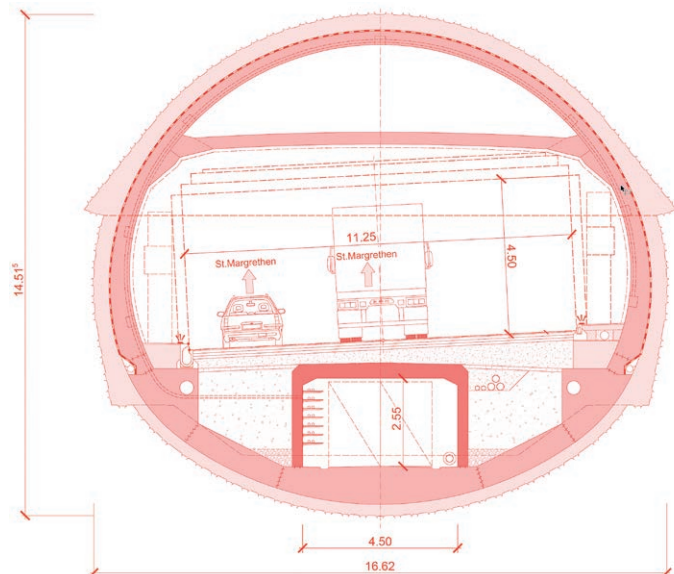
3 Längsprofil 3. Röhre Rosenberg (5-fach überhöht)

2.2 Lichtraumprofil und verkehrstechnischer Nutzraum

Das Lichtraumprofil der 3. Röhre Rosenberg entspricht dem ASTRA-Standardprofil für 2-streifige Richtungsfahrbahnen mit Pannestreifen, was eine Fahrbahnbreite von 11.25 m ergibt. Die Höhe beträgt 5.20 m (inkl. Raum für Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen [BSA]). Beim Anschluss SG-Kreuzbleiche wird der Pannestreifen im Tunnel auf einer Länge von 400 m als Einfahrtspur genutzt. Im Bereich des Anschlusses SG-St. Fiden erweitert sich der Querschnitt um die Breite der Ausfahrtsspur.

2.3 Normalprofil der 3. Röhre Rosenberg

Das Normalprofil unterscheidet sich in den verschiedenen Tagbauabschnitten und dem bergmännischen Abschnitt. Als Baumethode für den bergmännischen Tunnel ist ein maschinenunterstützter Vortrieb im Fels (MUF) vorgesehen. Das Normalprofil im bergmännischen Abschnitt besteht aus einer Ausbruchssicherung variabler Dicke aus netz- oder stahlfaserbewehrtem Spritzbeton mit Gitterträgern und einer definitiven Innenschale aus Ort beton. Unterhalb des Fahrtraums befindet sich der Werkleitungskanal (WELK). Aufgrund der unterschiedlichen vertikalen Linienführung wären Querverbindungen in die 2. Röhre nur mit sehr grossem Aufwand (hohe Treppenschächte) möglich. Der WELK der 3. Röhre wird deshalb auch als Flucht- und Interventionsweg genutzt. Die Zugänglichkeit ist über zwei Portalzentralen und fünf seitliche Notabgänge gegeben. Oberhalb des Fahrtraums befindet sich der Abluftkanal, durch den der Rauch im Ereignisfall zur Portalzentrale im Westen geführt und dort ausgestossen wird.



Quelle: IG SG 3+ AP, c/o Gähler und Partner AG, Ennetbaden

4 Normalprofil 3. Röhre Rosenberg

3 Herausforderungen

Beim Projekt 3. Röhre Rosenberg gibt es verschiedene geologische, hydrologische, logistische und bauliche Herausforderungen zu meistern. Nachfolgend wird auf zwei davon vertieft eingegangen:

- Rutschhang/Stützbauwerk Dietli
- Logistik im städtischen Gebiet

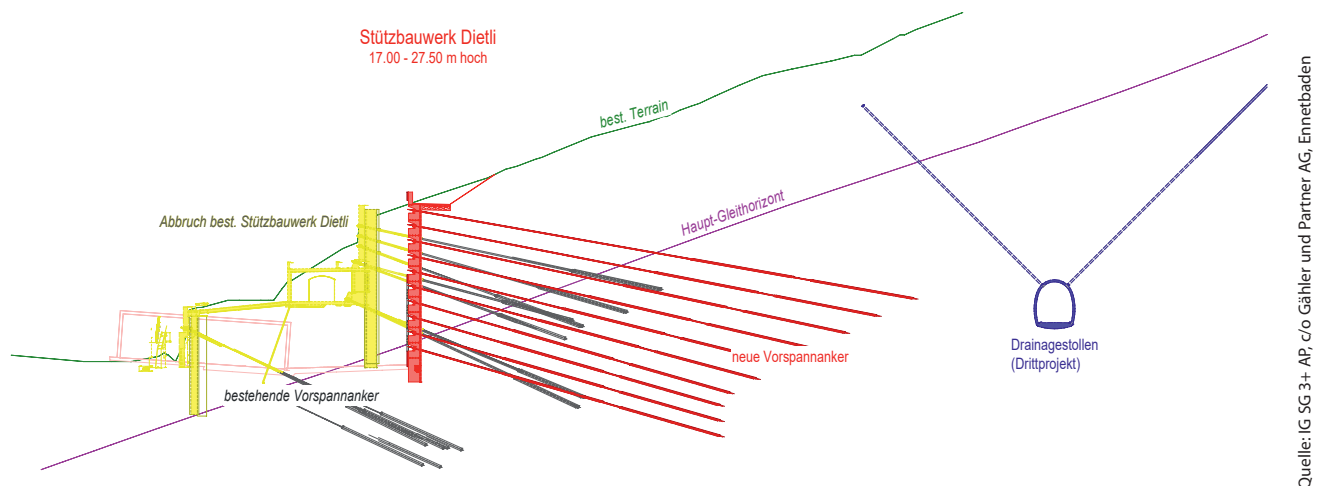
3.1 Rutschhang/Stützbauwerk Dietli

Um Platz für den Bau des neuen offenen Trassees vor der 3. Röhre im Westen sowie des Westportals samt neuer Betriebszentrale zu erhalten, müssen die bestehenden Stützkonstruktionen im Bereich des Rutschhangs Dietli grösstenteils abgebrochen und für den Bau des erforderlichen Voreinschnittes weiter südlich neu erstellt werden.

3.1.1 Rutschhang Dietli

Der Rutschhang Dietli ist ein aktiver Kriechhang, welcher sich seit dem Bau der Stadtautobahn trotz intensiver messtechnischer Überwachung und daraus abgeleiteten, massiven Sicherungsmassnahmen kontinuierlich mit bis zu 2 mm/Jahr Richtung Sitter bewegt. Im Bereich der Rutschung wurden im Verlaufe des Projektes 3. Röhre Rosenberg respektive schon davor im Rahmen des sich derzeit in Ausführung befindenden Projektes UPlaNS St. Gallen West–St. Gallen Ost umfangreiche Sondierkampagnen durchgeführt, woraus ein detailliertes Schichtmodell entwickelt werden konnte. Geologisch besteht dieser Bereich aus einer Abfolge von Ton-, Siltstein- und Sandsteinschichten der oberen Süsswassermolasse, welche ungefähr in Hangrichtung einfallen. In Oberflächennähe können die Schichten auch glazial verschleppt sein. Die Ton- und Siltsteine weisen sehr geringe Durchlässigkeiten auf und wirken somit als Grundwasserstauer. In den besser durchlässigen Sandsteinschichten wurden teils artesisch gespannte Druckverhältnisse gemessen. Die teils kohligten Tonsteine und die tonigen Siltsteine werden hinsichtlich der felsmechanischen Eigenschaften als kritisch eingestuft und verfügen über mehrere Gleithorizonte. Im Bereich der grössten Verformungsgeschwindigkeiten befindet sich unmittelbar unter einem dieser Gleithorizonte ein sogenannter Rinnengürtel-sandstein. Der erhöhte Wasserdruck reduziert die rückhaltenden Kräfte und vermindert die geotechnischen Kennwerte des Rinnengürtelsandsteins zusätzlich. Diese ungünstige Konstellation wird als Hauptursache für die Kriechverformungen angesehen.

Der Rutschhang Dietli soll im Rahmen des zurzeit laufenden Projektes UPlaNS St. Gallen West–St. Gallen Ost mittels umfangreicher Tiefendrainage aus einem hangparallelen Stollen und ergänzenden Massnahmen zur Reduktion der Oberflächenwasserinfiltration entwässert und dadurch massgeblich saniert werden. Davon profitiert auch der Voreinschnitt zur 3. Röhre, der den Rutschhang Dietli quert.



5 Querprofil mit neuem und altem Stützbauwerk Dietli sowie Drainagegestollen (Drittprojekt)

3.1.2 Stützbauwerk Dietli

Im Bereich des Rutschhangs Dietli werden durch die 3. Röhre Rosenberg die beiden folgenden Bauwerke tangiert, welche abgebrochen und ersetzt werden müssen:

- Dabauwand, eine Stützkonstruktion aus aufeinandergesetzten, vorgefertigten und mit Lebendverbau verfüllten Trogelementen
- Stützmauer Dietli Süd, zwei massive rückverankerte Bohrpfehlwände inklusive Kastenlongarine

Unter Berücksichtigung der anspruchsvollen Geologie und des Übergangs von Trasse zum Tunnel (Westportal) musste für diesen Bereich eine Gesamtlösung gefunden werden, welche die verschiedenen Anforderungen für den Endzustand und während

3. Röhre Rosenberg, St. Gallen • Projektübersicht und Herausforderungen

des Baus abdeckt. Aktuell wird der Rutschhang Dietli von zwei massiven rückverankerten Bohrpfehlwänden gehalten. Diese können nicht entfernt werden, da sie für die Gesamtstabilität unabdingbar sind. Aus diesem Grund muss der Bau des neuen Stützbauwerks und der Abbruch der bestehenden Stützbauwerke Hand in Hand gehen. Die rund 1000 bestehenden Vorspannanker sind unregelmässig über die bestehenden Stützkonstruktionen verteilt. Dieses dichte Raster an bestehenden Vorspannankern lässt aufgrund der Ausfallgefahr das Abteufen von Bohrpfehlen nicht zu, weshalb der Bau einer neuen Stützkonstruktion mit Bohrpfehlen nicht möglich ist.

Als neue Stützkonstruktion ist eine massive rückverankerte Ortsbetonwand geplant, welche in horizontalen Unterfangungsetappen von 1.5 m Höhe von der Terrainoberfläche bis auf das Niveau des Trassees abgeteuft wird. Die neuen Vorspannanker (Bruchkraft ca. 2200 kN) werden in einem Raster von 1.5 m x 1.5 m angeordnet und sind bis zu 60 m lang. Zur Optimierung des Verankerungsbereiches werden die Verankerungskörper versetzt und vertikal fächerförmig angeordnet. Auf der Mauerkrone sind eine Ortsbetonbrüstung als Absturzsicherung und ein Unterhaltungsweg vorgesehen. Die Konstruktion ist rund 240 m lang und an der höchsten Stelle rund 30 m hoch. Das Bauwerk wird im Grundriss grösstenteils kreisförmig ausgebildet. Die neue Stützmauer Dietli endet beim neuen Westportal der 3. Röhre Rosenberg. Dieses wiederum schliesst an die bestehenden Westportale an und soll gestalterisch in Einklang mit der Umgebung und den weiteren neuen Elementen (Zentrale West beim Portal der 3. Röhre, Rauchauslassbauwerk und Antirezirkulationswände) eine einheitliche Gesamterscheinung ergeben. Deshalb wurde für die Gestaltung eine architektonische Gesamtlösung angestrebt. Die Ankerköpfe der neuen Stützmauer Dietli werden in horizontal durchgehenden Nischen innerhalb der Betonkonstruktion versenkt. Im unteren Teil wird die Konstruktion ausserhalb der Ankerköpfe mit Lärmschutzelementen verkleidet.

Zur erdseitigen Entwässerung des Stützbauwerks ist ein langfristig funktionstüchtiges, kontrollier- und spülbares Drainagesystem erforderlich. Das anfallende Hang- bzw. Sickerwasser an der Mauerrückseite wird mit einer druckfesten Drainageschicht (Noppenfolienstreifen zwischen den Anker) vertikal drainiert und in einer am Fuss der Konstruktion längs verlaufenden Sickerleitung gefasst und abgeleitet. Um einen Aufstau hinter der Spritzbetonwand (temporäre Sicherung während des Unterfangens) zu verhindern, muss diese vor dem Einbau der Drainagestreifen mit Drainagebohrungen perforiert werden.

Aufgrund des Neubaus des Stützbauwerks Dietli muss auch die Ableitung eines Baches neu konzipiert werden. Dazu wird dieser oberhalb der neuen Konstruktion gefasst und mittels Absturzschächten, welche in das Bauwerk integriert werden, in ein Tosbecken im Bereich des unteren Vorplatzes geleitet.



Quelle: Schalch + Aeschbacher AG Eschlikon, Eschlikon

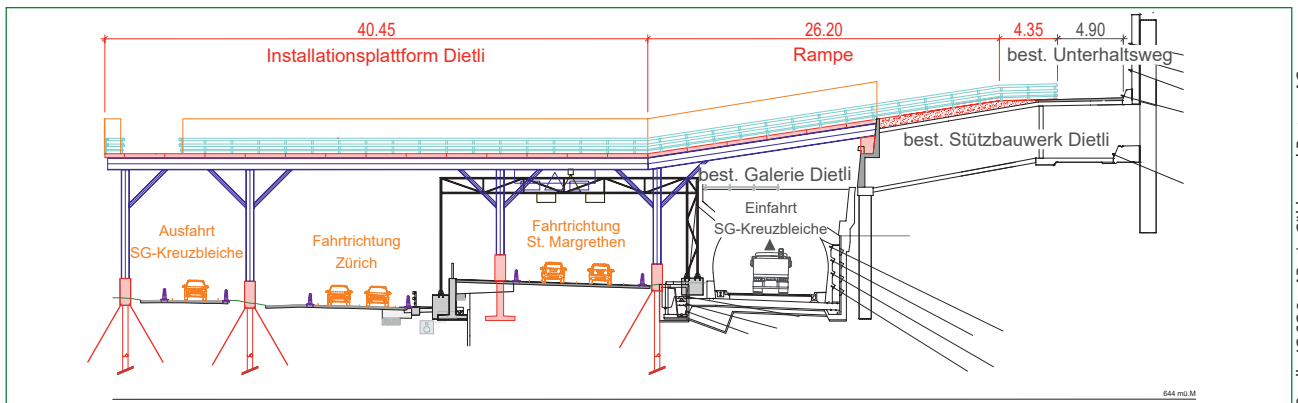
6 Visualisierung Westportal mit neuer Stützmauer Dietli

3.2 Logistik im städtischen Gebiet

Für das Gesamtprojekt ist durch den Kanton St. Gallen eine projektspezifische Deponie im Osten von St. Gallen, bei Mörschwil direkt neben der Autobahn, geplant. Die Materialtransporte für das Ausbruchmaterial sollen möglichst direkt über die Autobahn abgewickelt werden, weshalb für die Deponieerschliessung ein provisorischer Halbanschluss vorgesehen ist.

Die Lage der 3. Röhre Rosenberg mit dem Westportal in einem bewaldeten Hang und dem Ostportal in innerstädtischem Gebiet erlaubt es nicht, dass direkt bei einem der Portale ein Hauptinstallationsplatz eingerichtet werden kann. Aufgrund der sehr engen Platzverhältnisse und der schwierigen Erschliessungsmöglichkeiten wird im Westen, im Bereich der Galerie Dietli, eine rund 60 m lange und etwa 50 m breite Installationsplattform über der Autobahn erstellt, welche über Auffahrtsrampen ab der Autobahn von Westen und Osten erreicht werden kann. Die Wegfahrt erfolgt aus Platzgründen nur nach Westen. Über diese Installationsplattform können der Hauptvortrieb und die Rohbauarbeiten direkt bedient werden. Für den Bau der Installationsplattform und die ersten Bauarbeiten für den Voreinschnitt West bzw. das neue Stützbauwerk Dietli ist eine Installationsfläche im Bereich Hölzli vorgesehen. Im Osten ist für die Arbeiten an den Tagbauabschnitten im Bereich des Olma-Areals und den Gegenvortrieb ein Installationsplatz auf dem heutigen Areal des Werkhofs Widacker und somit in unmittelbarer Nähe zum Autobahnanschluss St. Fiden geplant. Der Hauptinstallationsplatz ist aus Platzgründen weiter im Westen im Bereich des Anschlusses SG-Winkeln und des ehemaligen Rastplatzes Moosmüli vorgesehen. Soweit es geht, sollen die Transporte direkt über die Autobahn geführt werden, sodass die Stadt St. Gallen und insbesondere deren Wohnquartiere nur minimal belastet werden.

3. Röhre Rosenberg, St. Gallen • Projektübersicht und Herausforderungen



7 Installationsplattform Dietli

4 Kosten

Die Kosten für die 3. Röhre Rosenberg belaufen sich auf rund 410 Millionen Schweizer Franken exkl. MWST (Kostenstand gemäss genehmigtem Generellem Projekt, Preisbasis März 2020).

5 Termine

Das Generelle Projekt wurde vom Bundesrat am 30. März 2022 genehmigt. Als nächster Schritt wird derzeit das Ausführungsprojekt 3. Röhre Rosenberg ausgearbeitet und anschliessend öffentlich aufgelegt, dies wird voraussichtlich 2025 erfolgen. Die weiteren Projektschritte, wie die Ausarbeitung des Detailprojektes und die Vergabe der Realisierungsarbeiten, sind vom Abschluss des Plangenehmigungsverfahrens abhängig. Der Start der Hauptbauarbeiten ist nicht vor 2030 vorgesehen. Können die geplanten Termine eingehalten werden, so kann 2036 mit der Inbetriebnahme der 3. Röhre Rosenberg gerechnet werden.

PROJEKTDATEN

Region

St.Gallen, Schweiz

Bauherr, Projekt- und Oberbauleitung

Bundesamt für Strassen ASTRA, Filiale Winterthur

Planung und Bauherrenunterstützung Phase Ausführungsprojekt

- IG BHUteam Rosenberg, c/o Amberg Engineering AG, Regensdorf-Watt (Amberg Engineering AG, B+S AG, AFRY Schweiz AG), Bauherrenunterstützung
- IG SG 3+ AP, c/o Gähler und Partner AG, Ennetbaden (Gähler und Partner AG, Basler & Hofmann AG, F. Preisig AG, R. Brüniger AG), Projektverfasser Teilprojekt 3. Röhre Rosenberg
- AFRY Schweiz AG, Zürich, Spezialist Umwelt
- CSD Ingenieure AG, St. Gallen, Spezialist Geologie
- Egli Engineering AG, St. Gallen, Spezialist Naturgefahren
- Gruner AG, Basel, Spezialist Verkehr
- IG RoBe Akustik, c/o Basler & Hofmann AG, (Basler & Hofmann AG, Grolimund + Partner AG), Spezialist Akustik
- Amstein + Walther Progress AG, Zürich, Spezialist Lüftung
- Ingenieurbüro Franz Zumsteg, Lenzburg, Experte Lüftung
- Stadt St. Gallen Geomatik und Vermessung, St. Gallen, Spezialist Vermessung
- Schalch + Aeschbacher AG Eschlikon, Eschlikon, Spezialist Gestaltung

Kenndaten

Bauzeit: geplant 2030–2036
Inbetriebnahme: 2036
Baukosten Tunnel: CHF 410 Mio. exkl. MWST (Preisbasis März 2020)
Gesamtlänge: 1607 m
Ausbruchquerschnitt: 186 m²

Daniel Reichlin, Dipl. Bau-Ing. FH, Federal Roads Office (FEDRO), Winterthur Branch, 8404 Winterthur/CH

Third Rosenberg Tunnel, St Gallen

Project overview and challenges

The heavily congested urban motorway in St Gallen, including its two Rosenberg tunnel tubes, was commissioned in 1987. From 2037, these tunnels will have to be extensively renovated – with one tunnel at a time needing to be completely closed during construction. To ensure that traffic in the St Gallen area does not come to a standstill during construction work, a 3rd tunnel will be constructed beforehand. The 3rd tube is part of the overall A1 St Gallen bottleneck elimination project.

1 Project overview

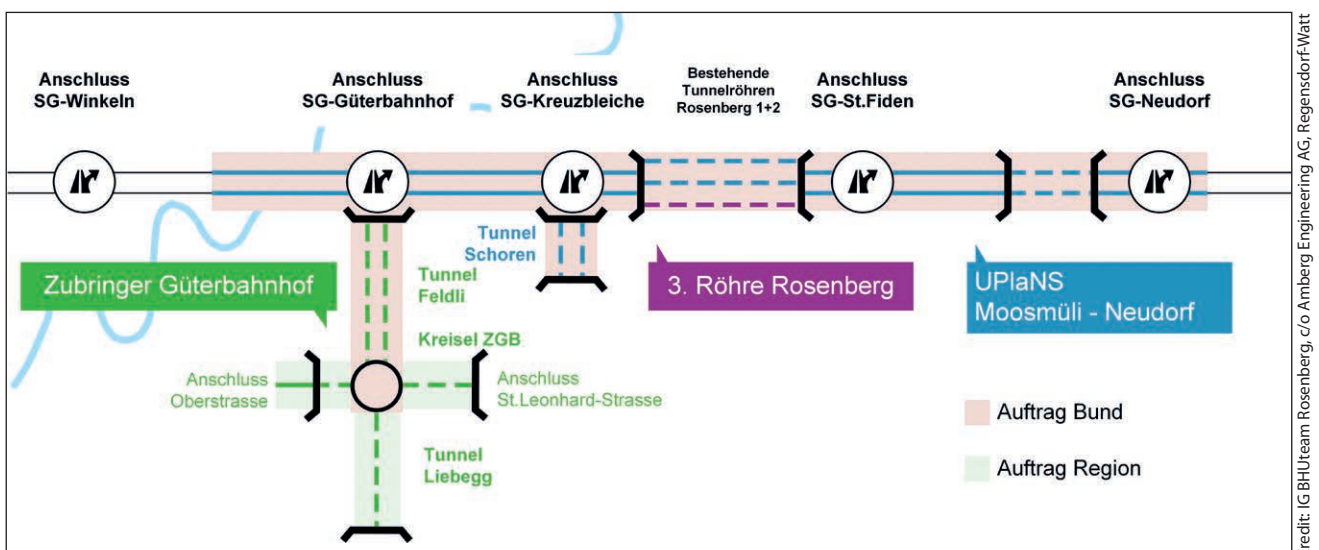
1.1 Initial details

The four-lane A1 motorway, which was commissioned in 1987, passes through a densely populated area in the St Gallen region. It is connected to the local main road network via four junctions – SG-Winkeln, SG-Kreuzbleiche, SG-St. Fiden and SG-Neudorf – and is therefore crucially important for traffic in the entire region. Over 80% of traffic volume is destination, source and internal traffic within the city, while only 20% is transit traffic. The Rosenberg tunnel divides the roadway into a west-bound and an east-bound section. During peak hours, some sections of the St Gallen city motorway currently reach or slightly exceed the capacity limit. It is projected that, by 2030, the section from SG-Winkeln to SG-Neudorf will be considerably overloaded. In addition, the two tunnels running through Rosenberg, which were also commissioned in 1987, will have to be extensively renovated starting around 2037 due to their structural condition after 50 years of operation. The overall A1 St Gallen bottleneck elimination project aims to guarantee smooth traffic flow by means of this expansion. The required motorway maintenance is also intended to ensure safe operation for the next 15 to 20 years.

1.2 Overall A1 bottleneck elimination project, St Gallen

The overall A1 St Gallen bottleneck elimination project consists of three sub-projects: a) the 3rd Rosenberg tunnel, b) the freight station feeder line and c) motorway maintenance between the former Moosmüli service area and the SG-Neudorf junction, including repair of the existing tubes of the tunnel Rosenberg (maintenance project).

The Federal Roads Office (FEDRO) is responsible for planning the 3rd Rosenberg tunnel, the Feldli tunnel – including the underground roundabout at the freight station (part of the feeder line to the freight station) – and the Moosmüli-Neudorf National Roads Maintenance Plan (UPlaNS). The other project components comprising the freight station feeder line, namely the junctions to the urban network and the Liebegg tunnel, are the responsibility of the Canton of St Gallen and are being planned in close consultation with FEDRO, the Canton of Appenzell Ausserrhoden, the City of St Gallen and the Municipality of Teufen.



1 Bottleneck elimination scheme, St Gallen

Troisième tube du Rosenberg à Saint-Gall

Aperçu du projet et défis

Le 3^e tube du tunnel du Rosenberg, d'une longueur de 1607 m, est conçu comme un tunnel routier à deux voies avec une bande d'arrêt d'urgence. Il pourra être exploité ultérieurement comme un tunnel routier à trois voies lorsque le projet global sera mis en service. En raison de la situation urbaine et de l'espace limité dans les environs immédiats, ce projet, commandé par l'OFROU, représente un défi majeur. Le projet est actuellement dans la phase 33 projet d'exécution. Le début des travaux est prévu pour 2030, la mise en service pour 2036. Les coûts du projet sont estimés à environ 410 millions de francs suisses hors TVA (état 2020 du projet général).

Terza canna del Rosenberg, San Gallo

Panoramica del progetto e sfide

La terza canna del Rosenberg, lunga 1607 m, è stata concepita come tunnel stradale a doppia corsia con corsia d'emergenza ed in seguito, con la messa in funzione dell'intero progetto, potrà essere utilizzata come galleria stradale a tripla corsia. La collocazione cittadina e le ristrette condizioni dello spazio nelle immediate vicinanze rendono il progetto, commissionato dall'USTRA, una grande sfida. La pubblicazione è prevista per il 2025. L'inizio dei lavori è fissato al 2030, in modo che la messa in funzione venga attuata per il 2036. Il costo previsto è di circa 410 milioni di franchi svizzeri esclusa IVA (stato Progetto Generale 2020).

The following article only expands upon the planned 3rd Rosenberg tunnel.

2 The 3rd Rosenberg tunnel

The 3rd Rosenberg tunnel is necessary to renovate the existing tunnels and is a central element of the St Gallen bottleneck elimination project.

While the existing tubes are being renovated, the tube undergoing repair must be closed to traffic. Only having one tunnel open will not be sufficient for traffic flow. By constructing a 3rd tunnel, renovation can be carried out in stages. While the existing tunnels are being renovated one after the other, traffic in the direction of St Margrethen will flow through the new tunnel.

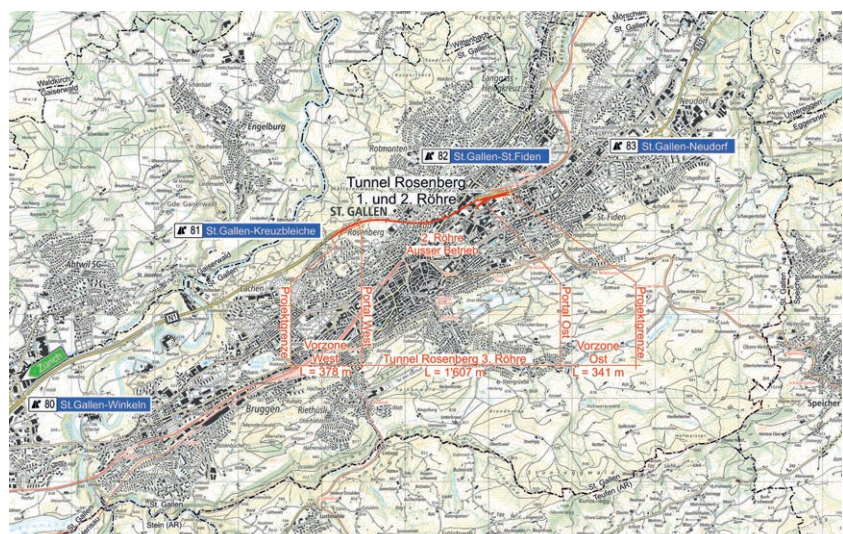
Once renovation work has been completed and the freight station feeder line has been commissioned, the 3rd tunnel can be used as a three-lane tunnel in the direction of St Margrethen. The two existing tunnels will then accommodate traffic travelling west (towards Zurich).

The 3rd Rosenberg tunnel will be designed as a two-lane road tunnel with an emergency lane, which can later be operated as a three-lane road tunnel – with no emergency lane – when the overall A1 St Gallen bottleneck elimination project is commissioned.

2.1 Location of the 3rd Rosenberg tunnel

The superordinate geometrical alignment will be determined by the existing junctions SG-Kreuzbleiche to the west of the tunnel system and SG-St Fiden to the east. In addition, the SBB railway line immediately to the north of the system must also be considered. All of these considerations mean that the 3rd Rosenberg tunnel can only be built south of the existing tunnels.

The vertical geometrical alignment will also be largely determined by existing structures in the vicinity. To the west, these structures include the



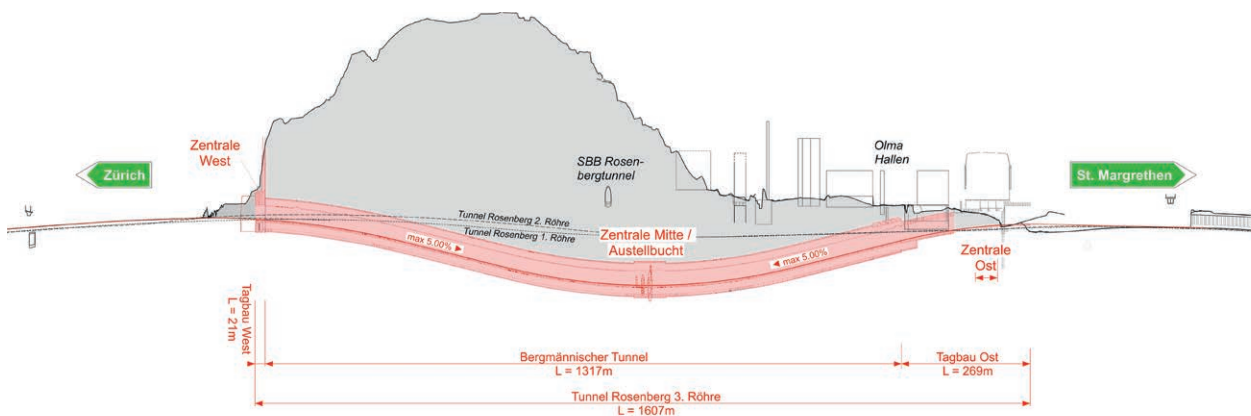
2 General plan of the 3rd Rosenberg tunnel (after commissioning the 3rd tunnel)

Credit: IG SG 3+ AP; c/o Gähler and Partners AG, Emmetbaden

Third Rosenberg Tunnel, St Gallen • Project overview and challenges

Dietli Gallery exit portal (SG-Kreuzbleiche junction) and the 2nd tunnel's existing portal. To the east, these structures mainly comprise the Olma Congress Hall, the recently constructed Rosenberg motorway roof cover and the St Fiden exit tunnel. Other existing structures such as the Radisson Blu Hotel/Casino and the SBB (Swiss Federal Railway) railway tunnel are also crucial for the geometrical alignment in the mountain.

The 3rd tunnel will have a total length of around 1.6 km. The tunnel portal to the west will be located at roughly the same height as the existing portals. After a short open cut construction section in the west, the approximately 1.3 km long mined section will pass under the existing Olma complex to the east with a tight overburden. The tunnel will be constructed using the top-down construction method (109 metres) near Olma Hall 9. Before the tunnel ends in the east, it will pass under the recently built Olma Hall 1 (158 metres) above the Rosenberg East roof construction. This is where the tunnel will be widened for the new St Fiden exit lane (underground exit). The tunnel must descend as quickly as possible in the portal areas due to the mining undercut near the western Olma complex and other infrastructure (Radisson Blu Hotel/Casino, Rosenberg SBB railway tunnel). The longitudinal incline in these areas is therefore up to 5%. This is why the longitudinal profile sags – with a low point at approximately the centre of the tunnel. There is also an underground operating centre with an integrated pumping station, which is accessed via a service bay.



Credit: IG SG 3+ AP, c/o Gähler and Partners AG, Ennetbaden

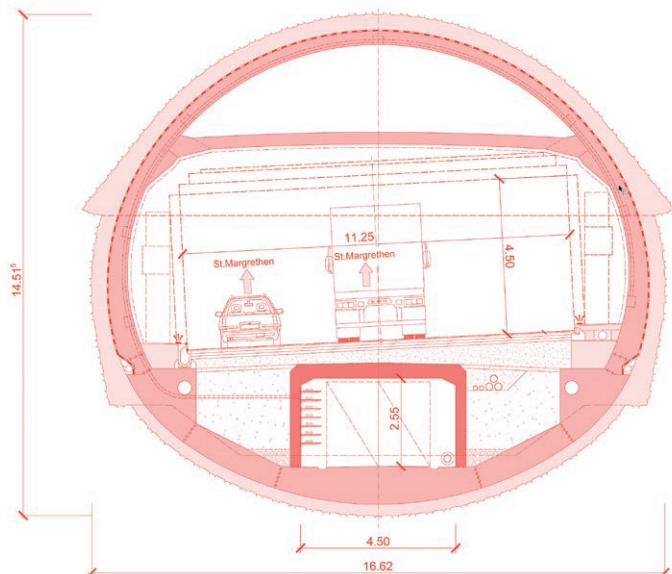
3 Longitudinal profile of the 3rd Rosenberg tunnel (5-fold super-elevated)

2.2 Clearance profile and traffic-related usable space

The clearance profile of the 3rd Rosenberg tunnel corresponds to FEDRO's standard profile for two-lane carriageways with emergency lanes, resulting in a carriageway width of 11.25 metres. Its height measures 5.20 metres (including space for operating and safety equipment [BSA Switzerland]). At the SG-Kreuzbleiche junction, the emergency lane in the tunnel will be used as an entry lane over a length of 400 metres. In the SG-St Fiden junction area, the cross-section will be expanded by the width of the exit lane.

2.3 Standard profile of the 3rd Rosenberg tunnel

The standard profile differs in the various open cut sections and the mined section. The planned construction method for the mined section of the tunnel is machine-assisted tunnelling in rock. The standard profile in the mined section comprises a rock support of variable thickness made of sprayed concrete reinforced with mesh or steel fibre with lattice girders and a definitive inner shell made of in-situ concrete. The utility duct (UD) is located below the traffic space. Due to the differing vertical geometrical alignment, cross passages into the 2nd tunnel would only be possible with considerable effort (high stair shafts). The 3rd tunnel's UD will therefore also be used as an emergency exit and intervention route. Access will be provided via two portal control centres and five lateral emergency exits. The smoke duct will be located above the traffic space, and smoke will be routed towards the portal control centre in the west and expelled in the event of an incident.



4 Standard profile of the 3rd Rosenberg tunnel

Credit: IG SG 3+ AP, c/o Gähler and Partners AG, Ennetbaden

3 Challenges

There are various geological, hydrological, logistical and structural challenges to overcome regarding the 3rd Rosenberg tunnel project. Two of these issues are discussed in more detail below:

- Landslide slope/Dietli retaining structure
- Logistics in the surrounding urban area

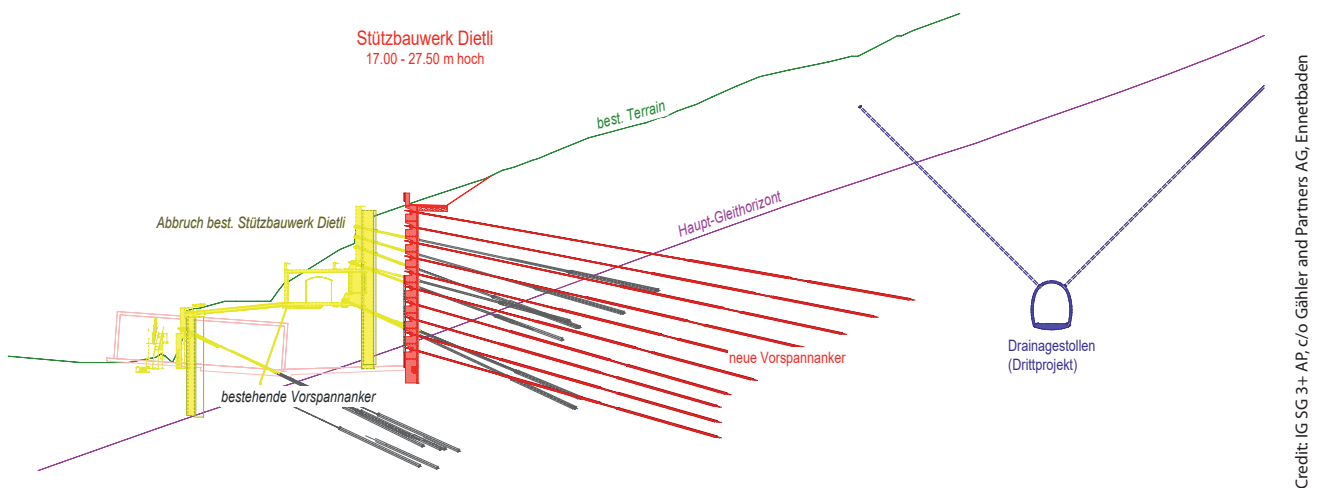
3.1 Dietli landslide slope/retaining structure

In order to obtain space for the construction of the new open roadway in front of the 3rd tunnel to the west, as well as the western portal and the new operations centre, most of the existing retaining structures in the Dietli landslide slope area must be demolished and rebuilt to construct the necessary preliminary cut further south.

3.1.1 Dietli landslide slope

The Dietli landslide slope is an actively shifting slope that has been continuously moving towards the river Sitter at a rate of up to 2 mm/year since the construction of the urban motorway, despite intensive metrological monitoring and subsequent extensive safety measures. Extensive exploratory campaigns were carried out around the landslide slope as part of the 3rd Rosenberg tunnel project – and even beforehand as part of the St Gallen West–St Gallen East UPlaNS project, which is currently being implemented. Geologically, this area consists of a sequence of clay, siltstone and sandstone layers from the upper freshwater molasse, which roughly dip in the direction of the slope. Near the surface of the slope, the layers can also be glacially transported. The clay and siltstone exhibit very low permeability and thus act as groundwater barriers. In the more permeable sandstone layers, artesian pressure conditions were measured in some cases. The partly carbonaceous claystone and the clayey siltstone are classified as critical in terms of rock mechanic properties and have several slip planes. Directly beneath one of these slip planes, in the strongest strain rate zone, an area of “channel belt” sandstone exists. The increased water pressure here reduces the restraining forces of the material and further reduces the geotechnical characteristics of the channel belt sandstone. This unfavourable situation is considered to be the main cause of creep deformation.

As part of the ongoing St Gallen West–St Gallen East UPlaNS project, the Dietli landslide slope is set to be drained by means of extensive deep drainage from a tunnel parallel to the slope and additional measures to reduce surface water infiltration, thereby significantly stabilising it. This will also have a beneficial effect on the preliminary cut to the 3rd tunnel, which will cross the Dietli landslide slope.



5 Cross-section with the new and old Dietli retaining structure and drainage tunnel (third-party project)

3.1.2 Dietli retaining structure

In the Dietli landslide slope area, the 3rd Rosenberg tunnel will affect the following two structures, which will have to be demolished and replaced:

- The Dabau Wall, a retaining structure made of prefabricated stacked trough elements filled with biologically stabilised soil structures
- The Dietli South retaining wall, with two solid back-anchored bored pile walls including pre-stressed box cross members

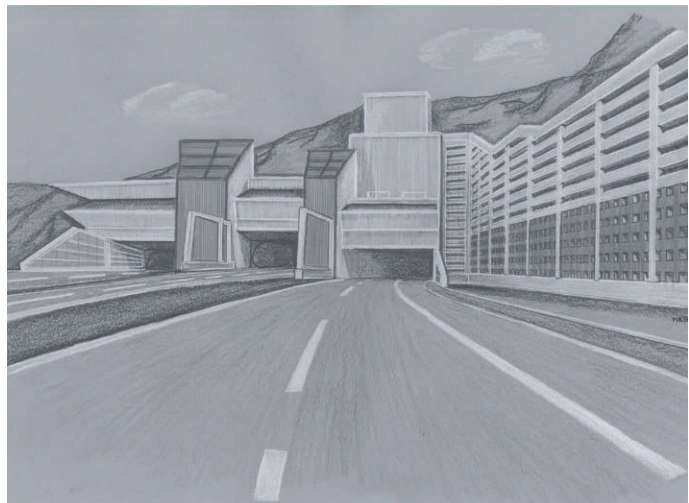
Taking into account the challenging geology and the passage from roadway to tunnel (west portal), an overall solution had to be found for this area that covered the various requirements for the main stage and final stage of construction. The Dietli

landslide slope is currently held in place by two solid back-anchored bored pile walls. These cannot be removed, as they are essential for the overall stability of the area. For this reason, constructing the new retaining structure and demolishing the existing retaining structures must go hand in hand. The approximately 1,000 existing pre-stressed rock bolts are irregularly distributed over the existing retaining structures. The dense grid of existing pre-stressed rock bolts does not enable bored piles to sink due to the risk of collapse, which is why constructing a new retaining structure with bored piles is not possible.

The planned new retaining structure is a solid back-anchored in-situ concrete wall, which will be sunk in horizontal underpinning stages of 1.5 metres in height from the ground surface to the level of the roadway. The new pre-stressed rock bolts (with a breaking strength of approx. 2,200 kN) will be arranged in a grid of 1.5 m x 1.5 m and will be up to 60 m long. To optimise the bolting area, the rock bolts will be offset and arranged vertically in a fan shape. An in-situ concrete collar will be constructed on the top of the wall as protection against collapse, and a maintenance path will be designed. The structure will measure around 240 metres in length and will be around 30 metres high at its highest point. The structure will be largely circular in shape. The new Dietli retaining wall will end at the west portal of the 3rd Rosenberg tunnel. This, in turn, will connect to the existing western portals and is intended to create a uniform overall appearance in harmony with the surrounding area and additional new structures (western switchboard at the portal of the 3rd tunnel, smoke exhaust structure and anti-circulation walls). All these reasons prompted experts to seek an overall architectural solution for this design project. The anchor heads within the new Dietli retaining wall will be sunk into horizontally continuous niches within the concrete structure. The lower part of the structure beyond the rock bolt heads will be covered with noise protection elements.

A long-term functional, controllable and flushable drainage system is required to drain the retaining structure at ground level. The slope and seepage water accumulating at the back of the wall is drained vertically with a pressure-resistant drainage layer (air gap membrane strips between the bolts) and collected and drained in a seepage pipe running lengthways at the foot of the structure. In order to prevent build-up behind the sprayed concrete wall (temporary protection during underpinning), the latter must be perforated with drainage holes before the drainage strips are fitted.

As a result of constructing the new Dietli retaining structure, a nearby stream must also be diverted. To achieve this, the water will be collected above the new structure and channelled into a settling basin in the lower forecourt area via drop holes integrated into the structure.



6 Visualisation of the western portal with the new Dietli retaining wall

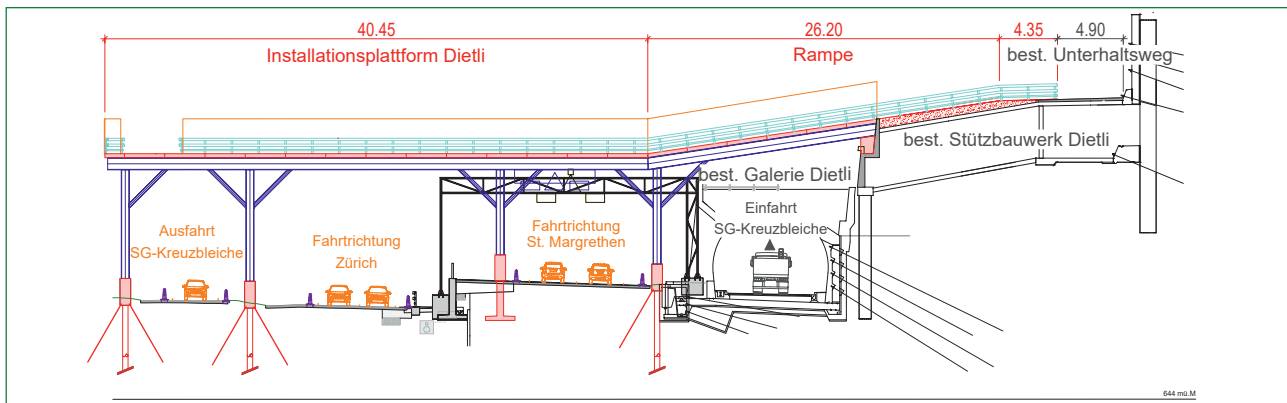
Credit: Schalch + Aeschbacher AG Eschlikon, Eschlikon

3.2 Urban logistics

For the overall project, the Canton of St Gallen is planning a project-specific landfill site in the eastern part of the city of St Gallen, near Mörschwil, directly next to the motorway. The excavated material will be transported to the landfill as directly as possible via the motorway, which is why a provisional semi-junction has been planned.

The location of the 3rd Rosenberg tunnel, with the western portal situated on a forested slope and the eastern portal in an inner-city area, prevents the main installation site from being set up directly at one of the portals. Due to the tight spatial conditions and difficulties accessing the site, an approximately 60 m long and 50 m wide installation platform will be built over the motorway to the west, in the Dietli Gallery area, which can be reached via access ramps from the motorway from the west and east. Due to lack of space, the access road will only face west. This installation platform can be used to directly operate the main tunnelling and shell construction work. An installation site in the Hölzli area is planned in order to construct the installation platform, as well as for initial construction work on the western preliminary cut and the new Dietli retaining structure. To the east, an installation site is planned for work on the open-cut sections at the Olma complex and the counter-drive at the current Widacker depot site – thus in the immediate vicinity of the St Fiden motorway junction. Due to space constraints, the main installation site is planned further to the west – near the SG-Winkeln junction and the former Moosmüli service area. Transport should be directly routed via the motorway as much as possible so that the city of St Gallen and its residential areas are only minimally affected.

Third Rosenberg Tunnel, St Gallen • Project overview and challenges



Credit: IG SG 3+ AP, c/o Gähler and Partners AG, Ennetbaden

7 Dietli installation platform

4 Costs

The costs of the 3rd Rosenberg tunnel amount to around CHF 410 million excluding VAT (cost status according to the approved general project, based on prices in March 2020).

5 Dates

The general project was approved by the Swiss Federal Council on 30 March 2022. The next step will be to draw up the Detailed Design for the 3rd Rosenberg tunnel, which is expected to be published in 2025. Additional phases of the project, such as developing the project details and awarding construction contracts, are dependent on completing the planning approval process. The main construction work is not scheduled to start before 2030. If the planned deadlines are met, the 3rd Rosenberg tunnel could be commissioned in 2036.

PROJECT DATA

Region

St Gallen, Switzerland

Client, project and senior site management

Federal Roads Office (FEDRO), Winterthur Branch

Planning and client support in the detailed design phase

- IG BHUteam Rosenberg, c/o Amberg Engineering AG, Regensdorf-Watt (Amberg Engineering AG, B+S AG, AFRY Schweiz AG), client support
- IG SG 3+ AP, c/o Gähler and Partners AG, Ennetbaden (Gähler und Partner AG, Basler & Hofmann AG, F. Preisig AG, R. Brüniger AG), Designer of Tender Teilprojekt 3rd Rosenberg tunnel
- AFRY Schweiz AG, Zurich, Environmental Specialist
- CSD Ingenieure AG, St Gallen, Geology Specialist
- Egli Engineering AG, St Gallen, Natural Hazards Specialist
- Gruner AG, Basel, Transport Specialist
- IG RoBe Akustik, c/o Basler & Hofmann AG, (Basler & Hofmann AG, Grolimund + Partner AG), Acoustics Specialist
- Amstein + Walther Progress AG, Zurich, Ventilation Specialist
- Franz Zumsteg Engineering Office, Lenzburg, Ventilation Expert
- City of St Gallen Geomatics and Surveying, St Gallen, Surveying Specialist
- Schalch + Aeschbacher AG Eschlikon, Eschlikon, Design Specialist

Key data

Construction time:	Planned for 2030–2036
Commissioning:	Planned for 2036
Tunnel construction costs:	CHF 410 million excl. VAT (price basis as of March 2020)
Total length:	1,607 m
Excavation cross-section:	186 m ²

TELT – Tunnel Lyon–Turin • Neuartige Lösungsansätze im Lockergesteinsvortrieb im Baulos CO08 am Mont-Cenis Basis Tunnel

Alexander Heim, Dipl. Bauingenieur TU, MBA, Implenia France SA, Le Bourget-du-Lac, FR

TELT – Tunnel Lyon–Turin

Neuartige Lösungsansätze im Lockergesteinsvortrieb im Baulos CO08 am Mont-Cenis Basis Tunnel

Bahnlinie, Fluss, Autobahn, Wohnbebauungen, Hangschutt, GREEN DEAL – zahlreiche bestehende Infrastrukturen und Randbedingungen stellen komplexe Anforderungen an die Projektbeteiligten auf den ersten Metern des 57.5 km langen Mont-Cenis Basis Tunnels. Neuartige Methoden und Konzepte in den Bereichen Bauverfahren und Installationen kommen zur Anwendung, um diese Aufgabenstellungen bestmöglich zu lösen.

1 Projektüberblick TELT

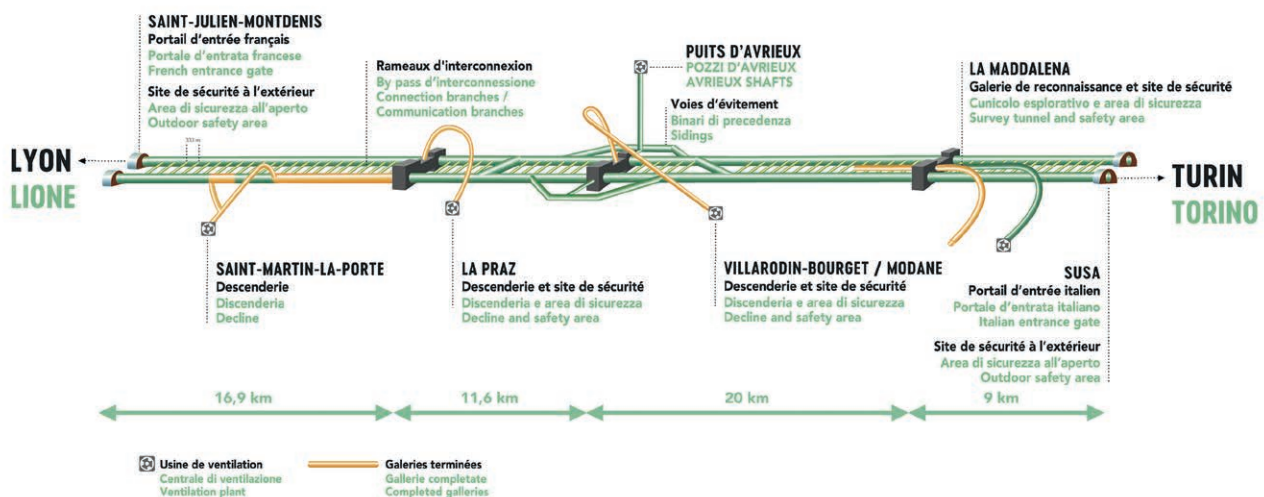
Der grenzüberschreitende Abschnitt der Bahnstrecke zwischen Lyon und Turin ist eine neue Eisenbahnstrecke mit einer Länge von circa 67 km, die Saint-Jean-de-Maurienne in Frankreich mit Susa und Bussoleno in Italien verbindet, wo sie jeweils an die historische Strecke Turin–Modane anschliesst. Die Strecke erfordert insbesondere den Bau eines 57.5 km langen Tunnels mit zwei Einspurtunneln, der als Mont-Cenis Basis Tunnel bekannt ist, sowie den Bau des sogenannten Verbindungstunnels von etwa 2 km Länge zwischen Susa und Bussoleno.

Als Hauptbaulose wurden folgende Lose vergeben:

Baulos	Bereich	Volumen	Länge Baulos	Bauzeit	TBM
CO03/04	Zwischenangriff Chiomonte (IT)	1000 Mio. €	9.5 km	91 Monate	2 x Dual Mode
CO05	Zwischenangriff Modane (F)	1470 Mio. €	22 km	72 Monate	2 x Gripper
CO06/07	Zwischenangriffe La Praz/ Saint-Martin-la-Porte (F)	1430 Mio. €	23 km	65 Monate	3 x Single Shield
CO08	Portal Saint-Julien-Mont-Denis (F)	228 Mio. €	3 km	70 Monate	keine

Quelle/credit: ARGE Lyon Torino CO08

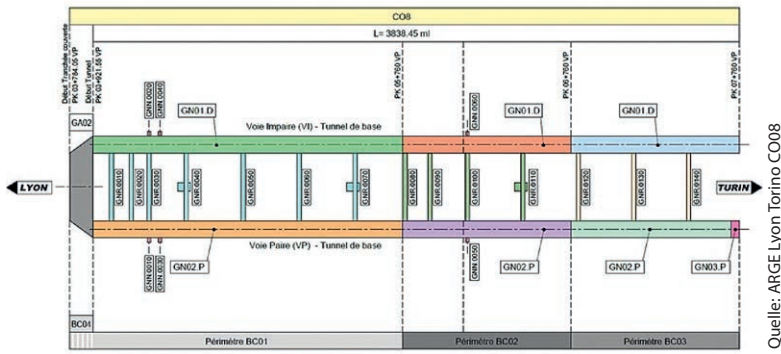
1 Tabelle 1 Übersicht Kerndaten der Baulose TELT



1 Übersicht Baulose TELT, gelb Baulos CO08

Quelle: TELT Lyon–Turin

TELT – Tunnel Lyon–Turin • Neuartige Lösungsansätze im Lockergesteinsvortrieb im Baulos CO08 am Mont-Cenis Basis Tunnel



Quelle: ARGE Lyon Torino CO08

3 Schematische Darstellung Leistungsumfang mit Losverlängerung BC 03

1.2 Besondere Randbedingungen und Installationen

Der territorialen Einbettung der Baustelle in die Umgebung und der Einhaltung von Nachhaltigkeitskriterien werden am Projekt TELT in besonderer Weise Rechnung getragen. Die Berücksichtigung der Bedürfnisse lokaler Stakeholder, wie Anwohner, Gemeinden, lokale Gewerbetreibende und Arbeitskräfte, wurde bereits in der Ausschreibungsphase mit in den Werkvertrag integriert. Diesbezüglich wurde zwischen TELT als Bauherr und der Region als politischer Vertretung ein Abkommen unter

HANGARS ACOUSTIQUES



Quelle: VUEDICI.ORG

4 Luftbild Installationsplatz mit Brecherhalle und Förderbandbrücke über den Fluss Arc



Quelle: VUEDICI.ORG

5 Übersicht Installationen und Voreinschnitt



Quelle: VUEDICI.ORG

6 Luftbild Installationsplatz mit Betonanlage, Lagerflächen und Voreinschnitt



Quelle: VUEDICI.ORG

7 Luftbild Installationsplatz mit Betonanlage, Lagerflächen und Voreinschnitt

dem Titel „Démarche Grand Chantier“ getroffen. Dieses Abkommen sieht Regelungen in den Bereichen Mobilität, Unterkunft, Verpflegung, Berücksichtigung lokaler Gewerbebetriebe sowie Arbeitskräfte vor. Die Erstellung von zentralen Wohnlagern und Kantinen wurde mit dem Ziel der Belebung lokaler Angebote am Wohnungs- und Restaurationsmarkt untersagt.

Zusätzlich zur lokalen Integration des Projektes werden erhöhte Anforderungen im Bereich der Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft gestellt. TELT trägt als Kernstück des TEN-T Mediterranean Corridor zur Umsetzung der Klimaziele im Rahmen des GREEN DEAL bei. Der Einhaltung von Nachhaltigkeitskriterien wird bereits in der Bauphase besondere Aufmerksamkeit geschenkt.

TELT – Tunnel Lyon–Turin • Neuartige Lösungsansätze im Lockergesteinsvortrieb im Baulos CO08 am Mont-Cenis Basis Tunnel

Am Baulos CO08 können diesbezüglich die Reduktion der CO₂-Bilanz durch Nutzung von 100 % elektrischer Energie aus nachhaltiger Produktion sowie der ressourcenschonende Einsatz von Trinkwasser durch Nutzung von rezykliertem Bauabwasser und Grundwasser im Vortrieb und zur Betonproduktion angeführt werden. Die Reduzierung von Lärmimmissionen wurde durch die Erstellung umfangreicher Schallschutzbauwerke, sogenannter Hangars Acoustiques, umgesetzt.

1.3 Begrenzung Lärmimmissionen und Schallschutz mittels Hangar Acoustique

Die Ausführung der untertägigen Bauarbeiten erfolgt im Durchlaufbetrieb rund um die Uhr an 340 Kalendertagen pro Jahr. Die Anlieferung der Baustelle, die Bauarbeiten über Tage und die Bewirtschaftung des Ausbruchmaterials können nur eingeschränkt von Montag bis Samstag von 7.00 bis 20.00 Uhr ausgeführt werden. Bedingt durch die Einschränkungen der Arbeitszeiten in der Logistik ergibt sich die Notwendigkeit einer temporären Zwischenlagerung von Ausbruchmaterial und zusätzlicher Massnahmen zur Limitierung der Lärmimmissionen durch den Schutterbetrieb. Bereits in der Angebotsphase wurde die Erstellung von umfangreichen Schallschutzbauten in das Logistikkonzept integriert. Diese Schallschutzbauten bestehen aus zwei grossen Stahlbauhallen mit Lärmschutzverkleidung. Im Portalbereich wurde die Hauptlüftung innerhalb des Stahlbaus angeordnet und durch einen Schallschutztunnel mit dem Zwischenlager und der Brecheranlage verbunden.

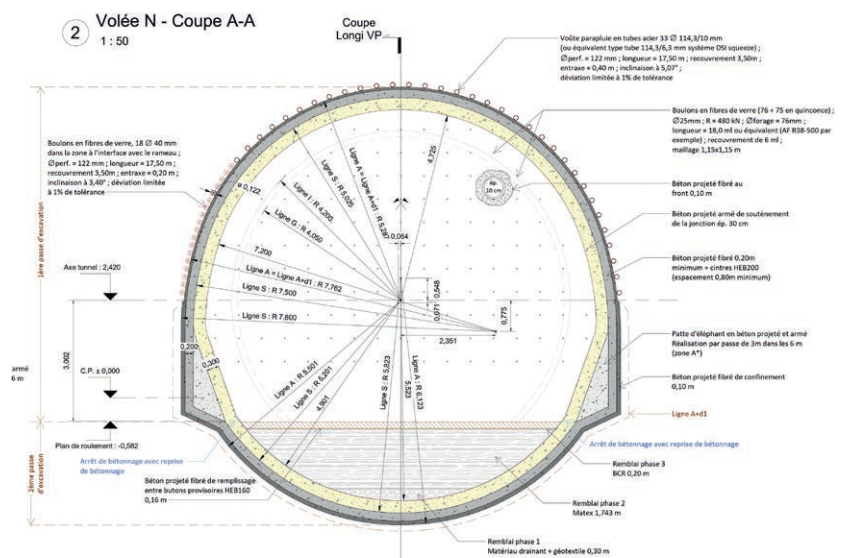
Durch diese Stahlbauten werden die Tunnelröhren im Bereich des Voreinschnittes künstlich bis zur Brecherhalle verlängert. Dadurch konnte eine Einschränkung des Schutterbetriebes vermieden werden. Im Zuge der Ausführungsplanung zeigte sich, dass neben den Vorgaben zur akustischen Berechnung auch brandschutztechnische Vorgaben wie ausreichende Entrauchungsöffnungen relevanten Einfluss auf Kosten und Bauzeit haben und frühzeitig in die Planung einbezogen werden müssen.

2 Planung und Ausführung von Querschlügen und Nischen im Lockergestein

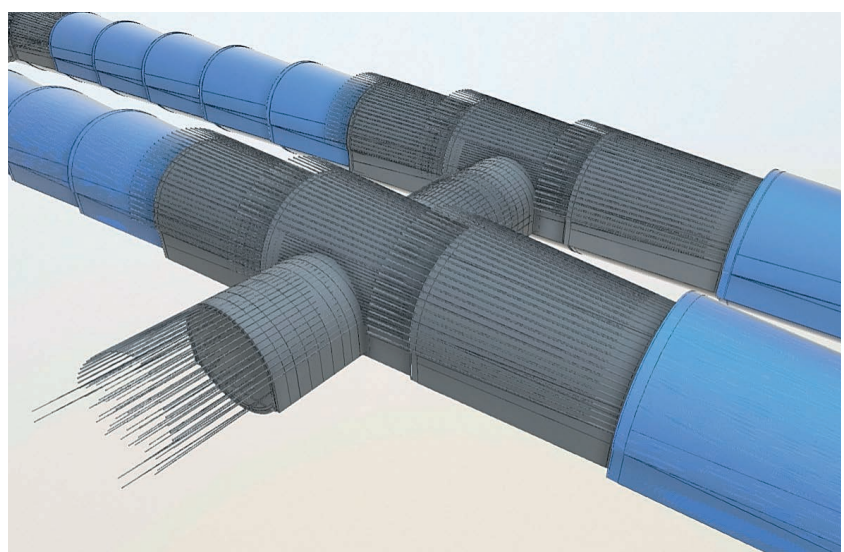
Im Bereich der Lockergesteinsstrecke mit einer Länge von 550 m kommen drei Querschläge sowie eine Nische zur Ausführung. Um aufwendige Bauhilfsmassnahmen beim Auffahren der Querschläge zu vermeiden, wurde die Sicherung der Haupttröhre im Kreuzungsbereich durch integrierte armierte Spritzbetonschalen verstärkt.

2.1 Integrierte armierte Spritzbetonschale Kreuzungsbereich der Querschläge

Der Regelvortrieb im Lockergestein erfolgt in der Sicherungskategorie SK7/8 mit Einsatz systematischer Rohrschirme. Der Vortrieb erfolgt in Anwendung der Observationellen Methode. In Abhängigkeit der Bogendeformationen werden die Abschlüge im Vollausbuch mit sofortigen oder mit geteilten Ortsbrustkalotte-Strossen ausgebrochen. Als vorausseilende Sicherung werden systematisch Rohrschirme mit 40 Rohren DN 114.3/10 mm, L=17.5 m, d=40 cm auf 180° der Kalotte eingebaut. Die Sicherung der Ortsbrust erfolgt mit Selbstbohranker IBO 32 und PP-faserverstärktem Spritzbeton. Die Sicherung der ein Meter langen Abschlüge erfolgt mit Stahlbogen HEB 200. Die Abschlüge werden mit faserverstärktem Spritzbeton verfüllt.



8 Normalprofil Sicherung SK 8 mit integrierter Spritzbetonschale



9 BIM Modell Rohrschirme bei Querschlag mit Nische

Quelle: ARGE Lyon Torino CO08

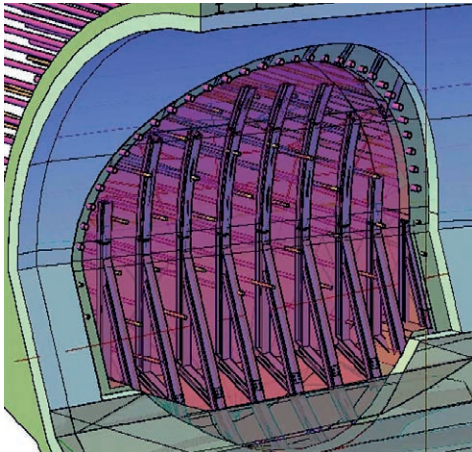
Quelle: ARGE Lyon Torino CO08

TELT – Tunnel Lyon–Turin • Neuartige Lösungsansätze im Lockergesteinsvortrieb im Baulos CO08 am Mont-Cenis Basis Tunnel

Im Bereich der Querschläge wurden die Bogenprofile zur Sicherung um 30 cm aufgeweitet und anschliessend eine armierte Spritzbetonschale integriert, um die Spannungsumlagerungen beim Öffnen der Querschläge und Nischen ohne zusätzliche Bauhilfsmassnahmen wie Blindringe oder Rahmenkonstruktionen abzufangen.

Die Integration der Spritzbetonschale ist in Bild 8 gelb dargestellt. Im Kreuzungsbereich zum Querschlag wurden die Rohrschirmrohre durch Glasfaseranker DN 40 mm ersetzt. Die zweilagige Armierung der Spritzbetonschale erfolgte mit vorgebogenen Netzen und Zulagen bis Durchmesser 32 mm. Auf einer Etappenlänge von 14 m wurden neun Tonnen Armierung in die Spritzbetonschale eingebaut, was einem Armierungsgrad von circa 70 kg/m³ entspricht.

Besondere Beachtung ist der Detailausbildung im Überlappungsbereich der Netze und Zulagen sowie der Einhaltung von Mindestabständen der Zulage Eisen zur fachgerechten Einbringung des Spritzbetons zu schenken.



Quelle: ARGE Lyon Torino CO08

10 Modellierung Bogenrückbau



Quelle: ARGE Lyon Torino CO08

11 Bogenrückbau



Quelle: ARGE Lyon Torino CO08

12 Durchschlag Querschlag 2



Quelle: ARGE Lyon Torino CO08

13 Einbau der Armierung Sohle



Quelle: ARGE Lyon Torino CO08

14 Einbau Armierung Kalotte

2.2 Einsatz photogrammetrischer Aufnahmen zur geologischen Vortriebsbegleitung

Um die Aufenthaltsdauer von Personal an der Ortsbrust zu reduzieren und um die Zuverlässigkeit der geologischen Daten zu erhöhen, führen wir umfassende Messungen durch, die auf einer präzisen 3-D-Erfassung durch Photogrammetrie basieren.

Diese Art der Datenerhebung wird in Frankreich immer noch sehr wenig oder nur von wenigen spezialisierten Unternehmen durchgeführt. Basierend auf den Erfahrungen in der Schweiz und in Österreich und überzeugt von der Relevanz dieser Technik hat Implenia France ein eigenes Team gebildet und beschlossen, dieses Verfahren in alle ihre traditionellen Aushub- und Hartgesteins-TBM-Standorte zu integrieren.



Quelle: VUEDICT.ORG

15 Photo Ortsbrust VP_TM 127



Quelle: ARGE Lyon Torino CO08

16 Photogrammetrie Aufnahme VP_TM 127

TELT – Tunnel Lyon–Turin • Neuartige Lösungsansätze im Lockergesteinsvortrieb im Baulos CO08 am Mont-Cenis Basis Tunnel



Quelle: ARGE Lyon Torino CO08

CO	08	LEVE DE FRONT - LDF_R003_PK2		1	PAGE : 1/9
OUVRAGE/SECTION D'OUVRAGE	GN01.R TÊTE OUEST - SAINT JULIEN MONT DENIS 01 - RAMEAU DE COMMUNICATION				
OUVRAGE MINEUR	GNR.0030 RAMEAU DE COMMUNICATION RO 03				
SOUS OUVRAGE MINEUR		WBS	STTL.T.F.F.C.080.GN01.R.3		
PM FRONT (m) :	6,2	DATE :	15.03.2024	HEURE :	9.25
		AUTEUR :	E.Guillem		
Longueur voûte :	1,2	Direction de creusement :		20°	
Profil type soutènement :	57	Phase dans le cycle :		Excavation	
Mode d'excavation :	Mécanic	Section divisée		non applicable	
Unités géologiques			Lithologie		Legende structures
1	Couverture quaternaire	a	Alluvions	—	Limon (non exhaustif)
2		b		- - -	Bloc métrique
3		c		—	Manque de donnée
		d		—	Limon argileux noir
		e			
Notes: Lithologie : Surface stratigraphique subhorizontale représentant les deux tiers inférieurs du front. Présence de deux couches remarquables : - limon jaune de quelques dizaines de centimètres au milieu du front ainsi qu'en partie haute du front. La couche en partie supérieure du front est de taille métrique et de pendage apparent 30° O. - limon argileux noir de taille métrique à la base du front Le reste du front est constitué d'une alternance diffuse de sable graveteux et limons. Présence d'un bloc métrique. Bonne stabilité au front.					

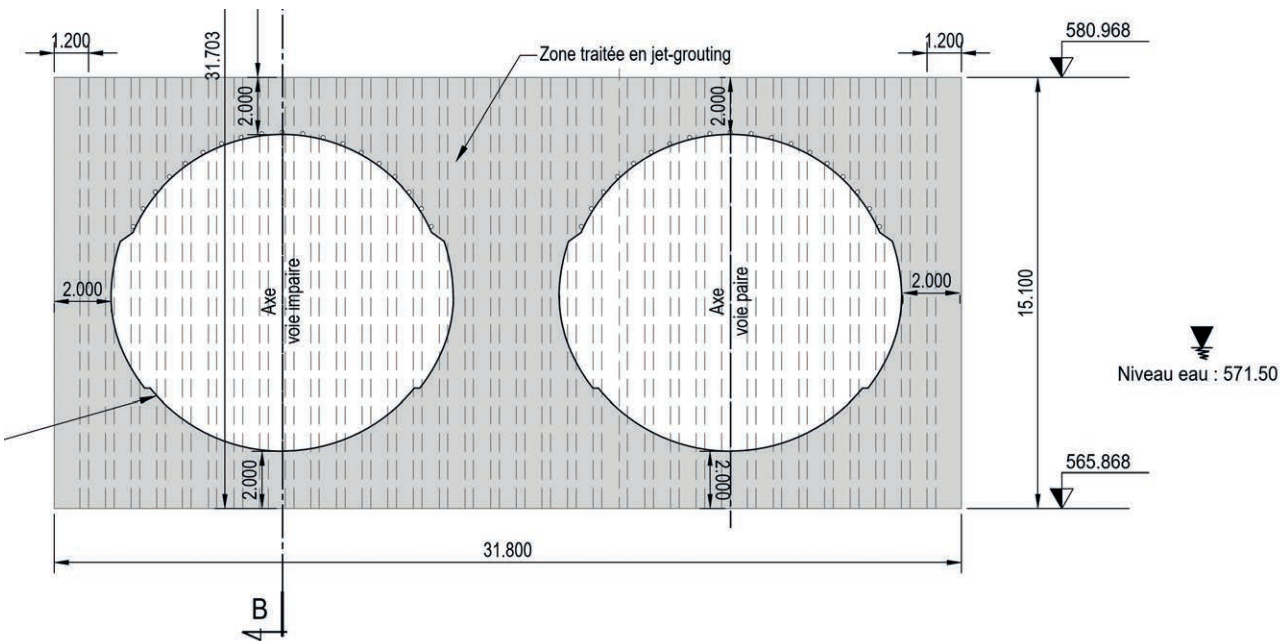
Quelle: ARGE Lyon Torino CO08

17 Photogrammetrie Querschlag 3

18 Geologische Analyse Querschlag 3

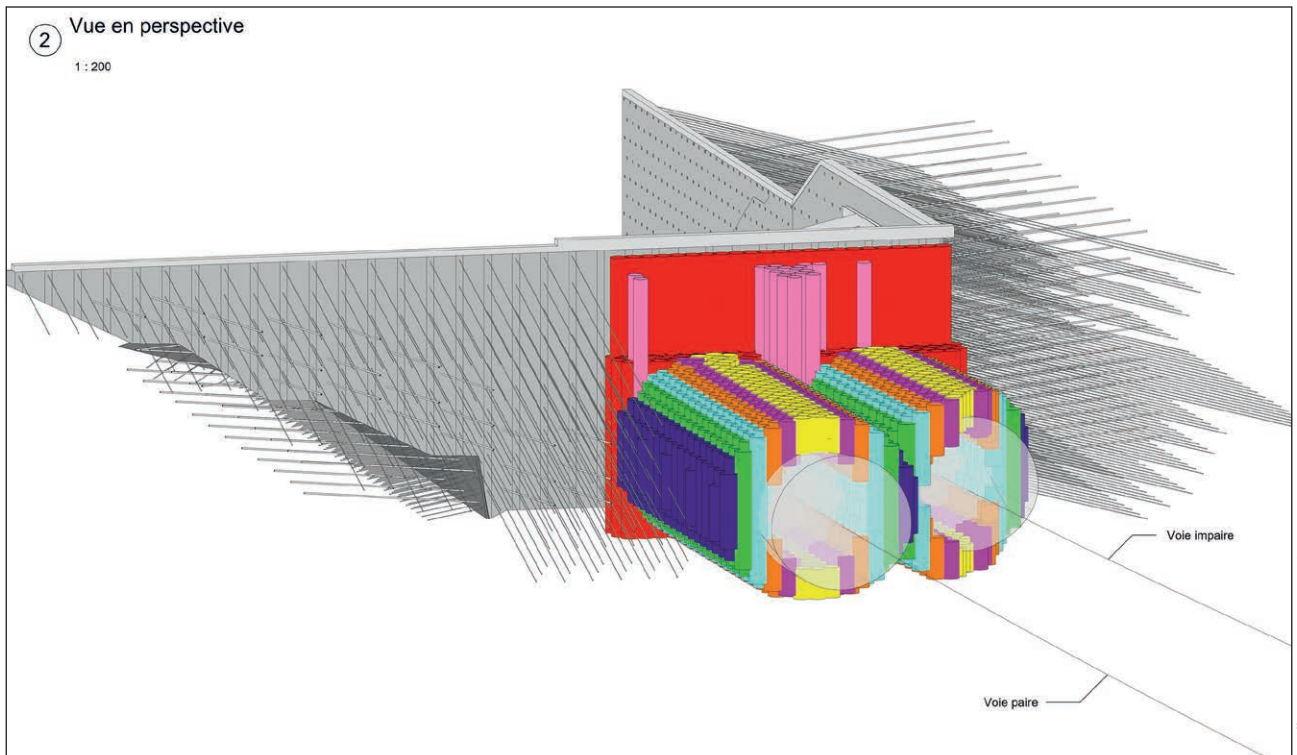
3 Baugrundverbesserung am Profilrand durch HDI-Injektionen

Im Portalbereich weisen die beiden Tunnelröhren lediglich einen Abstand von 3.3 m Metern auf. Zur Sicherung der Vortriebe und Stabilisierung des verbleibenden zentralen Pfeilers wurden in der Ausschreibung umfangreiche Baugrundverbesserungen durch HDI-Injektionen auf ca. 50 m der Lockergesteinsstrecke ausgeschrieben. Die Arbeitsgemeinschaft Lyon-Torino CO08 unterbreitete ein Angebot mit einer Variante zur technischen und finanziellen Optimierung der Jettingarbeiten. Die Variante beinhaltete zwei massgebliche Anpassungen. Zum einen konnte der Durchmesser der erreichten Jetsäulen von 1200 mm auf 1500 mm erhöht werden, und zum anderen wurden die Jettingsäulen nur im Bereich des Profilrandes der Tunnel ausgeführt. Auf Zementinjektionen über den gesamten Tunnelquerschnitt konnte verzichtet werden. Aufgrund dieser massgeblichen Reduzierung der Injektionsmengen konnte das Angebot technisch und finanziell optimiert werden, was letztendlich zur Beauftragung führte.



19 Auszug Ausschreibungsplan Jetting

Quelle: TELT Lyon Turin



20 BIM Modell Jettingsäulen mit Rückverankerung des Voreinschnittes

Durch die Optimierung der ca. 800 Injektionssäulen konnte die ursprünglich ausgeschriebene Menge von ca. 28 600 m auf 7500 m reduziert werden. Durch die Reduktion der injizierten Längen um ca. 21 100 m konnten ungefähr 18 000 Tonnen Zement eingespart werden. Das dazugehörige eingesparte CO₂-Äquivalent beträgt 12 000 Tonnen CO₂.

Nebst den Vorteilen in den Bereichen Kosten, Bauzeit und Nachhaltigkeit konnten deutliche Vorteile zum Vortriebsbeginn festgestellt werden. Die Verfestigung des Profilrandes führte zu vorteilhaften Bedingungen beim Ausbruch und problemlosem Einbau der Sicherung bei nahezu ausbleibenden Konvergenzen. Gleichzeitig konnte der Abbau des Baugrundes in Profilmitte nahezu ohne Einsatz des Hydraulikhammers erfolgen. Das Profilieren des Profilrandes konnte im Bereich der Jetsäulen mit der Fräse erfolgen, was zu einer deutlichen Reduzierung der Schall- und Vibrationsimmissionen führte. Gerade zu Beginn der Arbeiten, die in unmittelbarer Nähe von Wohnbebauungen erfolgten, trug dies zu einem erfolgreichen Vortriebsbeginn und guten Beziehungen zu den Anwohnern bei.

4 Erstes Résumé und Ausblick

Die Bauarbeiten am Baulos CO08 konnten seit Baubeginn im November 2021 erfolgreich gestartet werden. Im ersten Jahr konnten die Bau-



21 Vortriebsbeginn im Dezember 2022 im injizierten Baugrund im Schutz des Hangars Acoustique

TELT – Tunnel Lyon–Turin • Neuartige Lösungsansätze im Lockergesteinsvortrieb im Baulos CO08 am Mont-Cenis Basis Tunnel

stelleneinrichtungen, der Voreinschnitt sowie die Verbesserung des Baugrundes zum Vortriebsbeginn fertiggestellt werden. Seit dem 5. Dezember 2022 laufen die Lockergesteinsvortriebe im Durchlaufbetrieb ohne nennenswerte Störungen. Sowohl die vorgestellten Optimierungen der Baugrundverbesserung im Portalbereich wie auch die armierten Spritzbetonschalen bei den Querschlägen konnten erfolgreich umgesetzt werden und trugen massgeblich zur Reduktion von Risiken bei kritischen Arbeiten bei. Bis Mitte April 2024 konnten die Lockergesteinsvortriebe der beiden Hauptröhren auf ca. 540 m Länge sowie drei Querschläge und eine Nische erfolgreich aufgeföhren werden. Die Vortriebe der Felsstrecke erfolgen aktuell im geplanten Sprengvortrieb. Parallel zu den laufenden Ausbrucharbeiten erfolgen aktuell die Vorbereitungen zum Start der Betonarbeiten, die ab Herbst 2024 geplant sind.

PROJEKTDATEN

Region

Savoie - Frankreich

Bauherr, Projekt- und Oberbauleitung

TELT – Tunnel Euralpin Lyon Turin

Planung und Bauleitung

• IG INALPAGE – EGIS, Ingerop, Alpina, Pini

Ausführung

Arbeitsgemeinschaft Lyon Torino CO08 – Implenia, NGE GC, Itinera, Rizzani de Eccher

Kenndaten

Bauzeit: November 2021–Dezember 2027

Inbetriebnahme: 2032

Baukosten Tunnel: CHF 228 Mio.

Gesamtlänge: 2840 m

Ausbruchquerschnitt: 80 m²

TELT – Lyon–Turin Tunnel • Novel solutions for loose rock tunnelling in construction lot CO08 at the Mont-Cenis Base Tunnel

Alexander Heim, Dipl. Bauingenieur TU, MBA, Implenia France SA, Le Bourget-du-Lac, FR

TELT – Lyon–Turin Tunnel

Novel solutions for loose rock tunnelling in construction lot CO08 at the Mont-Cenis Base Tunnel

A railway line, a river, a motorway, residential buildings, talus material, and the GREEN DEAL – numerous existing infrastructures and framework conditions place complex demands on project participants in the first few metres of the 57.5-km-long Mont-Cenis Base Tunnel. Innovative methods and concepts in construction processes and installations are being used to solve these tasks in the best possible ways.

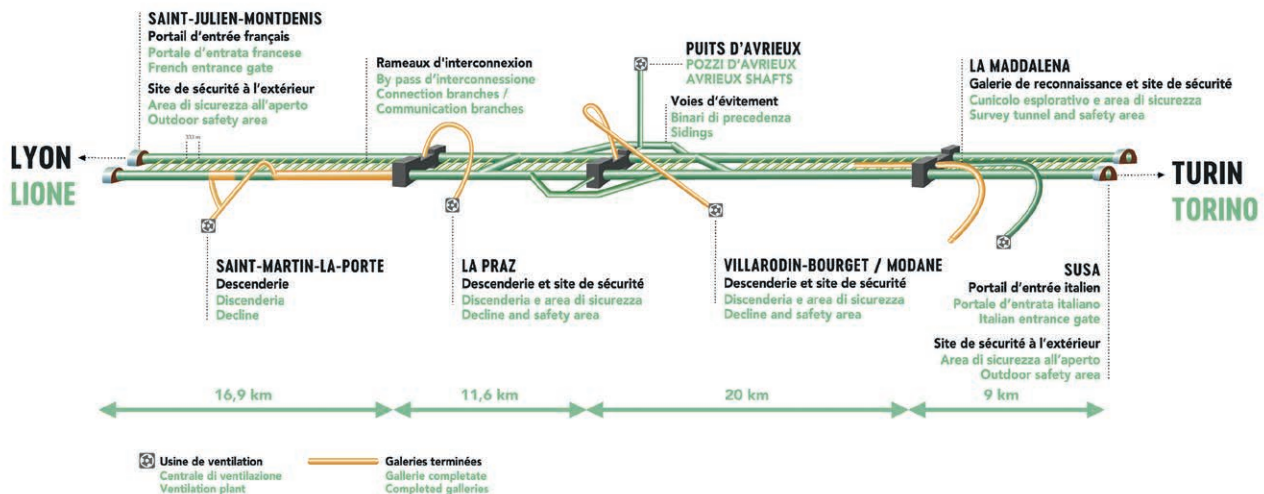
1 Project overview, TELT

The cross-border section of the railway line between Lyon and Turin is a new railway line with a length of around 67 km, connecting Saint-Jean-de-Maurienne in France with Susa and Bussoleno in Italy, where it connects to the historic Turin–Modane line. In particular, the route requires constructing a 57.5-km-long tunnel with two single-track tunnel tubes, known as the Mont-Cenis Base Tunnel, as well as constructing a connecting tunnel of around 2 km in length between Susa and Bussoleno.

The following are the main construction lots:

Construction lot	Area	Volume	Length of construction lot	Construction time	TBM (Tunnel Boring Machine)
CO03/04	Intermediate point of attack in Chiomonte (IT)	EUR 1,000 mill.	9.5 km	91 months	2 x dual mode
CO05	Intermediate point of attack in Modane (F)	EUR 1,470 mill.	22 km	72 months	2 x gripper
CO06/07	Intermediate point of attack in La Praz / Saint-Martin-la-Porte (F)	EUR 1,430 mill.	23 km	65 months	3 x single shield
CO08	Saint-Julien-Mont-Denis portal (F)	EUR 228 mill.	3 km	70 months	None

Table 1 Overview and key data for TELT construction lot 1



1 Overview of the TELT construction lots, yellow construction lot CO08

TELT – Tunnel Lyon–Turin

Nouvelles solutions pour la construction de tunnels en roches meubles dans le lot de construction CO08 du tunnel de base du Mont-Cenis

La construction du tunnel de base transfrontalier du Mont-Cenis, d’une longueur de 57.5 km, est réalisée pour le compte de la société de projet TELT. Le lot de construction CO08 utilise des méthodes de construction conventionnelles pour construire les deux tubes principaux du tunnel, onze rameaux de sécurités et les structures auxiliaires nécessaires sur une longueur de 2800 mètres. Le creusement du tunnel, y compris trois rameaux de sécurité en terrain meuble, sera réalisé sur 550 m à l’aide de voûtes parapluies. Le projet comprend 140 mètres de tranchées couvertes, d’importants travaux de génie civil et des systèmes de bandes transporteuses. Les travaux de construction, d’un montant total d’environ 228 millions d’euros, sont en cours depuis novembre 2021 et devraient s’achever à la fin de l’année 2027.

TELT – Tunnel Lione–Torino

Nuovi approcci nell’avanzamento in roccia non consolidata nel cantiere CO08 nella galleria di base del Moncenisio

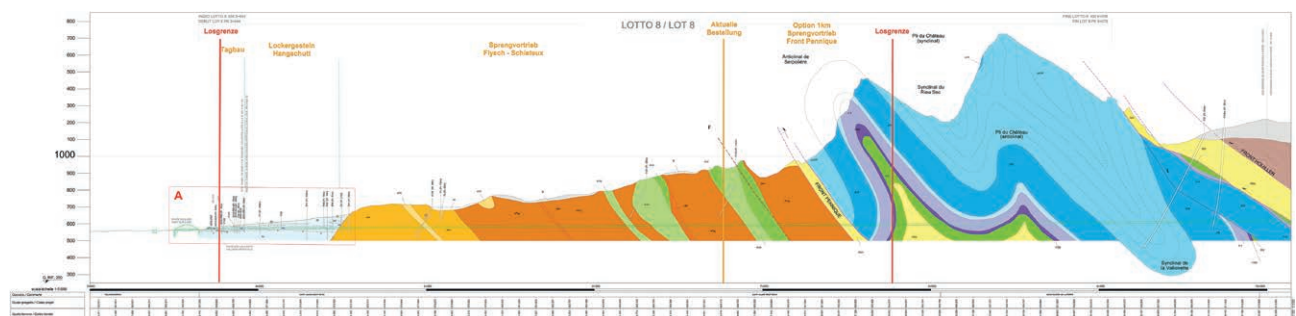
Su incarico della società TELT avviene la realizzazione della galleria di base transfrontaliera del Moncenisio lunga 57.5 km. Il cantiere CO08 realizza tramite metodo di costruzione convenzionale entrambe le canne principali, 11 passaggi trasversali e le necessarie strutture accessorie per una lunghezza di 2800 m. A 550 m gli avanzamenti, compresi tre passaggi trasversali, hanno luogo in roccia non consolidata con l’impiego di inflaggi ad ombrello. Completano l’opera 140 m di tunnel a cielo aperto, ampi lavori di fondazione e impianti di nastro trasportatore. I lavori, per un volume di 228 Mio di Euro, sono in corso da novembre 2021 e dovrebbero concludersi alla fine del 2027.

1.1 Scope of services for construction lot CO08

The Lyon Torino CO08 joint venture consisting of the companies Implenia CH/F (lead management), NGE GC (commercial management), Itinera S.p.A and Rizzani de Eccher S.p.A, was commissioned by TELT in July 2021 to carry out services totalling approx. €228 million. The contracted services for construction lot CO08 include design and execution of the construction work needed to complete the preliminary cut at the French portal, constructing the two main tunnel tubes (including cross-passages and niches over a length of 2,840 m), constructing a 140-m-long cut-and-cover tunnel between the existing motorway underpass and the mining portal, as well as extensive specialised civil engineering projects and earthworks. Complex installations for materials management, extensive noise protection structures and specific installations for recycling construction site waste water complete the contract.

Tunnelling is being carried out using a conventional full face construction method, with the main tunnels being excavated over a length of 550 m under systematic pipe screen umbrellas. Three of the eleven cross-passages need to be constructed in this area. The subsoil in the portal area was consolidated over a length of around 50 m using high-pressure injection jet grouting, as the width of the pillar between the single-track tunnels at the portal is only 4 m. The overburden in the loose rock tunnelling section is between 25 m and 65 m.

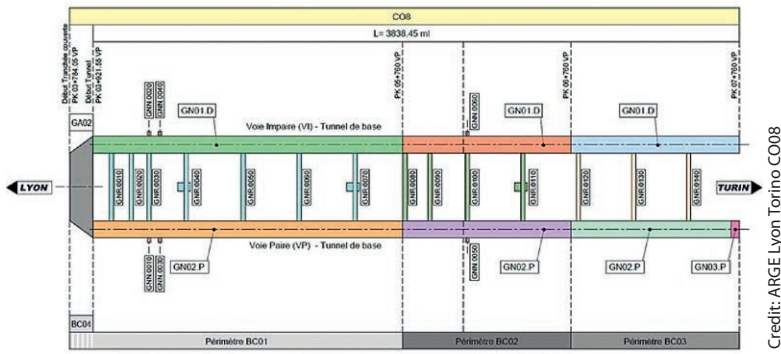
The remaining tunnelling work is being carried out in the stable “Ultra Dauphinois/Flysch Schisteux” formations using a drill and blast construction method. The maximum overburden is approximately 350 m. Optional realisation of a further 1,000 m of the main tunnel tubes, with excavation through the “Front Pennique” fault zone, is already planned as an option in the contract, but has not yet been commissioned in the current scope.



2 Geological longitudinal profile

Credit: ARGE Lyon Torino CO08

TELT – Lyon–Turin Tunnel • Novel solutions for loose rock tunnelling in construction lot CO08 at the Mont-Cenis Base Tunnel



Credit: ARGE Lyon Torino CO08

3 Schematic representation of the scope of services with lot extension BC 03

1.2 Special framework conditions and installations

The construction site's spatial integration into its surroundings, as well as its sustainability criteria, are taken into particular consideration in the TELT project. The needs of local stakeholders, such as residents, communities, local tradespeople and workers, were already integrated into the contract during the tendering phase. An agreement entitled "Démarche Grand Chantier" was concluded between TELT, acting as the contracting authority, and the region, acting as the political representative.

HANGARS ACOUSTIQUES



Credit: VUEDICI.ORG

4 Aerial view of site installation with crushing hall and conveyor belt bridge over the river Arc



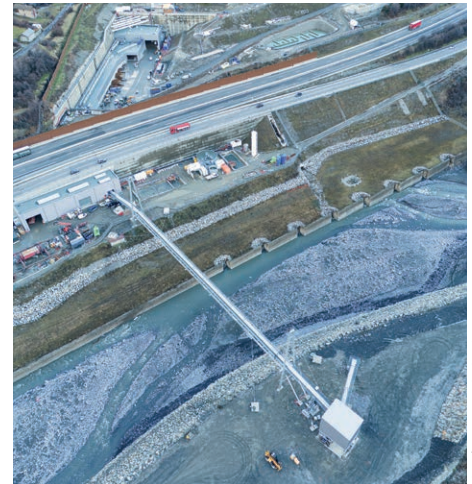
Credit: VUEDICI.ORG

5 Overview of installations and preliminary cut



Credit: VUEDICI.ORG

6 Aerial view of site installation with concrete plant, storage areas and preliminary cut



Credit: VUEDICI.ORG

7 Aerial view of site installation with concrete plant, storage areas and preliminary cut

This agreement provides for regulations in the areas of mobility, accommodation, catering, consideration of local businesses and labour. The construction of central residential centres and canteens was prohibited with the aim of revitalising local offers on the housing and catering market.

In addition to the project's local integration, there are more stringent requirements in terms of sustainability and the circular economy. As the centrepiece of the TEN-T Mediterranean Corridor, TELT contributes to implementing the climate targets within the framework of the GREEN DEAL. Particular attention is already being paid to compliance with sustainability criteria during the construction phase.

TELT – Lyon–Turin Tunnel • Novel solutions for loose rock tunnelling in construction lot CO08 at the Mont-Cenis Base Tunnel

In the CO08 construction lot, a reduction in the CO₂ emissions balance through the use of 100% electrical energy from sustainable production and the resource-saving use of drinking water by recycling construction waste water and groundwater for tunnelling and concrete production can be mentioned in this context. The reduction of noise emissions was realised through the construction of extensive noise protection structures, known as acoustic hangars.

1.3 Noise protection and limiting noise emissions with acoustic hangars

The underground construction work is being carried out in continuous operation 24 h/7, 340 calendar days per year. Deliveries to the construction site, surface construction works and handling of the excavated material can only be carried out to a limited extent from Monday to Saturday from 7:00 am to 8:00 pm. Due to restrictions on working hours in logistics, temporary interim storage of excavated material and additional measures to limit noise emissions from excavation operations are necessary. Constructing extensive noise protection structures was integrated into the logistics concept during the tendering phase. These noise protection facilities consist of two large steel halls with noise protection cladding. In the portal area, the main ventilation system was located within the steel structure; it was connected to the interim storage area and the crushing plant by a soundproofed tunnel.

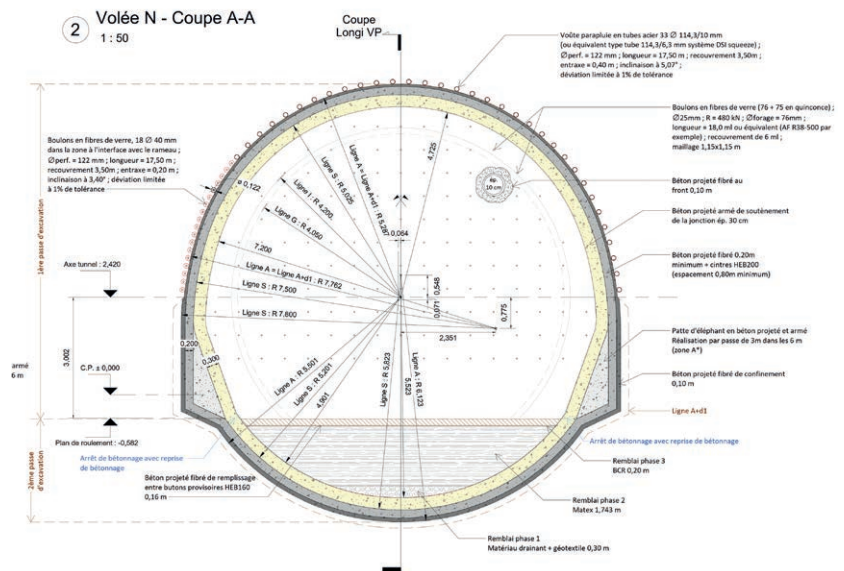
These steel structures artificially extend the tunnel tubes in the preliminary cut area to the crusher hall. This made it possible to avoid restricting the excavation material operations. During the implementation design phase, it became clear that, in addition to the acoustic calculation specifications, fire protection requirements such as sufficient smoke extraction openings also have a relevant influence on costs and construction time and must be included in the planning process at an early stage.

2 Planning and implementing cross-passages and niches in loose rock

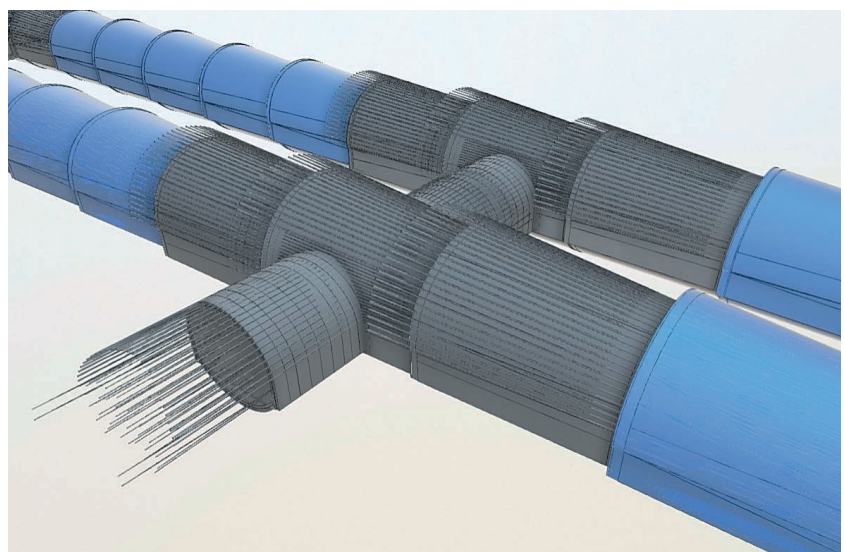
Three cross-passages and a niche will be built in the 550-m-long section of loose rock. In order to avoid costly construction support measures when excavating the cross-passages, the main tunnel was reinforced in the crossing area with an additional reinforced shotcrete lining.

2.1 Additional reinforced shotcrete lining in the cross passages' crossover section

Standard tunnelling in loose rock is carried out in support class SK7/8 with the use of systematic pipe screen umbrellas. Excavation is carried out using an observational construction method. Depending on the arch deformations, the advance sections are excavated in a full face tunnelling mode or split into top heading and invert. To provide preliminary protection, pipe screen umbrellas with 40 pipes of DN 114.3/10 mm, L=17.5 m, d=40 cm are systematically installed at 180° of the crown. The tunnel face is secured with IBO 32 self-drilling anchors and PP fibre-reinforced sprayed concrete. The one-metre advance lengths are secured with HEB 200 steel arches. Each advance section is filled with fibre-reinforced sprayed concrete.



8 Standard profile of SK 8 support with integrated shotcrete lining



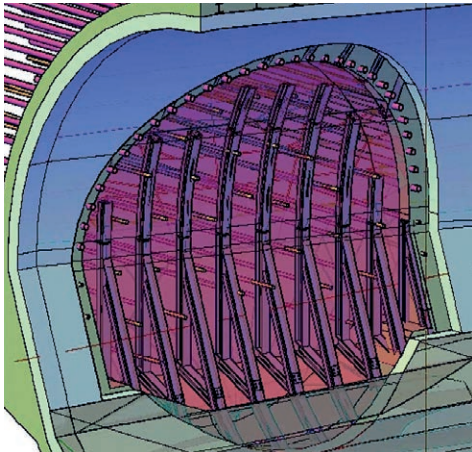
9 BIM model pipe screen umbrellas for cross-passages with niche

TELT – Lyon–Turin Tunnel • Novel solutions for loose rock tunnelling in construction lot CO08 at the Mont-Cenis Base Tunnel

In the area of the cross-passages, the arched profiles were widened by 30 cm to secure them; a reinforced shotcrete shell was then integrated to absorb the stress redistributions when opening the cross-passages and niches without additional construction support measures such as blind rings or framework constructions.

The integration of a shotcrete lining is shown in yellow in [Figure 8](#). In the cross-passage crossover section, the pipe screen tubes were replaced with DN 40 mm glass fibre anchors. The two-layer reinforcement material for the shotcrete lining was created with pre-bent wire mesh and added rebar rods up to a diameter of 32 mm. Nine tonnes of reinforcement material were installed in the shotcrete shell over a section length of 14 m, which corresponds to a reinforcement ratio of around 70 kg/m³.

Particular attention must be paid to detailing in the area where the mesh and added rebar layers overlap, as well as compliance with minimum distances between the added rebar steel layer and the professional application of the sprayed concrete.



Credit: ARGE Lyon Torino CO08

10 Arch reconstruction modelling



Credit: ARGE Lyon Torino CO08

11 Arch deconstruction



Credit: ARGE Lyon Torino CO08

12 Breakthrough of cross-passage 2



Credit: ARGE Lyon Torino CO08

13 Installing the reinforcement invert

TELT – Lyon–Turin Tunnel • Novel solutions for loose rock tunnelling
in construction lot CO08 at the Mont-Cenis Base Tunnel



Credit: ARGE Lyon Torino CO08

14 Installing the reinforcement top heading/crown

2.2 Using photogrammetric images for geological tunnelling support

In order to reduce the amount of time that personnel spend at the tunnel face and to increase the reliability of geological data, we carry out comprehensive measurements based on precise 3D acquisition using photogrammetry.

This type of data collection is still carried out very rarely in France, and only by a few specialised companies. Based on their experience in Switzerland and Austria, and convinced of the relevance of this technique, Implen France set up a dedicated team and decided to integrate the process into all their traditional excavation and rock TBM sites.



Credit: VUEDICI.ORG

15 Photo of tunnel face VP_TM 127



Credit: ARGE Lyon Torino CO08

16 Photogrammetry image VP_TM 127

TELT – Lyon–Turin Tunnel • Novel solutions for loose rock tunnelling in construction lot CO08 at the Mont-Cenis Base Tunnel



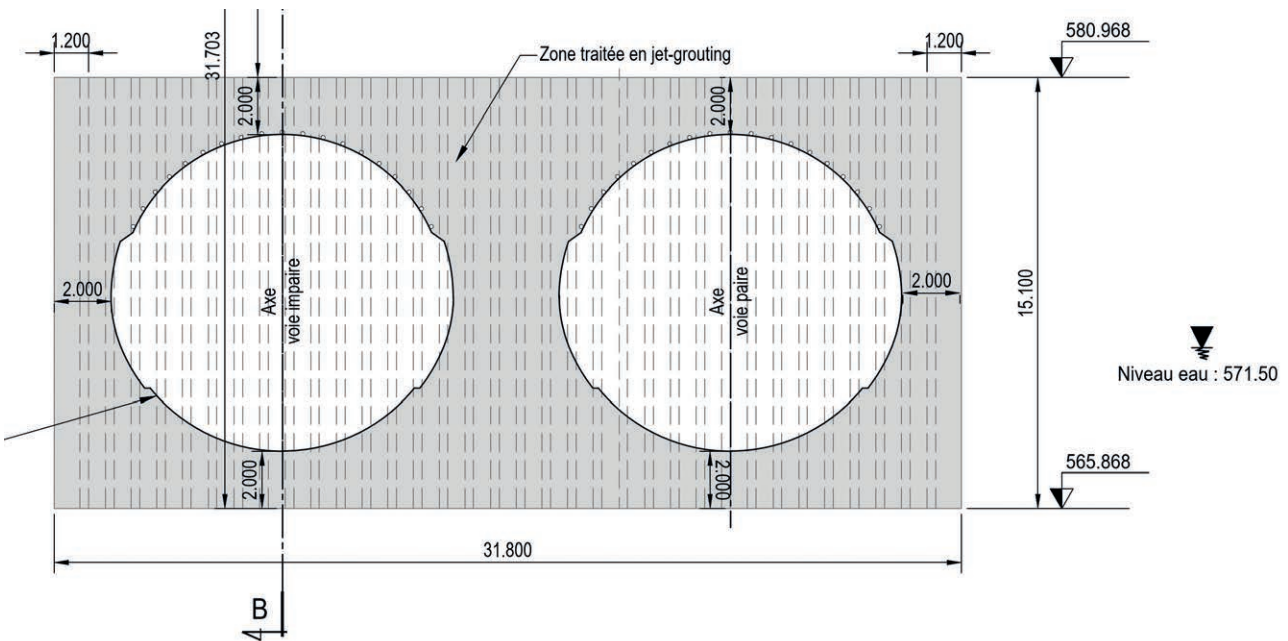
17 Photogrammetry of cross-passage 3

CO 08		LEVE DE FRONT - LDF_R003_PK2		1	PAGE : 1/9
OUVRAGE/SECTION D'OUVRAGE : GN01.R TÊTE OUEST - SAINT JULIEN MONT DENIS 01 - RAMEAU DE COMMUNICATION					
OUVRAGE MINEUR : GNR.0030 RAMEAU DE COMMUNICATION RO 03					
SOUS OUVRAGE MINEUR : WBS : STTL.T.F.F.C.080.GN01.R.3					
PM FRONT (m) :	6,2	DATE :	15.03.2024	HEURE :	9.25
AUTEUR :		E.Guillem			
Longueur voïe :		1,2		Direction de creusement :	
Profil type soutènement :		57		Phase dans le cycle :	
Mode d'excavation :		Mécanic		Section divisée	
				non applicable	
Unités géologiques			Lithologie		Legende structures
1	Couverture quaternaire	a	Alluvions	—	Limón (non exhaustif)
2		b		- - -	Bloc métrique
3		c		—	Manque de donnée
		d		—	Limón argileux noir
		e			
<p>Notes:</p> <p>Lithologie : Surface stratigraphique subhorizontale représentant les deux tiers inférieurs du front.</p> <p>Présence de deux couches remarquables :</p> <ul style="list-style-type: none"> - limon jaune de quelques dizaines de centimètres au milieu du front ainsi qu'en partie haute du front. La couche en partie supérieure du front est de taille métrique et de pendage apparent 30° O. - limon argileux noir de taille métrique à la base du front <p>Le reste du front est constitué d'une alternance diffuse de sable graveleux et limons.</p> <p>Présence d'un bloc métrique. Bonne stabilité au front.</p>					

18 Geological analysis of cross-passage 3

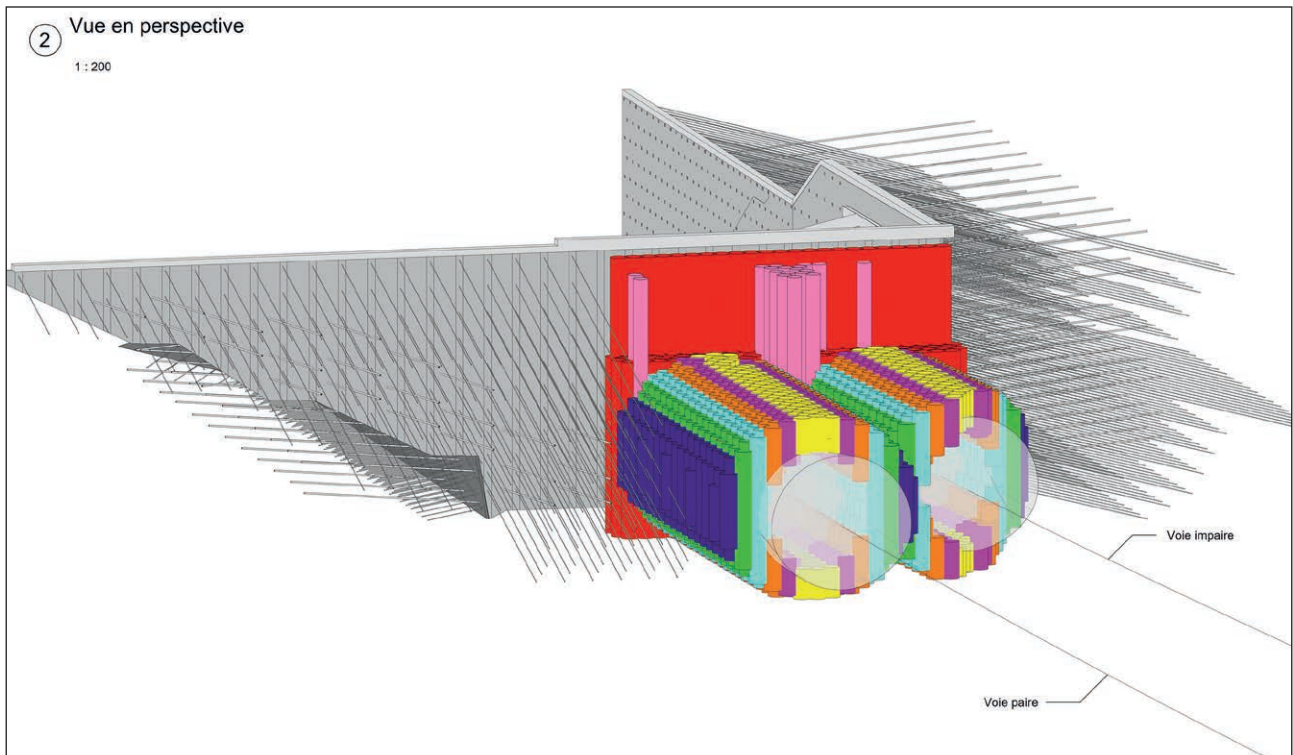
3 Ground improvement at the edge of the profile using high pressure grout injections

In the portal area, the two tunnel tubes are only 3.3 m apart. To secure the tunnelling works and stabilise the remaining central pillar, extensive subsoil improvement work using high-pressure grout injections was tendered for on approx. 50 m of the section of loose rock. The Lyon–Turin CO08 consortium submitted an offer with a variant for the technical and financial optimisation of the jet grouting work. The variant included two significant adjustments. On the one hand, the diameter of the jet columns achieved was able to be increased from 1,200 mm to 1,500 mm, and on the other hand, the jetting columns were only constructed at the edge of the tunnel profile. It was possible to dispense with cement injections across the entire tunnel cross-section. Due to this significant reduction in injection quantities, the offer was able to be technically and financially optimised, which ultimately led to the contract being awarded.



19 Excerpt from the jet grouting tender plan

TELT – Lyon–Turin Tunnel • Novel solutions for loose rock tunnelling in construction lot CO08 at the Mont-Cenis Base Tunnel



20 BIM model of jet columns with back-anchoring of the preliminary cut

By optimising the approx. 800 injection columns, it was possible to reduce the originally tendered volume of material from approx. 28,600 m to 7,500 m. By reducing the lengths injected by around 21,100 m, approximately 18,000 tonnes of cement was able to be saved. The corresponding CO₂ equivalent saved amounted to 12,000 tonnes.

In addition to the advantages in terms of costs, construction time and sustainability, clear advantages were identified at the start of tunnelling. Reinforcing the profile edge led to favourable conditions during excavation and problem-free reinforcement installation with virtually no convergence. At the same time, it was possible to excavate the subsoil in the centre of the profile almost without using the hydraulic hammer attachment. It was also possible to cut the edge of the profile around the jet columns using a roadheader attachment, which led to a significant reduction in noise and vibration. Particularly at the start of construction work, which took place in the immediate vicinity of residential areas, all of these aspects contributed to a successful start to tunnelling work and good relations with the residents.

4 Initial summary and outlook

Construction work on lot CO08 has been successfully underway since the start of construction in November 2021. In the first year, the con-



21 Start of tunnelling in December 2022 in the injected subsoil under the protection of the acoustic hangars

TELT – Lyon–Turin Tunnel • Novel solutions for loose rock tunnelling in construction lot CO08 at the Mont-Cenis Base Tunnel

struction site facilities, the preliminary cut and the subsoil improvement process were completed for the start of tunnelling. Since 5 December 2022, the excavation in loose rock has been running in continuous operation without any significant disruptions. Both the proposed optimisation of the subsoil improvement process in the portal area and the reinforced shotcrete lining in the cross-passages were successfully implemented and made a significant contribution to reducing risks during critical work. By mid-April 2024, the loose rock tunnelling work carried out on the two main tunnel tubes had been successfully completed over a length of around 540 m, as well as three cross-passages and one niche. Tunnelling in the compact rock sections is currently being carried out using the planned drill and blast construction method. Parallel to the ongoing excavation work, preparations are currently being made for the start of the concreting work, which is scheduled to begin in autumn 2024.

KEY PROJECT DATA

Region

Savoie – France

Client, project and project direction

TELT – Tunnel Euralpin Lyon Turin

Planning and construction management

• IG INALPAGE – EGIS, Ingerop, Alpina, Pini

Implementation

Lyon Torino CO08 consortium – Implenia, NGE GC, Itinera, Rizzani de Eccher

Characteristics

Construction time: November 2021–December 2027

Commissioning: 2032

Tunnel construction costs: CHF 228 million

Total length: 2,840 m

Excavated cross section: 80 m²

Raphael Wick, Dipl. Bauing. ETH/SIA, Gähler und Partner AG, Ennetbaden CH

Cathie Lequertier, MSc Ing. civ. EPFL, CFF Infrastructure, Renens CH

Lorenz Livers, BSc Bauingenieur ZHAW, Gähler und Partner AG, Ennetbaden CH

John Eichenberger, MSc Ing. civ. EPFL, Dr. ès sciences techniques, Gruner AG, Renens CH

SBB-Doppelspurtunnel Ligerz

Eine Engpassbeseitigung mit komplexen Randbedingungen

Mit dem Doppelspurausbau Ligerz–Twann wird der letzte Einspurabschnitt auf der Jurasüdfusslinie der SBB beseitigt. Neben einem Doppelspurtunnel in herausfordernder Geologie umfasst das Projekt diverse, teilweise höchst anspruchsvolle Kunstbauten. Planung und Realisierung sind geprägt von beengten Platzverhältnissen und zahlreichen Umweltrandbedingungen und Schutzzonen.

1 Einleitung

Die Jurasüdfusslinie der SBB führt von Genf/Lausanne über Neuenburg und Biel nach Basel/Zürich. Die bestehende Einspurstrecke im Abschnitt Ligerz–Twann ist ein Flaschenhals auf dieser sowohl für den Personen- wie den Güterverkehr wichtigen West-Ost-Achse. Mit dem Doppelspurausbau wird ein Kapazitätsausbau ermöglicht und die Fahrplanstabilität verbessert [1].

Die heutige Trasse führt am Seeufer entlang, quer durch die Dörfer Schafis, Ligerz und Bipschal, was einen Doppelspurausbau vor Ort unmöglich macht (Bild 1). Deshalb wird die Trasse in einen neuen Doppelspurtunnel verlegt, der das Siedlungsgebiet bergseitig umfährt. Damit wird auch eine Entlastung der Anwohner und eine Aufwertung des Landschaftsbildes erreicht.

Nicht nur die beengten Platzverhältnisse, sondern auch zahlreiche Schutzzonen haben die Planung massgeblich beeinflusst. Die Region linkes Bielerseeufer ist im Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler von nationaler Bedeutung (BLN) aufgeführt, einzelne Ortschaften gehören zum Bundesinventar der schützenswerten Ortsbilder der Schweiz (ISOS), gewisse Strassenabschnitte sind im Bundesinventar der historischen Verkehrswege der Schweiz (IVS) verzeichnet, und die Fundstätten der Pfahlbausiedlungen im Bereich Portal West und Bahnhof Twann sind Teil einer UNESCO-Schutzzone. Zudem befindet sich im Portalbereich Ost eine Trinkwasserfassung, die drei Gemeinden versorgt und deren Schutzzonen direkt an den Bauperimeter angrenzen (S2) beziehungsweise diesen tangieren (S3) [2].



1 Durchfahrt ICN durch Ligerz (Portalbereich Ost)

Quelle: SBB

Tunnel à double voie des CFF à Gléresse

Élimination d'un goulet d'étranglement dans un environnement complexe

Cette partie de la ligne ferroviaire, qui traverse actuellement les villages situés le long du lac de Biemme, sera supprimée, renaturée et remplacée par un tunnel à double voie de 2.1 km de long qui contournera la zone résidentielle située à flanc de montagne. Le nouveau tracé nécessitera la modification de la demi-jonction de la N5 avec un nouveau pont de sortie du côté ouest et un remblai dans le lac du côté est afin de créer l'espace nécessaire à la création de la double voie. Le tunnel traversera des formations calcaires et marno-calcaires, susceptibles de gonfler, qui contiennent potentiellement des formations karstiques et d'importantes venues d'eau. Parmi les particularités du projet, citons l'utilisation de la galerie de fuite existante de l'autoroute par les CFF et la construction d'un bassin de rétention commun.

Galleria FFS a doppio binario del Ligerz

Eliminazione del collo di bottiglia con complesse condizioni al contorno

L'odierna tratta, che attraversa i villaggi sul lago, verrà dismessa permettendo una riqualifica dei terreni attraversati. La tratta sarà sostituita con una galleria a doppio binario lunga 2.1 km che aggira i nuclei abitati sul versante della montagna. Sul lato ovest, il nuovo tracciato necessita un adeguamento del semivincolo della N5 con un nuovo ponte in uscita, e sul lato est una rinaturalizzazione per ricavare la superficie necessaria per la costruzione dei manufatti per permettere l'ampliamento del doppio binario. La galleria attraversa formazioni calcaree e marnose, in parte con potenziale di rigonfiamento, formazioni carsiche e possibili grandi afflussi d'acqua.

Una particolarità del progetto è condivisione del cunicolo di sicurezza dell'autostrada. Infatti, il cunicolo autostradale esistente garantirà le vie di fuga dal tunnel ferroviario. Il progetto prevede altresì la costruzione di un bacino di emergenza anch'esso in condivisione tra FFS e USTRA.

2 Projektüberblick

2.1 Projektgliederung, wichtigste Objekte

Das Ausbauprojekt umfasst eine Länge von 4.7 km. Davon entfallen 1.3 km auf den Trassenausbau West, 2.1 km auf den Doppelspurtunnel, 0.5 km auf den Doppelspurausbau Ost und 0.8 km auf den Umbau Bahnhof Twann. Zudem werden auch zahlreiche grössere Kunstbauten erstellt (Bild 2).

Im Sektor West sind dies die Verlängerungen der Unterführungen Poudeille und La Neuveville, das 114 m lange Viadukt N5 (Bild 3) für die Umlegung des Halbanschlusses der Autobahn N5, ein kombiniertes Havariebecken für den Bahn- und den Autobahntunnel sowie das Bahntechnikgebäude Poudeille.

Um im Sektor Ost Platz für die neue Doppelspur zu schaffen, muss zuerst eine Seeschüttung erstellt werden. Wegen schlechter geotechnischer Verhältnisse – unter anderem Schichten mit Seekreide – wird die Trasse in diesem Bereich auf einer 228 m langen, pfahlfundierten Betonplatte erstellt (Bild 4). Direkt beim Portal Ost unterquert die Kantonsstrasse die neue Bahnlinie mit einer 340 m langen Grundwasserwanne (Bild 5). Auch beim Portal Ost werden ein Havariebecken und ein Bahntechnikgebäude erstellt.



Quelle: GILIG (Gähler und Partner AG)

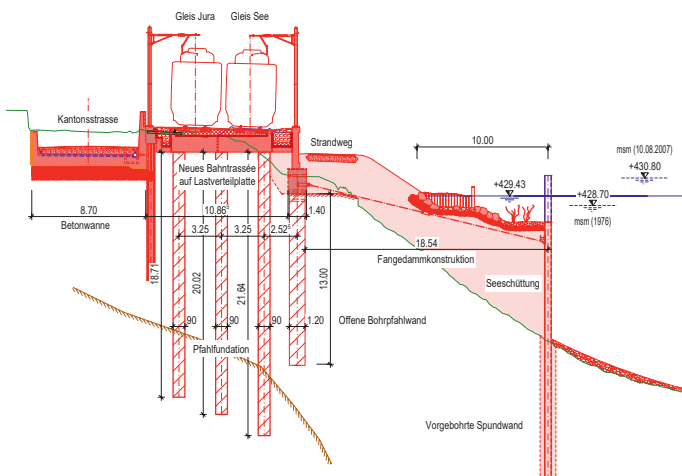
2 Projektübersicht

SBB-Doppelspurtunnel Ligerz • Eine Engpassbeseitigung mit komplexen Randbedingungen



Quelle: GILIG (Gruener AG)

3 Visualisierung Portalbereich West mit Viadukt N5



Quelle: GILIG (Gruener AG)

4 Trasseverbreiterung Ost mit Seeschüttung und Lastverteilplatte



Quelle: GILIG (Gruener AG)

5 Visualisierung Portalbereich Ost mit Grundwasserwanne

Im Bereich Klein-Twann wird die Unterführung verlängert und für die Trassenverbreiterung eine 149 m lange Stützmauer erstellt.

Der Bahnhof Twann wird komplett umgebaut und mit zwei Seitenperrons, neuer Unterführung und neuen Zugangsrampen behindertengerecht gestaltet. Das Bahnhofsgebäude wird abgebrochen und ein neues Bahntechnikgebäude unter dem Perron Seite See erstellt.

Die alte Trasse zwischen Schafis (Portal West) und Bipschal (Portal Ost) wird nach Inbetriebnahme der Neubaustrecke komplett rückgebaut. Für die Rekultivierung beziehungsweise Nachnutzung der rund 31 000 m² grossen, freierstehenden Fläche haben die Gemeinden in Partnerschaft mit der SBB einen Richtplan erstellt. Dieser sieht Flächen für den Weinbau und die öffentliche Nutzung – unter anderem Grünzonen und Wege für den Langsamverkehr – sowie ökologische Ausgleichsflächen vor. Die Realisierung erfolgt ab ca. 2029 durch die betroffenen Gemeinden.

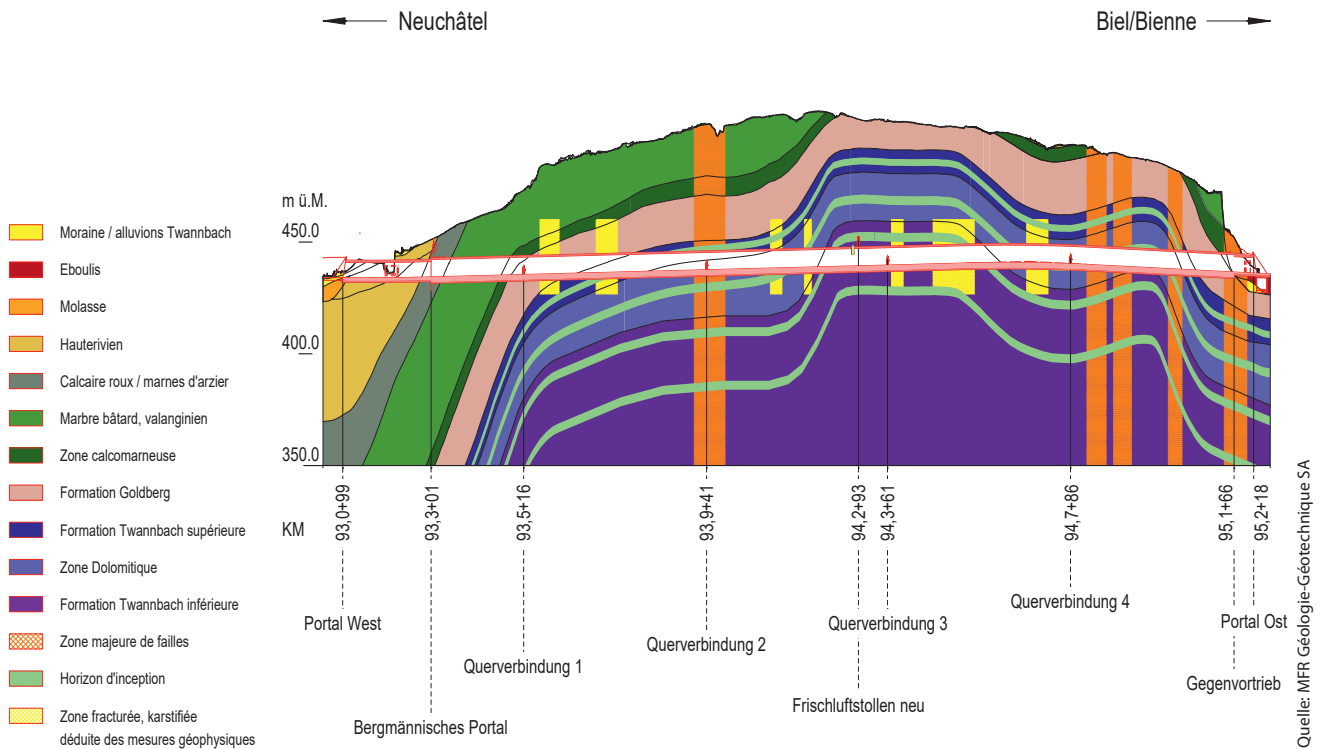
2.2 Geologie

Das Projekt befindet sich am Südhang der ersten Jurakette, die aus Gesteinen von der Trias bis zum Tertiär besteht. Diese Gesteine sind teilweise stark tektonisiert und bilden mehrere Synklinalen und Antiklinalen. Oberflächlich sind die Gesteine mit Moräne und Gehängeschutt bedeckt.

Im Portalbereich West liegen mehrheitlich Mergel-Serien vor, die ungünstige Lagerungswinkel zum Bauwerk aufweisen. Im Portalbereich Ost befindet sich eine Rutschungszone aus Gehängeschutt und der Goldbergformation.

Der Tunnel durchquert die geologischen Formationen aufgrund der bogenförmigen Linienführung zweimal. Geotechnisch kritisch sind die Goldbergformation, eine heterogene Wechsellagerung von Kalkstein, mergeligen Kalken, Mergeln/Tonmergeln und Dolomit, sowie die obere Twannbachformation. In den Kalksteinen dieser Formation sind zudem starke Verkarstungen mit Karstwasserzutritten von bis zu 2000 l/s möglich. Die Goldbergformation ist tektonisiert, teilweise stark zerschert und weist lokal ein Quellschüttungspotenzial auf (Bild 6).

Aus hydrogeologischer Sicht können die Schichten aus Jura und Kreide in zwei Hauptkategorien unterteilt werden: Kalkstein-Serien, die von Bruchzonen und Karstformationen durchzogen und daher potenzielle Grundwasserträger sind, sowie Mergel-Serien, die Grundwasserstauer darstellen und in denen nur wenig bis gar kein fließendes Wasser zu erwarten ist. In den Kalkstein-Serien existieren zwei Grundwasserleiter, die durch die Goldbergformation voneinander getrennt sind. Die Brunnmühlenquelle, das zentrale Element der regionalen Wasserversorgung, wird nur durch den unteren Grundwasserleiter gespeist. Dieser Grundwasserleiter kann im inneren Bereich bei Hochwasser teilweise stark gespannt sein (Druck bis zu 6 bar auf Tunnelniveau).



6 Geologisches Längenprofil

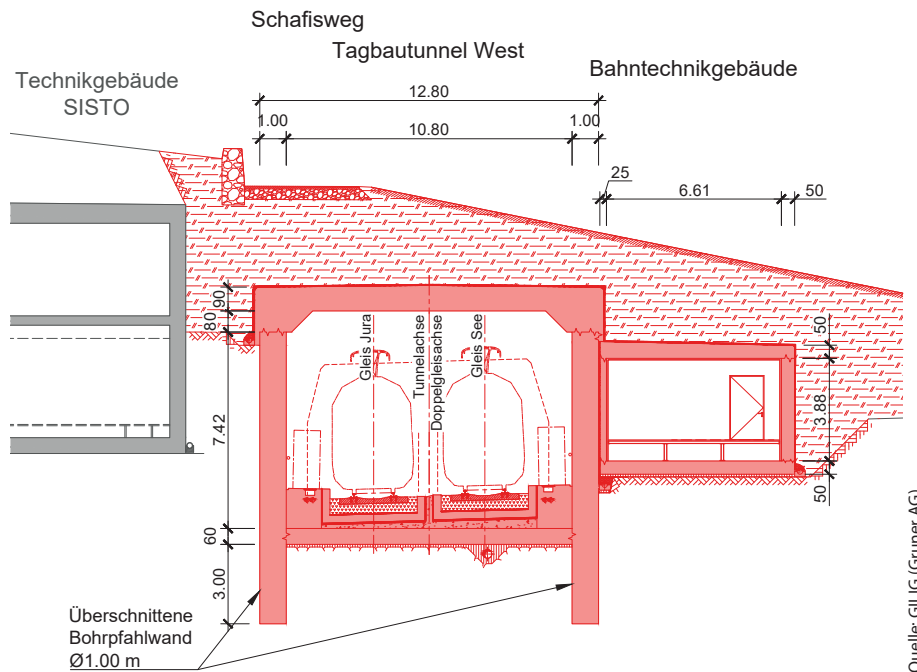
3 Doppelspurtunnel

3.1 Wichtigste bauliche Elemente

3.1.1 Voreinschnitt und Tagbautunnel West

Der Voreinschnitt West ist die erste Baumaßnahme, um den Tunnelvortrieb rasch zu starten und das Förderband für das Ausbruchmaterial zur schwimmenden Verladeplattform installieren zu können. Im östlichen, 24 m langen Portalbereich wird die bis zu 23 m tiefe Baugrube im oberen Teil und bei der Portalwand mit Spritzbeton und Bodennägeln gesichert, in der unteren Hälfte mit einer 10 m hohen Rühlwand und Vorspannankern. Im westlichen Bereich wird der 201 m lange Tagbautunnel grösstenteils in Deckelbauweise mit Wänden aus überschrittenen Bohrpfählen (\varnothing 1.0 m) erstellt (Bild 7).

Da die Autobahnausfahrt über den zukünftigen Tagbautunnel führt und für den Bau provisorisch umgelegt werden muss, erfolgt der Rohbau in zwei Etappen. Aufgrund des abflachenden Geländes im westlichen Teil und der Einschränkungen der angrenzenden Bielerstrasse wird der Tagbautunnel in einer gemischten Bauweise erstellt. In einer offenen Baugrube wird bergseitig eine provisorisch vorgespannte Bohrpfahlwand errichtet, die dann mit einer Betonrahmenkonstruktion verbunden wird. Das Bahntechnikgebäude West wird direkt an den Tagbautunnel angebaut.



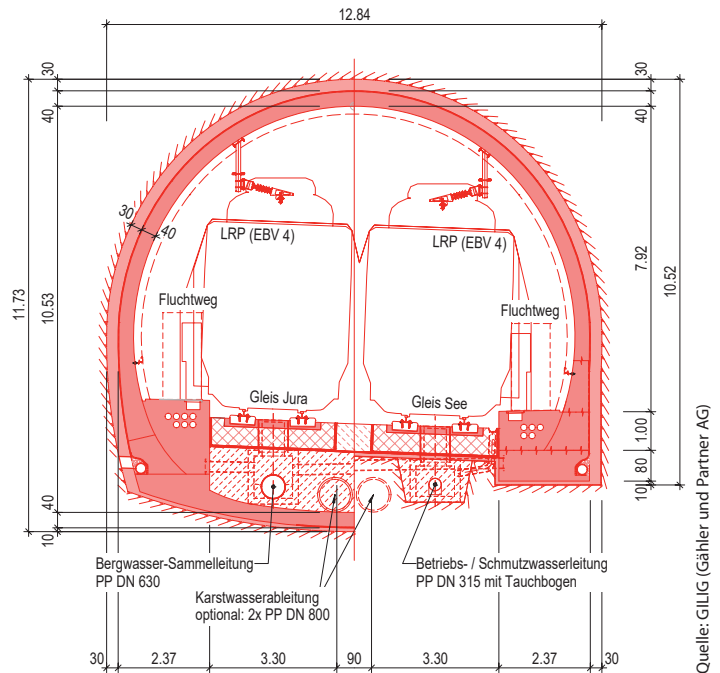
7 Tagbautunnel West: Querschnitt durch Deckelbauweise

3.1.2 Bergmännischer Tunnel, Hauptvortrieb

Der 1865 m lange bergmännische Bahntunnel wird sprengtechnisch im Kalottenvortrieb ausgebrochen. Rund zwei Drittel des Vortriebes erfolgen steigend, die letzten 410 m fallend. Das Normalprofil weist einen zweischaligen Ausbau mit Regenschirmabdichtung sowie eine Entwässerung im Trennsystem auf. In den geotechnisch schwierigen Goldberg- und oberen Twannbachformationen ist ein Sohlgewölbe vorgesehen. Als Ausbruchsicherung kommen je nach Sicherungskategorie Anker, Netze und Spritzbeton oder ein (geschlossener) Stahleinbau zur Anwendung. Die Dicke des Innengewölbes beträgt 40 cm (Bild 8).

In den Kalksteinformationen sind starke Verkarstungen mit grossen Wasserzutritten möglich. Im Eintretensfall wird in erster Linie versucht, das Wasser zu fassen, um den Tunnel herumzuführen und wieder ins Gebirge einzuleiten.

Zusätzlich zu den Technikräumen in den Querverbindungen werden im Bahntunnel fünf Nischen für Bahntechnikinstallationen sowie alle 50 m Personenschutznischen erstellt.

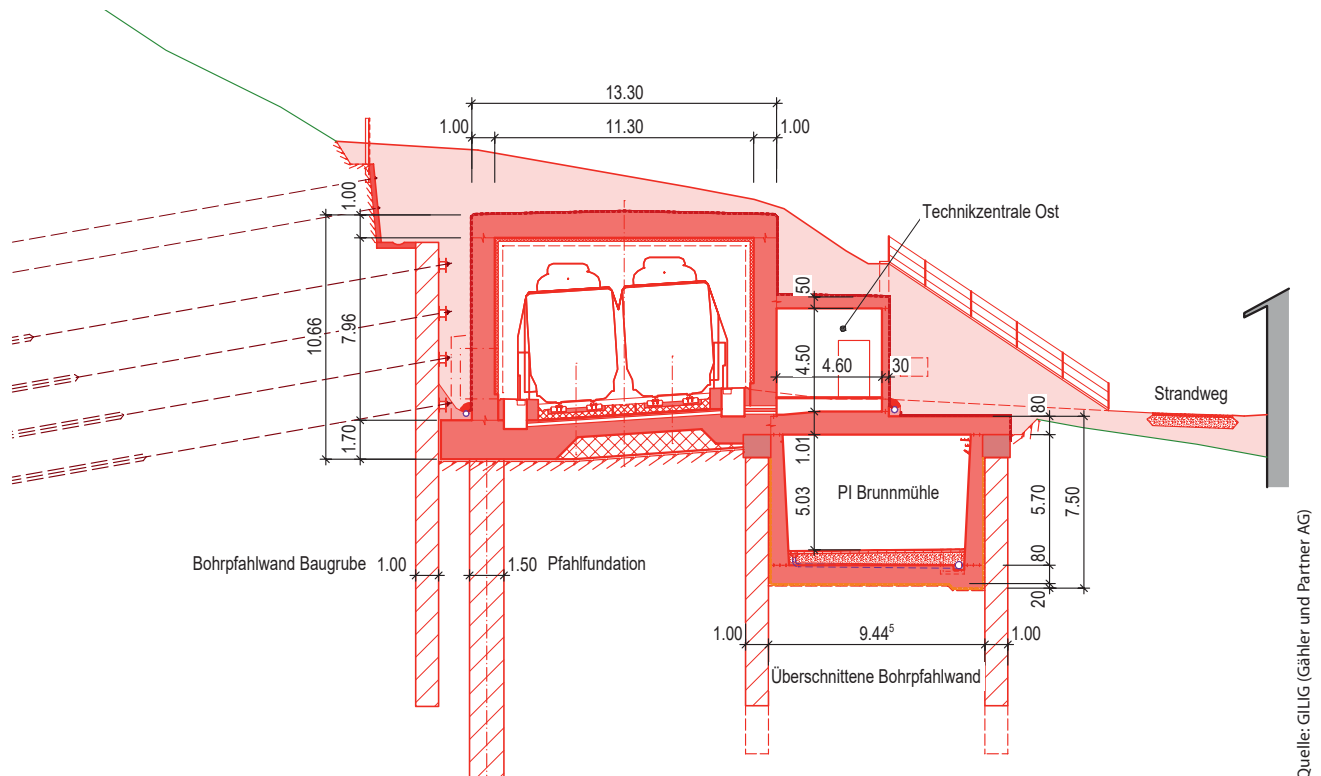


8 Tunnelnormalprofil mit (links) und ohne Sohlgewölbe (rechts)

Die Fahrbahn wird, mit Ausnahme des Portalbereichs West, mit einer Festen Fahrbahn ausgerüstet.

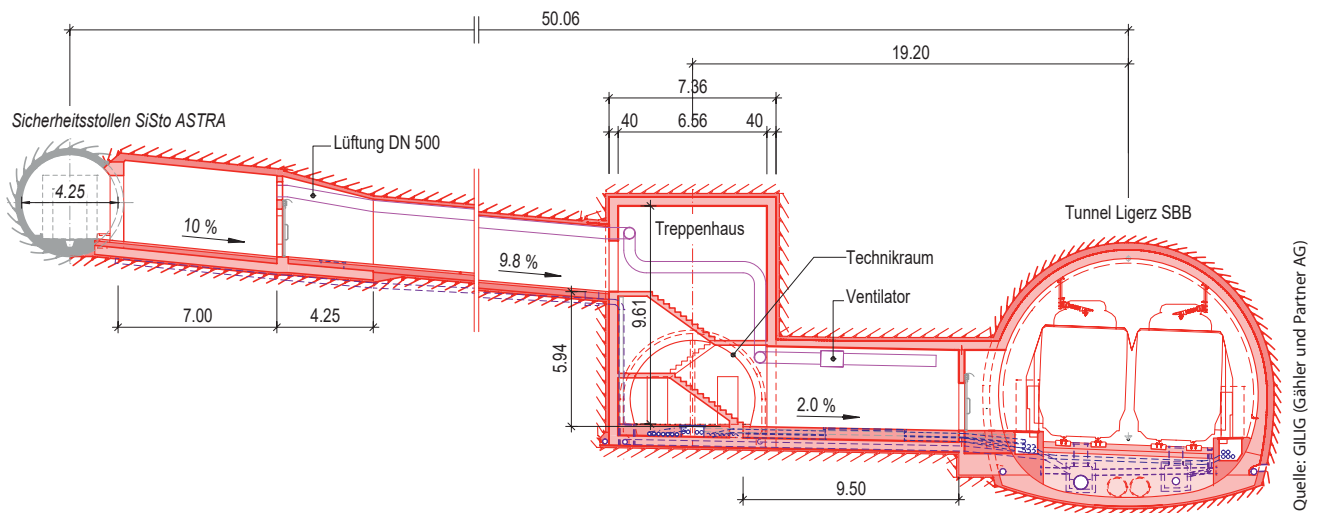
3.1.3 Voreinschnitt Ost, Portalbauwerk und Gegenvortrieb

Der Voreinschnitt Ost befindet sich in steil ansteigendem, geotechnisch schwierigem Gelände. Die bis zu 23 m tiefe Baugrube wird im oberen Teil mit Spritzbeton, Bodennägeln und Vorspannkern gesichert, im unteren Bereich mit einer aufgelösten Bohrpfahlwand (\varnothing 1.0 m, L: max. 27 m), die mit Vorspannkern (R_{ak} 2030 kN) gesichert ist.



9 Querschnitt durch Portalbauwerk Ost und Grundwasserwanne Kantonsstrasse

SBB-Doppelspurtunnel Ligerz • Eine Engpassbeseitigung mit komplexen Randbedingungen



10 Querverbindung mit Treppe und Anschluss an SiSto

Direkt anschliessend befindet sich die Baugrube für das Unterquerungsbauwerk der Kantonsstrasse. Dieses liegt im Grundwasser und ist mit einer überschnittenen Bohrpfehlwand (\varnothing 1.0 m) gesichert. Die Bohrpfähle dienen im Endzustand auch als Auftriebs-sicherung.

Das 45 m lange Portalbauwerk ist eine massive, rechteckige Rahmenkonstruktion (Decke d: 1.40 m, talseitige Wand d: 1.40 m), die aufgrund der topografischen Verhältnisse und der ungünstigen Baugrundeigenschaften auf eine Pfahlfundation (\varnothing 1.0 m, L bis 35 m) abgestellt ist (Bild 9). Um die Hangstabilität im Endzustand sicherzustellen, werden die Pfähle der Baugrubensicherung statisch als mitwirkend betrachtet.

Da die Goldbergformation in diesem Bereich stark verwittert ist, wird aus der Baugrube heraus ein Gegenvortrieb erstellt. Dieser erfolgt als Kalottenausbruch mit einem Rohrschirm (max. drei Etappen à 10 m, Überlappung 5.0 m). Die Kalottenwiderlager werden mit Mikropfählen verstärkt.

3.1.4 Querverbindungen

Der Bahntunnel hat vier Notausgänge, welche über Querverbindungen (QV) zum Sicherheitsstollen (SiSto) des Autobahntunnels N5 führen. Wegen der unterschiedlichen Trassierung von Bahn- und Strassentunnel variiert sowohl die Länge der QV zwischen 42 m und 100 m als auch die Höhendifferenz von 8.9 m bis 13.4 m. Dieser Höhenunterschied kann selbst mit einem maximalen Längsgefälle von 10 % bei zwei QV nur mit einem Treppenhaus überwunden werden. Damit es im Ereignisfall vor der Treppe nicht zu einem Rückstau kommt, ist ein ausreichend grosser Vorraum vorgesehen.

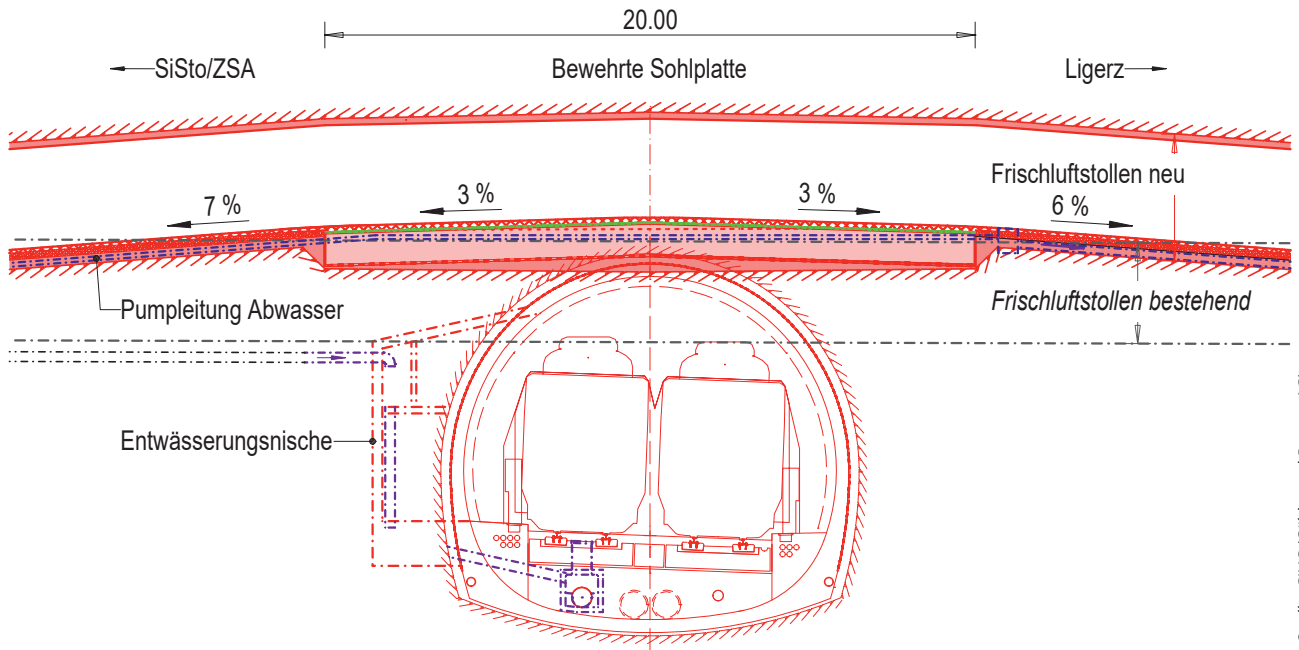
Im tunnelseitigen Bereich der QV befindet sich ein seitlich angeordneter Technikraum für die verschiedenen Bahntechnikinstallationen. Dieser Bereich inklusive Technikräume und Treppenhäuser wird zweischalig mit Regenschirmabdichtung ausgebildet, der restliche Bereich bis zum SiSto nur einschalig (Bild 10).

Der Ausbruch erfolgt im Sprengvortrieb. Die letzten Meter vor dem SiSto werden als maschinenunterstützter Vortrieb im Fels ausgebrochen, um die Erschütterungen zu minimieren.

3.1.5 Umlegung Lüftungsstollen

Nach rund 1 km Vortrieb durchquert der Bahntunnel einen Stollen, der eine unterirdische Betriebszentrale des Autobahntunnels und eine Zivilschutzanlage mit Frischluft, Strom und Trinkwasser versorgt und durch den auch das Abwasser aus diesen Anlagen abgeleitet wird. Aufgrund der Trassierungsrandbedingungen des Bahntunnels ist eine Über- oder Unterquerung dieses Stollens nicht möglich. Daher muss der Stollen für den Bau des Bahntunnels umgelegt werden. Der neue Stollen wird in einem seitlichen Bogen über den Bahntunnel geführt.

Im Querungsbereich wird die Sohle des neuen Stollens als massive, bewehrte Platte ausgebildet. Diese bildet gleichzeitig die Firstsicherung des Bahntunnels. Das Bergwasser des Stollens wird in die Sammelleitung des Bahntunnels eingeleitet. Das Schmutzwasser muss aufgrund des Hochpunktes im neuen Stollen mit einer Pumpleitung an die Bestandsleitung angeschlossen werden. Nach Inbetriebnahme des neuen Stollenabschnitts wird der alte Stollen teilweise verfüllt (Bild 11).



Quelle: GILLIG (Gähler und Partner AG)

11 Unterquerung Lüftungstollen

3.2 Bautechnische Herausforderungen

Das Projekt weist zahlreiche tunnelbautechnische Herausforderungen auf. Neben den nachfolgend im Detail erläuterten Problemstellungen sind dies unter anderem die Interaktion der Baugrubensicherung des Voreinschnittes Ost mit dem Rohrschirm des Gegenvortriebes, die schwierige Zugänglichkeit der Baustelle mit sehr eingeschränkten Platzverhältnissen oder die anspruchsvolle Geologie mit Quellpotenzial, Karstformationen und Seekreide.

3.2.1 Vortriebsstart beim Westportal

Auf den ersten 35 m hat der Tunnel eine geringe Überdeckung von 8.0 m bis 10.0 m. In diesem Bereich werden Mergel- und Kalkformationen durchfahren, die mit Hangschutt und Geröll überlagert sind.

In unmittelbarer Nähe des Tunnels befinden sich die Betriebszentrale des SiSto, ein Lagergebäude sowie ein Wohnhaus. Letzteres steht, bei einer Ausbruchbreite von 12.8 m, nur knapp 11 m neben der Tunnelachse und wird als setzungsempfindlich eingestuft. Um Erschütterungen und Setzungen zu minimieren, erfolgt ein Kalottenausbruch mit maschinenunterstütztem Vortrieb im Fels.

Um Setzungen respektive Deformationen des Wohnhauses möglichst zu vermeiden, sind vorausseilende Massnahmen, wie eine massive Ortsbrustankerung und Spiessschirme alle 1 m, notwendig. Zudem ist ein rascher Ringschluss vorgesehen, indem nach zwei Ausbruchtappen à 1 m in der Kalotte bereits die Strosse nachgezogen und ein Sohlgewölbe eingebaut wird. Der Hohlraum wird mit einem Stahleinbau (HEB 200) und einer 30 cm dicken bewehrten Betonschale gesichert, wobei im Einwirkungsbereich des Wohnhauses der Abstand des Stahleinbaus reduziert wird.

3.2.2 Ausbruch QV und Anschluss an SiSto unter Betrieb

Die bautechnischen und baubetrieblichen Herausforderungen bei der Erstellung der QV liegen in der grossen Höhendifferenz zwischen Bahntunnel und SiSto (Bild 10) sowie dem Anschluss an den SiSto, ohne den Betrieb des Autobahntunnels einzuschränken.

Für den sicheren Betrieb des Autobahntunnels muss die Funktionalität des SiSto (Lüftung, Fluchtweg) jederzeit gewährleistet sein. Daher müssen alle Rohbauarbeiten der QV vom Bahntunnel aus erfolgen. Einzige Ausnahme ist eine Schottwand, die vor dem Durchschlag im SiSto erstellt wird. Diese Schottwand liegt ausserhalb des Fluchtwegprofils des SiSto, wird staubdicht erstellt und dient als provisorischer Abfangträger, wenn beim Durchschlag die tragende Gewölbeschale des SiSto lokal abgebrochen wird.

Der Vortrieb der QV erfolgt steigend mit einem maximalen Gefälle von 10 %. Der Ausbruch der „Treppenkaverne“ bei den QV 2 und 3 erfolgt von unten nach oben. Für den anschliessenden Vortrieb des zweiten Teils der QV muss entweder eine Rampe geschüttet oder die Vortriebsausrüstung mit einer Hebeinstallation auf Kalottenniveau der Kaverne angehoben werden. Bei der Versorgung des Vortriebes (Sicherungsmittel) und der Schutterung muss diese Höhendifferenz ebenfalls überwunden werden.

3.2.3 Umlegung Frischluftstollen unter Betrieb

Weil der Frischluftstollen für den sicheren Betrieb des Autobahntunnels erforderlich ist, muss der neue Stollen fertiggestellt sein, bevor der bestehende ausser Betrieb genommen werden kann. Zudem müssen die Arbeiten unter ständiger Aufrechterhaltung der Funktionalität des Frischluftstollens erfolgen.

Dazu wird im Vorfeld auf der Seite der Betriebszentrale eine staub- und luftdichte Schottwand errichtet und für die Frischluftversorgung ein Ventilator mit Staubfilter eingebaut. Die Fluchtwegfunktion wird mit einer Schleuse sichergestellt und im Bereich der künftigen Querung wird eine provisorische Passerelle erstellt. Die Werkleitungen werden provisorisch umgelegt.

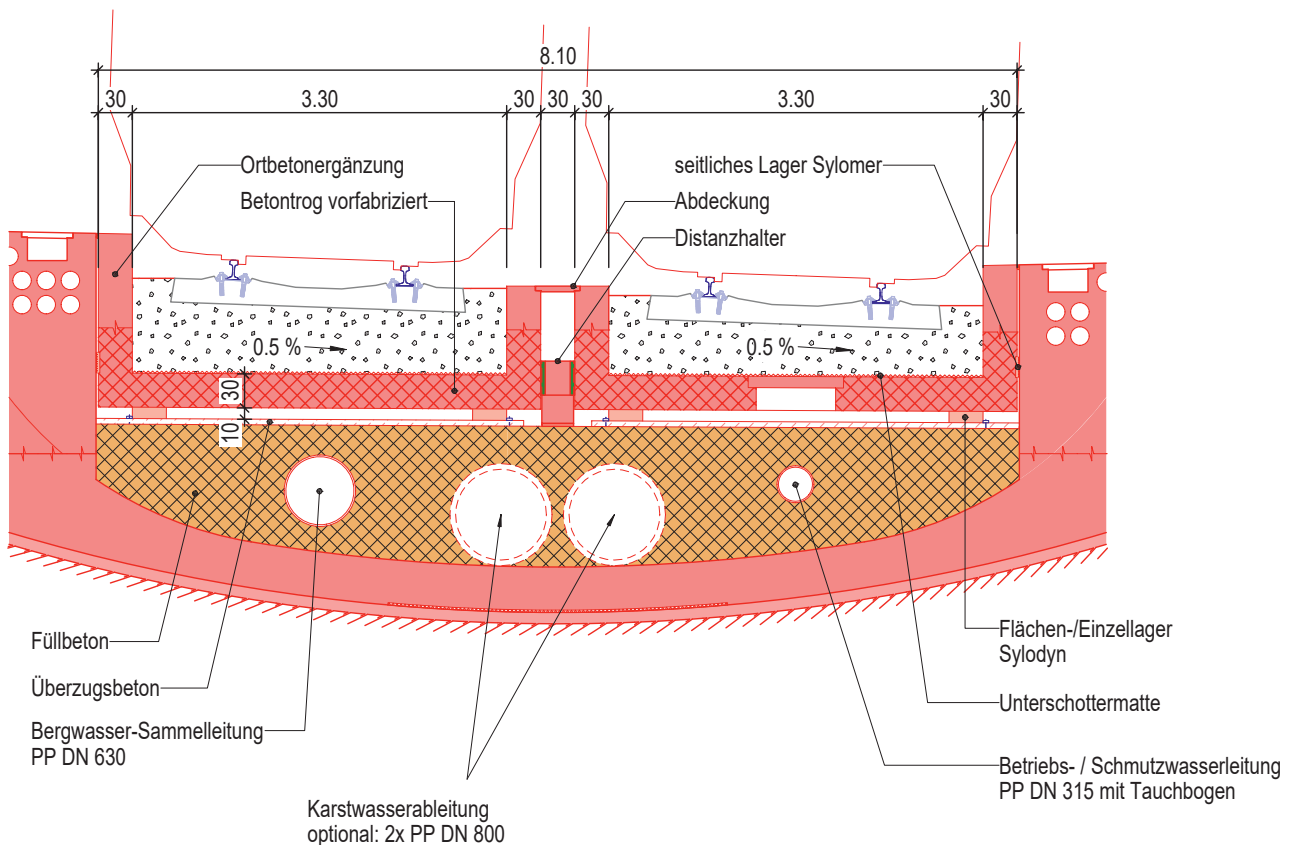
Der Kalottenvortrieb des Bahntunnels wird bis etwa 25 m vor den Lüftungsstollen geführt. Anschliessend wird der Vortrieb abgesenkt und das Normalprofil verkleinert. Mit dem reduzierten Profil wird der bestehende Stollen unterquert. Rund 25 m nach der Querung wird der Vortrieb wieder auf das reguläre Niveau gefahren und auf das Standardprofil aufgeweitet.

Anschliessend kann der neue Frischluftstollen über einen provisorischen Zugang vom Bahntunnel her im Sprengvortrieb erstellt werden. Die Anschlüsse an den Bestandsstollen werden mittels MUF ausgebrochen.

Nach Fertigstellung des neuen Frischluftstollens und Inbetriebnahme sämtlicher Infrastrukturen werden der provisorische Zugang und der nicht mehr benötigte Abschnitt des Lüftungsstollens verfüllt.

3.2.4 Massnahmen gegen Erschütterungen im Betrieb

Im Portalbereich West liegt der Tunnel sehr nahe an bestehenden Bauwerken. Um im Betriebszustand negative Auswirkungen durch Erschütterungen und Körperschall zu verhindern, wird in diesem Abschnitt ein schweres Masse-Feder-System (MFS) eingebaut. Aufgrund der Trassierungsrandbedingungen kann der Übergang von Schotterfahrbahn auf Feste Fahrbahn nicht ausserhalb des Tunnels erfolgen, sondern erst ab Tunnelmeter 380. Daher muss das MFS mit einer Schotterfahrbahn kombiniert werden. Für die beiden Gleise wird je ein separater Betonrog (= Masse) erstellt, der die Schotterfahrbahn aufnimmt. Der Betonrog seinerseits wird auf Sylomerblöcken (= Feder) gelagert. Durch diese Konstruktion werden die Gleise von der Tunnelkonstruktion entkoppelt und die Übertragung von Erschütterungen aus dem Betrieb minimiert (Bild 12).



Quelle: GLIG (Gähler und Partner AG)

12 Masse-Feder-System mit Schotterfahrbahn

Die Komplexität dieser Konstruktion wird durch weitere Randbedingungen massiv erhöht: Die Dimensionierung des MFS setzt voraus, dass der Betonrog über die gesamte Länge von 344 m ein steifer, durchlaufender Träger ist. Die ganze Konstruktion befindet sich in einer Wendeklothoide, das heisst, Quergefälle und Überhöhung und damit auch die Höhe des Troges verändern sich konstant. Aus diesen beiden Gründen ist nur eine Teilvorfabrikation möglich. Der Schotterrog muss entwässert werden, wobei wegen der elastischen Lagerung der Anschluss an die Schmutzwasserleitung beweglich auszubilden ist. Weil die Sylomerblöcke eine kürzere Lebensdauer als die Betonkonstruktion aufweisen, müssen sie auswechselbar sein.

Voreinschnitt West	92 500 t
Hauptvortrieb	783 300 t
Voreinschnitt Ost + Gegenvortrieb	14 000 t
Gesamtkubatur	889 800 t
Anteil Materialklasse 1	28,5 %
Anteil Materialklasse 2	60 %
Anteil Materialklasse 3	11,5 %

Quelle: GILIG

3.3 Materialbewirtschaftung

Beim Bau des Tunnels fallen rund 890 000 t Felsausbruch an, wobei 88 % davon aus dem Vortrieb stammen (Tabelle 1). Ausbruchmaterial, das nicht direkt projektintern wiederverwendet werden kann, wird nach Cornaux transportiert und dort der Wiederverwertung zugeführt. Je nach Qualität des Materials wird es entweder als Rohstoff für die Zementindustrie verwendet oder als Schüttmaterial beziehungsweise Gesteinskörnung für Beton aufbereitet. Das übrig bleibende Restmaterial wird für Rekultivierungen genutzt (Auffüllen alter Steinbrüche).

Tabelle 1 Materialanfall in Tonnen und Verteilung der Materialklassen

Das Materialbewirtschaftungskonzept sieht vor, dass rund zwei Drittel des Ausbruchmaterials per Schiff abtransportiert werden. Zu diesem Zweck wird im Portalbereich West eine schwimmende Verladeplattform installiert. In Cornaux erfolgt der Materialumlad von Schiff auf Förderband über eine bereits bestehende Umladestation. Mit diesem Konzept können die Lastwagenfahrten und damit die Umweltbelastung (Lärm, Staub, CO₂) massiv reduziert werden. Zudem wird auch der Materialtransport für die Seeschüttung vereinfacht. Das Schüttmaterial kann vom Westportal ebenfalls mit Schiffen auf die Ostseite transportiert und dort verklappt werden. Die Ortsdurchfahrten und die Gleisquerungen mit Lastwagen werden dadurch erheblich verringert.

4 Realisierung

Für die Realisierung wurden die Bauarbeiten in drei Rohbaulose zusammengefasst. Das Vorlos West umfasst die Trassearbeiten inklusive Kunstbauten auf der offenen Strecke West. Diese Arbeiten sind bereits abgeschlossen. Das Los Twann beinhaltet den Umbau des Bahnhofs Twann (Trassebau und Kunstbauten) sowie alle Kunstbauten im Bereich Klein-Twann. Dieses Los ist seit Ende 2022 in Ausführung. Die Mehrheit der Bauarbeiten wird im Juni 2024 mit der Wiederinbetriebnahme des Bahnhofs abgeschlossen sein, die Restarbeiten sind für 2029 geplant.

Das Hauptlos umfasst neben den bergmännischen Arbeiten auch die Voreinschnitte, Tagbauten, Technikgebäude und Havariebecke, die Umlegung des Halbanschlusses N5 inklusive Viadukt, die Unterquerung der Kantonsstrasse (Grundwasserwanne) beim Portal Ost sowie die Trassenverbreiterung Ost, bestehend aus Seeschüttung und pfahlfundierter Lastverteilplatte.

Aufgrund der beengten Platzverhältnisse wurde zur Reduktion der Schnittstellen und zur Optimierung des Gesamtbauprogrammes entschieden, dass ein Teil der bahntechnischen Ausrüstung im Tunnel ebenfalls durch das Hauptlos eingebaut wird. Dies umfasst die Fahrbahn (Schotterfahrbahn und Feste Fahrbahn), die Deckenstromschiene, den Handlauf und die Fluchtwegsignalisation, alle Fluchtwegtüren zu den QV und zum SiSto sowie die Türen zu den Technikräumen in den QV und den Stahlbau und die Schlosserarbeiten in den QV. Zusätzlich erstellt der Hauptunternehmer auch die Feste Fahrbahn im Bereich des Doppelspurausbbaus Ost (Lastverteilplatte).

Der Bau des Hauptloses wurde durch Submissionsbeschwerden verzögert. Anfang 2024 ist der Baustart erfolgt. Der Vortriebsbeginn ist für Oktober 2024 geplant, der Durchschlag wird voraussichtlich Anfang 2027 stattfinden (Stand: März 2024).

Referenzen

- [1] Cornaz, Ph., Tunnel de Ligerz, une longue histoire; STC 2020
- [2] SBB, Jurasüdfusslinie: die Zukunft beginnt, <https://company.sbb.ch/de/ueber-die-sbb/projekte/romandie-wallis/region-neuenburg-jura/ligerztunnel.html>
- [3] Auflageprojektdossier „Daillens–Bienne, accroissement de la capacité, doublement de la voie Gléresse–Douanne (Tunnel)“, 2018

PROJEKTDATEN

Region

Bielersee, Kanton Bern

Bauherr

CFF SA, Infrastructure Ouest

Planung und Bauleitung

GILIG: Groupement d'Ingenieurs Ligerz

- Gruner AG, Renens/Basel
- Gähler und Partner AG, Ennetbaden

Bauausführung Hauptlos (Tunnel)

Consortium IBD

- Implenia Suisse SA, Echandens/Glattpark
- F. Bernasconi et Cie SA, Les Geneveys-sur-Coffrane
- De Luca SA, Bienne

Ausführung

Baubeginn Vorlos 2022, Baubeginn Hauptlos 2024

Kenndaten

Bauzeit: Rohbau: 2022–2027, Ausrüstung 2027–2029
Inbetriebnahme: 2029
Baukosten Tunnel: CHF 431.9 Mio.
Rohbau Tunnel: CHF 153.5 Mio.
Gesamtlänge: 2119 m
Ausbruchquerschnitt: 110.5 m² (125.8 m² mit Sohlgewölbe)

Besondere Merkmale

SBB-Doppelspurtunnel, Sprengvortrieb, anspruchsvolle geologische Verhältnisse (Quellpotenzial, Karstformationen, Seekreide), Synergie mit Autobahntunnel (gemeinsame Nutzung SiSto und Havariebecken), zahlreiche Schutzzonen, Ausbau unter Betrieb

Raphael Wick, Dipl. Bauing. ETH/SIA, Gähler und Partner AG, Ennetbaden CH

Cathie Lequertier, MSc Ing. civ. EPFL, CFF Infrastructure, Renens CH

Lorenz Livers, BSc Bauingenieur ZHAW, Gähler und Partner AG, Ennetbaden CH

John Eichenberger, MSc Ing. civ. EPFL, Dr. ès sciences techniques, Gruner AG, Renens CH

SBB dual-track tunnel Ligerz

Eliminating a traffic bottleneck with complex boundary conditions

The Ligerz–Twann dual-track extension project will eliminate the last single-track section on the SBB's southern ridge-base line. In addition to a dual-track tunnel amidst challenging geological conditions, the project also includes various engineering structures, some of which are extremely demanding. Planning and construction are characterised by limited space and numerous environmental constraints and protected zones.

1 Introduction

The SBB's southern ridge-base line (Jurasüdfusslinie) runs from Geneva/Lausanne via Neuchâtel and Biel to Basel/Zurich. The current single-track line in the Ligerz–Twann section is a bottleneck on this important west–east axis for both passenger and freight transport. Expanding to dual tracks will increase the capacity and improve timetable stability [1].

The current route runs along the lakeshore of Lake Biel, right through the villages of Schafis, Ligerz and Bipschal, which makes a dual-track extension in this area impossible (Fig. 1). The railway line will therefore be relocated to a new dual-track tunnel that bypasses the residential area on the mountainside. This will also make life easier for local residents and improve the surrounding landscape.

Planning was significantly influenced by both limited space and numerous protected zones in the area. The region, on Lake Biel's west shore, is listed in the Federal Inventory of Landscapes and Natural Monuments of National Importance (BLN), individual villages nearby are included in the Federal Inventory of Swiss Sites worthy of Protection (ISOS), certain stretches of road are listed in the Federal Inventory of Historic Transport Routes in Switzerland (IVS) and the archaeological sites of the lake dwelling settlements around the western portal and Twann railway station are part of a UNESCO protection zone. There is also a potable water supply well in the eastern portal area that supplies three municipalities and whose protection zones directly adjoin (S2) or are tangential to the construction perimeter (S3) [2].



1 An intercity train passing through Ligerz (eastern portal area)

Credit: SBB

Tunnel à double voie des CFF à Gléresse

Élimination d'un goulet d'étranglement dans un environnement complexe

Cette partie de la ligne ferroviaire, qui traverse actuellement les villages situés le long du lac de Biene, sera supprimée, renaturée et remplacée par un tunnel à double voie de 2.1 km de long qui contournera la zone résidentielle située à flanc de montagne. Le nouveau tracé nécessitera la modification de la demi-jonction de la N5 avec un nouveau pont de sortie du côté ouest et un remblai dans le lac du côté est afin de créer l'espace nécessaire à la création de la double voie. Le tunnel traversera des formations calcaires et marno-calcaires, susceptibles de gonfler, qui contiennent potentiellement des formations karstiques et d'importantes venues d'eau. Parmi les particularités du projet, citons l'utilisation de la galerie de fuite existante de l'autoroute par les CFF et la construction d'un bassin de rétention commun.

Galleria FFS a doppio binario del Ligerz

Eliminazione del collo di bottiglia con complesse condizioni al contorno

L'odierna tratta, che attraversa i villaggi sul lago, verrà dismessa permettendo una riqualifica dei terreni attraversati. La tratta sarà sostituita con una galleria a doppio binario lunga 2.1 km che aggira i nuclei abitati sul versante della montagna. Sul lato ovest, il nuovo tracciato necessita un adeguamento del semisvincolo della N5 con un nuovo ponte in uscita, e sul lato est una rinaturalizzazione per ricavare la superficie necessaria per la costruzione dei manufatti per permettere l'ampliamento del doppio binario. La galleria attraversa formazioni calcaree e marnose, in parte con potenziale di rigonfiamento, formazioni carsiche e possibili grandi afflussi d'acqua.

Una particolarità del progetto è la condivisione del cunicolo di sicurezza dell'autostrada. Infatti, il cunicolo autostradale esistente garantirà le vie di fuga dal tunnel ferroviario. Il progetto prevede altresì la costruzione di un bacino di emergenza anch'esso in condivisione tra FFS e USTRA.

2 Project overview

2.1 Project structure, key objectives

The expansion project covers a length of 4.7 km. This includes 1.3 km for the western track extension, 2.1 km for the dual-track tunnel, 0.5 km for the eastern dual-track extension and 0.8 km for the Twann station renovation work. Numerous larger engineering structures will also be built (Fig. 2).

In the western sector, these structures include extending the underground passages Poudeille and La Neuveville, the 114-m-long N5 viaduct (Fig. 3) for the relocation of the N5 motorway half-junction, a combined emergency catchment tank for the railway and motorway tunnels and the Poudeille railway technology building.

In order to create space for the new dual track in the eastern sector, a lake fill must first be constructed. Due to poor geotechnical conditions in the area – including layers of lacustrine chalk – the route in this area is being constructed on a 228-m-long, pile-founded concrete slab (Fig. 4). Directly at the eastern portal, the cantonal road will cross under the future railway line with a 340-m-long groundwater trough (Fig. 5). An emergency tank and a railway technology building are also being built at the



2 Project overview

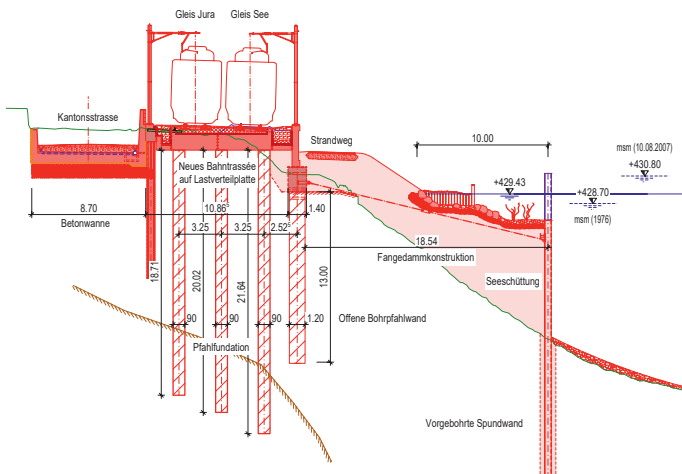
Credit: GILIG (Gähler und Partner AG)

SBB dual-track tunnel Ligerz • Eliminating a traffic bottleneck with complex boundary conditions



Credit: GILIG (Gruener AG)

3 Visualisation of the western portal area with N5 viaduct



Credit: GILIG (Gruener AG)

4 Eastern track extension with lake filling and load distribution plate



Credit: GILIG (Gruener AG)

5 Visualisation of eastern portal area with groundwater trough

eastern portal. In the Klein-Twann area, the underground passage will be extended and a 149-m-long retaining wall will be built to widen the route.

The Twann station will be completely remodelled and made handicapped accessible – with two side platforms, a new underground passage and new access ramps. The station building will be demolished and a new railway technology building will be constructed under the platform on the lake side of the tracks.

The old railway track between Schafis (western portal) and Bipschal (eastern portal) will be completely dismantled once the new railway line goes into operation. In partnership with SBB, the municipalities have drawn up a development plan for the recultivation and subsequent use of the approximately 31,000 m² of vacant land. This plan envisages areas for viticulture and public use – including green zones and paths for non-motorised traffic – as well as ecological compensation areas. The project will be realised by the municipalities concerned starting around 2029.

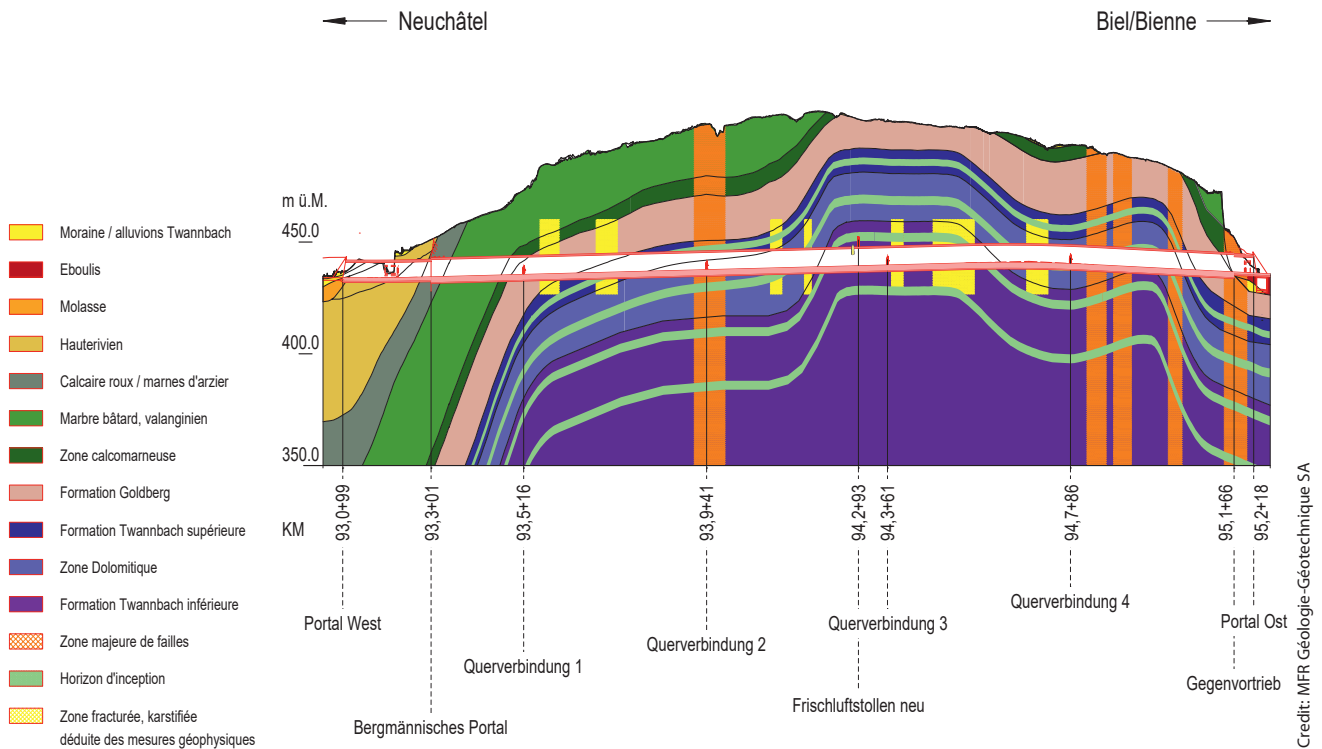
2.2 Geology

The project site is located on the southern slope of the Jura mountain range, which consists of rock from the Triassic to the Tertiary period. Some of these rocks are highly tectonised and form several synclines and anticlines. On the surface, the rocks are covered with moraine and slope debris.

In the western portal area, there are mainly marl formations with rock bedding angles that are unfavourable to the future structure. In the eastern portal area, there is a landslide zone consisting of slope debris and the Goldberg rock formation.

The tunnel will cross the geological formations twice due to its curved geometrical alignment. The Goldberg rock formation, a heterogeneous alternating layer of limestone, marly limestone, marls/clay marls and dolomite, as well as the upper Twannbach rock formation, are geotechnically problematic. In addition, strong karstification with karst water inflows of up to 2,000 litres per second can occur in the limestone layers of this formation. The Goldberg rock formation is tectonised, heavily fractured in places and has local source water potential (Fig. 6).

From a hydrogeological point of view, the Jurassic and Cretaceous strata can be divided into two main categories: Limestone series, which are traversed by fracture zones and karst formations and are therefore potential groundwater carriers, and marl series, which represent groundwater barriers, in which little or no flowing water can be expected. There are two aquifers in the limestone series, which are separated from each other by the Goldberg rock formation. The Brunnmühlen spring, the central element of the regional water supply, is only supplied by the lower aquifer. The inner section of this aquifer can be highly pressurised during floods (pressure of up to 6 bar at tunnel level).



6 Geological longitudinal profile

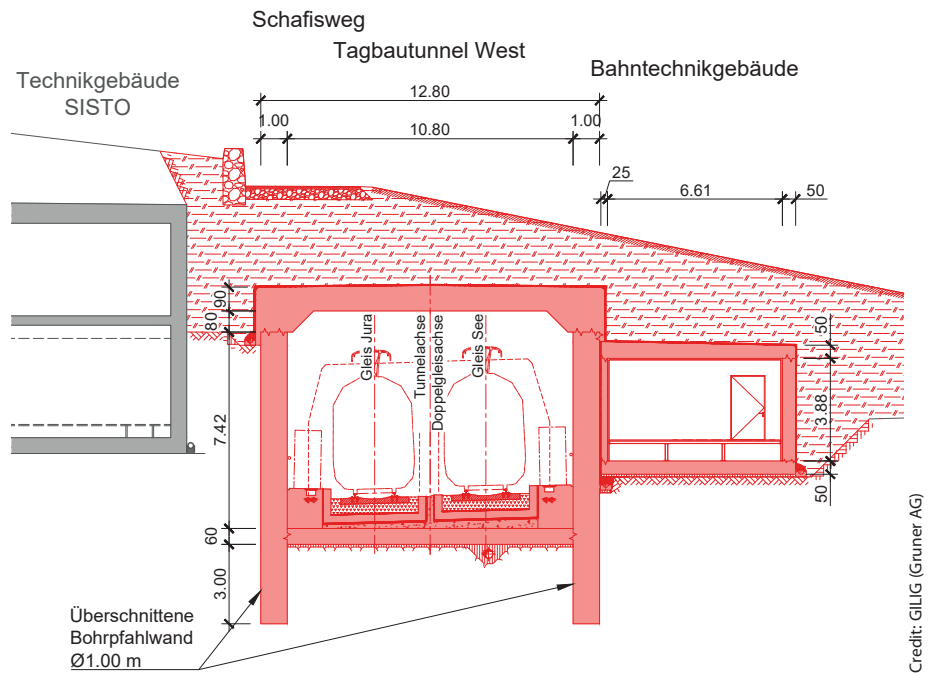
3 Dual-track tunnel

3.1 Most important construction elements

3.1.1 Western preliminary cut and cut-and-cover tunnel

The western preliminary cut is the first construction step in order to be able to start tunnelling quickly and to install the conveyor belt for transporting the excavated material to the floating loading platform. In the eastern, 24-m-long portal area, the building pit, which will be up to 23 m deep, will be secured in the upper part and at the portal wall with sprayed concrete and soil nails (anchors), and in the lower half with a 10-m-high soldier pile wall and prestressed anchors. In the western area, the 201-m-long cut-and-cover tunnel will be built largely using the top-down construction method with walls made of overlapping bored piles (Ø 1.0 m) (Fig. 7).

As the motorway exit will run over the future location of the cut-and-cover tunnel and has to be temporarily rerouted for construction, the shell will be built in two stages. Due to the sloping terrain in the western section and the restrictions present due to the neighbouring Bielerstrasse, the cut-and-cover tunnel will be constructed using a mixed construction method. A temporary pre-stressed bored pile wall will be erected in an open building pit on the mountainside, which will then be connected to a concrete frame



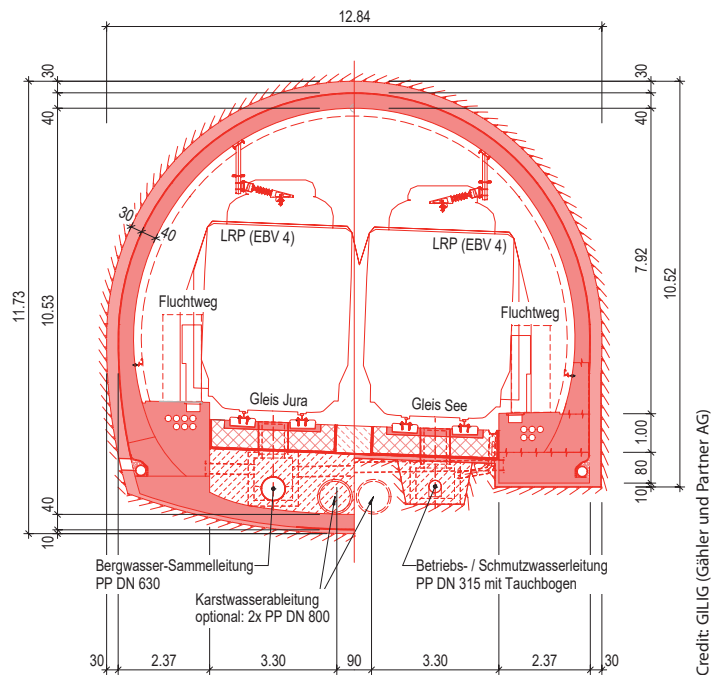
7 Cut-and-cover tunnel, west cross-section using top-down construction method

construction. The railway technology building to the west will be built directly adjacent to the cut-and-cover tunnel.

3.1.2 Mined tunnel, main heading

The 1,865-m-long mined railway tunnel will be excavated by drill and blast in a top heading excavation. Around two thirds of the advance will be uphill and the last 410 m will be downhill. The standard cross-section is designed to include a double-lining structure with a waterproof membrane and drainage with a separation system. A floor invert is planned to be constructed in the geotechnically difficult Goldberg and upper Twannbach rock formations. Depending on the security class, bolts, wire mesh and sprayed concrete or a (closed) steel structure will be installed to prevent collapse. The thickness of the inner lining is 40 cm (Fig. 8).

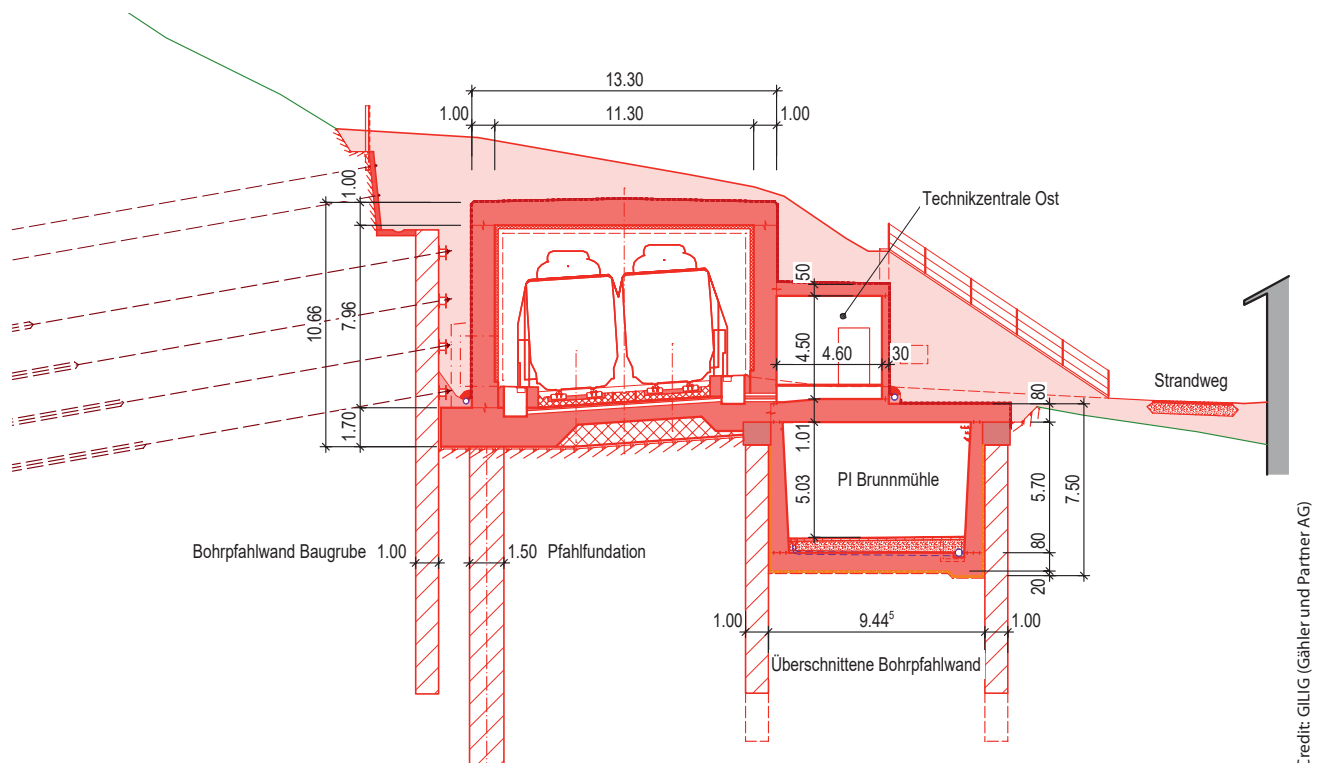
Heavy karstification with large water ingress is possible in the limestone formations. In the event of an incident, the primary aim is to collect the water, channel it around the tunnel and discharge it back into the mountain. In addition to the technical rooms in the cross-connections, five niches for railway technology equipment and personal protection niches every 50 m will be created in the railway tunnel. With the exception of the western portal area, the carriageway will be equipped with a slab track.



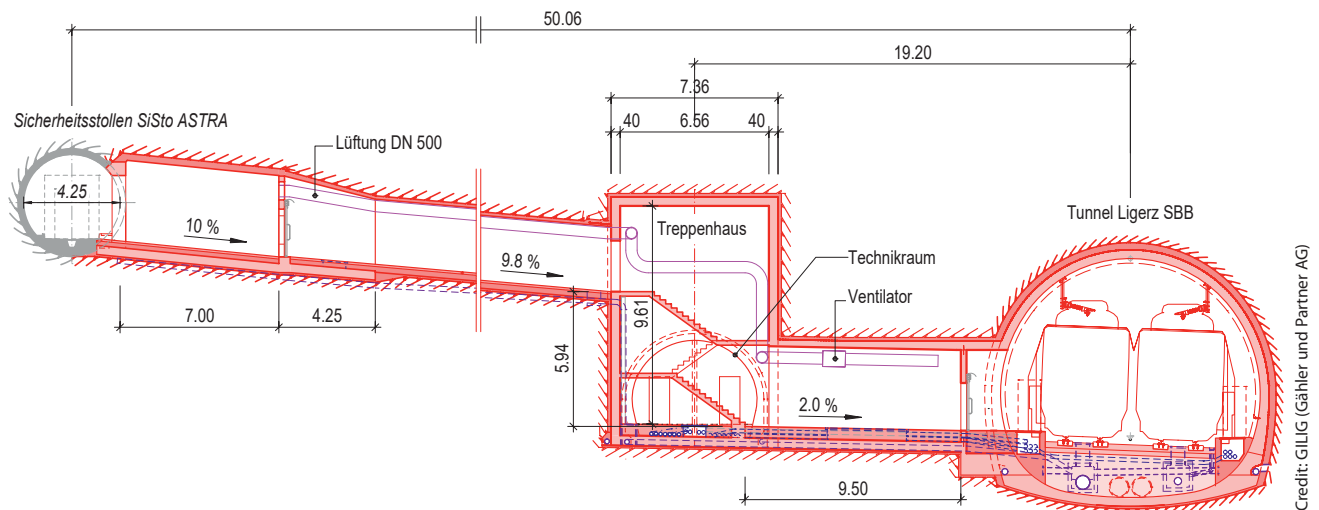
8 Standard cross section with (left) and without (right) floor invert

3.1.3 Eastern preliminary cut, portal structure and counter drive

The eastern preliminary cut is located in steeply rising, geotechnically difficult terrain. The upper part of the up to 23-m-deep building pit will be secured with sprayed concrete, soil anchors and prestressed anchors, while the lower part will be secured with a drilled pile wall (Ø 1.0 m, L: max. 27 m), which will, in turn, be secured with prestressed anchors (R_{ak} 2030 kN).



9 Cross-section through eastern portal structure and cantonal road groundwater trough



10 Cross connection with stairs, connection to the SaTu

The building pit for the cantonal road undercrossing is located directly adjacent. The undercrossing structure, the base of which lies below the groundwater level, is secured with an overlapping bored pile wall (Ø 1.0 m). The bored piles will also serve as buoyancy protection in the final construction stage.

The 45-m-long portal structure is a solid, rectangular frame structure (ceiling d: 1.40 m, valley-side wall d: 1.40 m), which is based on a pile foundation (Ø 1.0 m, l: up to 35 m) due to the topographical conditions and the unfavourable subsoil properties (Fig. 9). In order to ensure slope stability in the final state of the project, the piles securing the building pit are considered to be statically co-active.

As the Goldberg rock formation is heavily weathered down in this area, a reverse drive will be created from the building pit. This will be carried out as top heading excavation with a pipe umbrella (max. three stages of 10 m each, overlap 5.0 m). The top heading abutments will be reinforced with micropiles.

3.1.4 Cross-connections

The railway tunnel is designed to have four emergency exits, which lead via cross-connections (CC) to the safety tunnel (SaTu) in the N5 motorway tunnel. Due to the different alignment of the railway and road tunnels, the length of the CCs varies between 42 m and 100 m, as does the height difference from 8.9 m to 13.4 m. Even with a maximum longitudinal gradient of 10%, for two CCs this difference in height can only be overcome with a staircase. A sufficiently large vestibule will be provided to prevent a backlog in front of the stairs in the event of an incident.

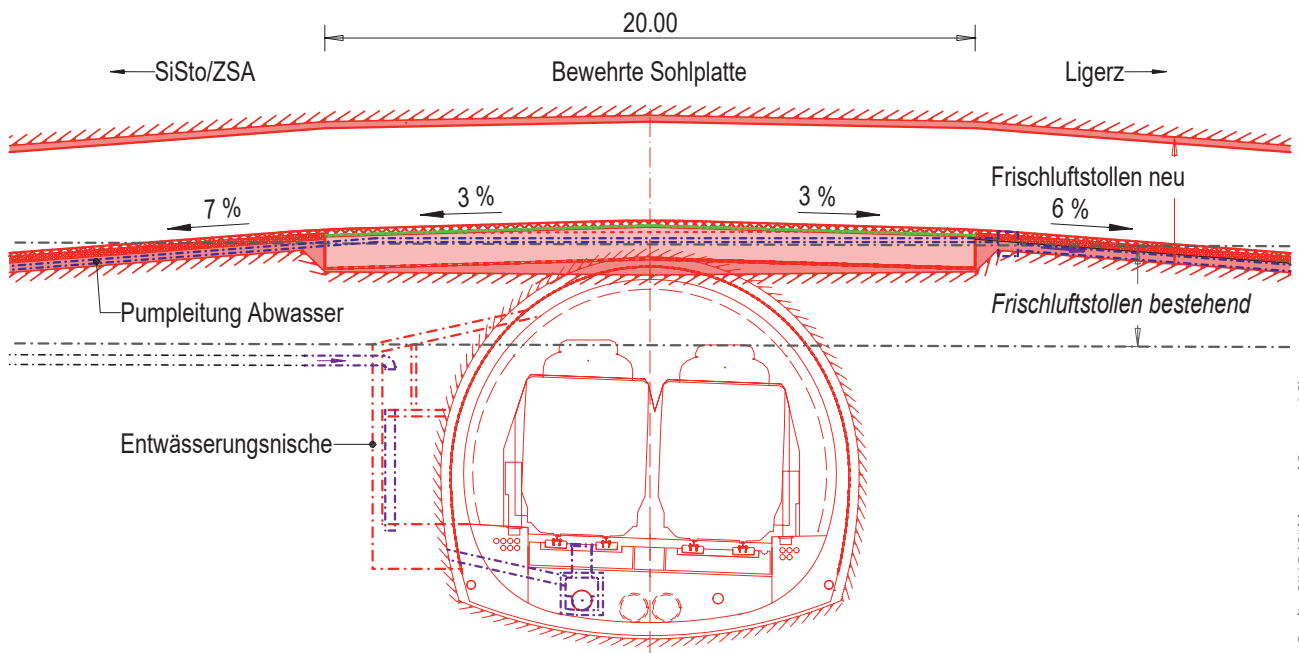
In the tunnel-side area of the CC, there will be a technical room at the side for various railway technology equipment. This area, including the technical rooms and stairwells, has a double lining including a waterproof membrane, while the remaining area up to the SaTu has a single lining (Fig. 10).

The excavation will be carried out by drill and blast. The last few metres before the SaTu will be excavated using mechanically assisted tunnelling in rock in order to minimise vibrations.

3.1.5 Relocating the ventilation gallery

After around 1 km of excavation, the railway tunnel will pass through another gallery that currently supplies an underground operations centre for the motorway tunnel and a civil protection bunker with fresh air, electricity and drinking water – and through which the wastewater from these facilities is also drained. It is not possible to cross over or under this gallery due to the railway tunnel's alignment constraints. The gallery therefore has to be relocated for the construction of the railway tunnel. The new gallery will run in a lateral curve over the railway tunnel.

In the crossing area, the base of the new gallery is designed as a solid, reinforced slab. This will also act as roof protection for the railway tunnel. The percolation water entering the tunnel will be fed into the collection pipe in the railway tunnel. Due to the elevated section in the new tunnel, the wastewater must be pumped via a separate line into the existing pipeline. Once the new tunnel section has been commissioned, the old tunnel will be partially backfilled (Fig. 11).



Credit: GILIG (Gähler und Partner AG)

11 Ventilation gallery undercrossing

3.2 Structural challenges

This project presents numerous tunnel construction challenges. In addition to the problems explained in detail below, these challenges include the interaction between the building pit support at the eastern preliminary cut and the pipe umbrella used for the counter drive, the difficulty in accessing the construction site with very limited space, and the challenging geology featuring swelling potential, karst formations and lacustrine chalk.

3.2.1 Starting the tunnelling work at the western portal

For the first 35 m, the tunnel will have a low cover of 8.0 m to 10.0 m. In this area, marl and limestone formations are traversed, which are overlaid with talus material and scree.

The SaTu operations centre, a storage building and a residential building will be located in the immediate vicinity of the tunnel. The latter building is only 11 m from the future tunnel axis, with an excavation width of 12.8 m, and is classified as settlement-sensitive. In order to minimise vibrations and settlements, top heading excavation will be carried out with mechanically assisted tunnelling in rock.

In order to avoid settlements or deformations of the residential building as much as possible, precautionary measures, such as substantial face anchoring and forepoling every 1 m, are necessary. In addition, a rapid closure of the inner lining is planned, in that after two top heading excavation stages of 1 m each, the benches will be completed and a floor invert installed. The hollow space will be secured with steel beams (HEB 200) and a 30-cm-thick reinforced concrete shell, in the area of influence of the residential building the distance between the steel beams will be reduced.

3.2.2 Excavating the CC and connecting to the SaTu during operation

The constructional and operational challenges involved in constructing the CC include the large height difference between the railway tunnel and the SaTu (Fig. 10) and the connection to the SaTu without restricting the operation of the motorway tunnel.

For the safe operation of the motorway tunnel, the functionality of the SaTu (ventilation, escape route) must be guaranteed at all times. For this reason, all structural work on the CC must be carried out from the railway tunnel. The only exception is a bulkhead wall, which will be constructed before excavation in the SaTu. This bulkhead wall will be located outside the SaTu's escape route profile, will be dustproof and will serve as a temporary support structure when the SaTu's load-bearing vault lining is locally demolished during the breakthrough of the CC.

The CC will be excavated uphill with a maximum gradient of 10%. The "staircase cavern" at CC 2 and 3 will be excavated from bottom to top. For subsequent tunnelling of the second part of the CC, either a temporary ramp must be constructed or the tunnelling equipment must be raised to the top heading level of the cavern using a lifting device. This height difference must also be overcome for muck transport and supplying the excavation support materials (such as anchors, shotcrete etc.) to the tunnel face.

3.2.3 Relocation of the ventilation gallery during operation

As the ventilation gallery is necessary for the safe operation of the motorway tunnel, the new gallery must be completed before the existing one can be taken out of service. In addition, construction work must be carried out while maintaining the functionality of the ventilation gallery at all times.

For this purpose, a dustproof and airtight bulkhead wall will be erected in advance on the side of the operations centre; a fan with a dust filter will also be installed to supply fresh air. The escape route will be ensured with an airlock, and a temporary footbridge will be built in the future crossing area. The utility ducts will be temporarily relocated.

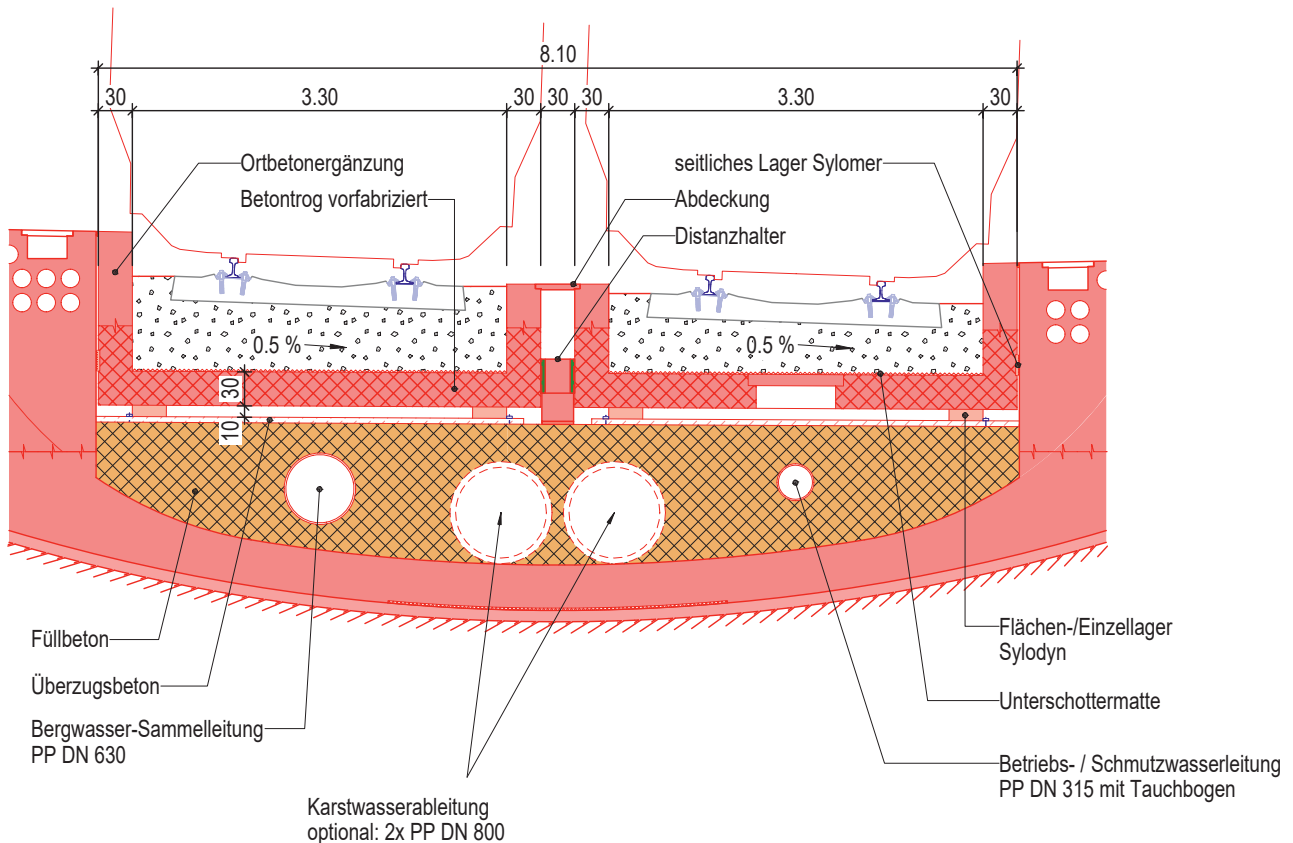
The railway tunnel's top heading drive will continue until about 25 m before the ventilation gallery. The drive will then be lowered and the standard cross section reduced. The reduced profile will pass under the existing tunnel. Around 25 m after the crossing, excavation will return to the standard level and be expanded to the standard profile.

The new ventilation gallery can then be constructed by drill and blast via a temporary access point from the railway tunnel. The connections to the existing tunnel will be excavated using a roadheader.

After the new ventilation gallery has been completed and all infrastructure has been put into operation, the temporary access point and the section of the ventilation gallery that is no longer needed will be filled in.

3.2.4 Measures against vibrations during operation

In the western portal area, the future tunnel will be located very close to existing structures. A heavy-duty mass-spring system (MSS) will be installed in this section to prevent negative effects from vibrations and structure-borne noise during operation. Due to the track alignment boundary conditions, the transition from ballast track to slab track cannot take place outside the tunnel – instead, it is only possible from 380 m into the tunnel. The MSS must therefore be combined with a ballast track. A separate concrete trough (= mass) will be constructed for each of the two tracks to accommodate the ballast track. The concrete trough, for its part, will be supported on Sylomer blocks (= spring). This design will decouple the tracks from the tunnel structure and minimise the transmission of vibrations from operations (Fig. 12).



Credit: GILLIG (Gähler und Partner AG)

12 Mass-spring system with ballasted track

The complexity of this design is significantly increased by additional boundary conditions: The dimensioning of the MSS assumes that the concrete trough is a rigid, continuous beam over the entire length of 344 m. The entire structure is located in an S-shaped track transition curve, which means that the transverse gradient and super-elevation, and therefore the height of the trough, are constantly changing. For these two reasons, only partial pre-fabrication is possible. The ballast trough must be drained, whereby the connection to the waste water pipe must be flexible due to its elastic bearing. Because the Sylomer blocks have a shorter service life than the concrete structure, they must be replaceable.

Western preliminary cut	92,500 t
Main heading	783,300 t
Eastern preliminary cut + counter drive	14,000 t
Total weight	889,800 t
Share of Material Class 1	28.5 %
Share of Material Class 2	60 %
Share of Material Class 3	11.5 %

Credit: GILIG

3.3 Materials management

Around 890,000 tonnes of rock will be excavated during the construction of the tunnel, 88% of which comes from excavation (Table 1). Excavated material that cannot be directly reused within the project is currently being transported to the municipality of Cornaux and recycled there. Depending on the quality of the material, it is either used as raw material for the cement industry or processed as bulk material or aggregate for concrete. The remaining material will be used for recultivation (backfilling of old quarries).

Table 1 Material quantities in tonnes and distribution of material classes

The material management concept stipulates that around two thirds of the excavated material will be transported away by ship. For this purpose, a floating loading platform will be installed in the western portal area. In Cornaux material will be transferred from ship to conveyor belt via an existing transfer station. With this concept, lorry journeys and thus environmental pollution (noise, dust, CO₂) can be significantly reduced. It also simplifies transport of the lake fill material. The lake fill material can also be transported by ship from the western portal to the eastern side and dumped there. This will significantly reduce the number of lorries passing through the villages and crossing the tracks.

4 Execution (of construction)

To realise this project, the construction work was grouped into three shell lots. The western preliminary lot comprises the track work, including engineering structures, on the western section of open track. These construction works have already been completed. The Twann lot includes reconstructing the Twann railway station (track construction and engineering structures) as well as all engineering structures in the Klein-Twann area. This lot has been under construction since the end of 2022. The majority of the construction work will be completed in June 2024 with the station reopening, with the remaining work planned to be completed in 2029.

In addition to the tunnelling work, the main lot also includes the preliminary cuts, cut-and-cover structures, technical buildings and emergency basins, the relocation of the N5 half-junction and viaduct, the underground passage under the cantonal road (groundwater trough) at the eastern portal and the widening of the eastern track, consisting of lake filling and the pile-founded load distribution slab.

Due to the limited space available, to reduce the number of interfaces and to optimise the overall construction programme, the decision was made to also install some of the railway equipment in the tunnel through the main lot. This includes the carriageway (ballasted track and slab track), the overhead conductor rail, the handrail and the escape route signage, all escape route doors to the CC and the SaTu, as well as the doors to the technical rooms in the CC, and the steel construction and mechanical work in the CC. In addition, the main contractor is also constructing the slab track in the eastern dual carriageway extension area (load distribution slab).

Constructing the main lot was delayed due to submission complaints. Construction started at the beginning of 2024. Tunnelling is scheduled to begin in October 2024, with breakthrough expected to take place in early 2027 (Status March 2024).

References

- [1] Cornaz, Ph., Tunnel de Ligerz, une longue histoire; STC 2020
- [2] SBB, Jurasüdfusslinie: die Zukunft beginnt, <https://company.sbb.ch/de/ueber-die-sbb/projekte/romandie-wallis/region-neuenburg-jura/ligerztunnel.html>
- [3] Auflageprojektdossier „Daillens–Bienne, accroissement de la capacité, doublement de la voie Gléresse–Douanne (Tunnel)“, 2018

KEY PROJECT DATA

Region

Lake Biel, Canton of Bern

Client

CFF SA, Infrastructure Ouest

Planning and construction management

GILIG: Groupement d'Ingenieurs Ligerz (Ligerz Engineering Group)

- Gruner AG, Renens/Basel
- Gähler und Partner AG, Ennetbaden

Constructing the main lot (tunnel)

Consortium IBD

- Implenia Suisse SA, Echandens/Glattpark
- F. Bernasconi et Cie SA, Les Geneveys-sur-Coffrane
- De Luca SA, Biel

Construction

Construction start, preliminary lot: 2022; construction start, main lot: 2024

Characteristics

Construction time: Shell construction: 2022–2027, equipment 2027–2029
Commissioning: 2029
Total investment amount: CHF 431.9 million
Tunnel shell construction: CHF 153.5 million
Total length: 2119 m
Excavation cross section: 110.5 m² (125.8 m² with invert)

Special features

SBB dual-track tunnel, drill and blast, challenging geological conditions (swelling potential, karst formations, lacustrine chalk, synergy with motorway tunnel (joint use of SaTu and emergency tank), numerous protected zones, expansion during operation

Jürg Portner, Dipl. Bau-Ing. ETH / SIA, EBP Schweiz AG, Zürich/CH

Thomas Espinosa, MSc ETH Bau-Ing., EBP Schweiz AG, Zürich/CH

Stefan Matsch, Dr. sc. techn., Dipl. Werkstoffing. ETH/SIA, EBP Schweiz AG, Zürich/CH

Gubristtunnel 1. und 2. Röhre

Von der Pinselsanierung zur Gesamterneuerung

Der Gubristtunnel 1. und 2. Röhre wurde 1986 in Betrieb genommen. Bereits nach der Jahrtausendwende war die Kapazitätsgrenze erreicht und es wurde eine laufende Verschlechterung des Zustandes erkannt. Das Instandsetzungsprojekt durchlief in den Jahren 2005 bis 2019 mehrere Entwicklungsschritte und führte zu einer Gesamterneuerung. Der vorliegende Tagungsbericht zeigt die Veränderungen, ausgehend von Projektentscheiden und aufgrund des Zustandsbildes, auf und erläutert die Grundproblematiken vom Bauen im Bestand.

1 Projektentwicklung in Phasen

1.1 Übersicht Nordumfahrung Zürich

Der zweiröhriige Gubristtunnel ging nach rund 7-jähriger Bauzeit 1985 als wichtiges Objekt der Nordumfahrung Zürich in Betrieb. Beim Bau der bergmännisch aufgefahrenen Tunnelröhren wurde erstmalig in der Schweiz eine Vollschnittmaschine in Kombination mit einem Schild und mechanisiertem Einbau von Tübbings eingesetzt. Im Osten grenzen der rund 50 m lange Tagbautunnel mit der Portalstation Regensdorf und im Westen der rund 250 m lange Tagbautunnel und die Portalstation Weiningen an.

Weniger als 20 Jahre nach der Eröffnung gelangte die Nordumfahrung schon an ihre Leistungsgrenze, und nach der Inbetriebnahme 2009 der angrenzenden Westumfahrung Zürich wurden im Jahr 2011 bereits 346 Stautage gezählt. Als einer der am stärksten befahrenen 2-spurigen Autobahnabschnitte ist der Bereich des Gubristtunnels auch ein Unfallschwerpunkt. Unter anderem aus diesen Gründen genehmigte der Bundesrat vorausschauend schon 2007 das Generelle Projekt (GP) für den Ausbau der Nordumfahrung Zürich (ANU) zum 6-Spurausbau und einer dritten Röhre Gubristtunnel. Im Rahmen dieses GP, erstellt noch durch den Kanton Zürich, wurde vom Bundesamt für Strassen (ASTRA) die Aufteilung des ANU in ein Neubau/Ausbau- und in ein Erhaltungsprojekt verlangt.

Die Inbetriebnahme der dritten Tunnelröhre im April 2023 war zeitgleich der Startschuss für die Ausführung der Instandsetzung der 1. und 2. Tunnelröhre des Gubristtunnels, über welche wir im Folgenden berichten.

1.2 Instandsetzung Gubristtunnel 1. und 2. Röhre

Ein erstes Massnahmenkonzept für die Instandsetzung wurde 2004 nach umfangreichen Zustandsaufnahmen im Auftrag des Kantons Zürich erstellt. Es kam zum Schluss, dass nur niederschwellige Massnahmen, eine bessere Pinselsanierung, zeitnah angezeigt seien. Noch unter der Leitung des Kantons Zürich begannen 2005 die Planungsarbeiten.

Mit dem Generellen Projekt Ausbau der Nordumfahrung (2005 bis 2007) wurde jedoch entschieden, auch für das Erhaltungsprojekt 1. und 2. Röhre eine neue Gesamtschau durchzuführen. So wurde 2008, neu mit dem ASTRA im Lead, eines der ersten Male ein „Globales Erhaltungskonzept“ (EK) für einen Autobahntunnel erstellt. Dies gemäss dem heute beim ASTRA gebräuchlichen Projektierungsablauf bei Erhaltungsprojekten mit Erhaltungskonzept (EK), Massnahmenkonzept (MK) und Massnahmenprojekt (MP).

Das Erhaltungskonzept „Instandsetzung Gubristtunnel 1. + 2. Röhre“ behandelte ein breites Variantenspektrum von Pinselsanierung bis zum faktischen Neubau durch „Überbohrung“ der bestehenden Tunnelröhren. Als Bestvariante wurde der Ersatz der Fahrbahnplatte und Ersatz der Zwischendecke erkoren. Hier wurde der Grundstein gelegt, den Tunnel faktisch komplett auszuräumen und im Tunnelrohbau (Aussen- und Innengewölbe, Tagbaurahmentragwerk) einen Teilneubau zu realisieren. Für den Neubau der Zwischendecke war nicht nur die angestrebte Erhöhung des verkehrstechnischen Nutzraumes ausschlaggebend, sondern insbesondere auch die Ergebnisse einer statischen Überprüfung, welche die Tragsicherheit der Zwischendeckenaufleger als nicht gegeben erkannte. Dies führte dazu, dass 2008 die bestehende Zwischendecke als Sofort- beziehungsweise Überbrückungsmassnahme (SOMA/ÜMA) gesichert wurde. Zudem wurden die Tunnelsperrungen im Rahmen der „Sanierung Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen (BSA) 2008 bis 2012“ genutzt, um als Vorausmassnahme (VOMA) in der 2. Röhre die Anschlüsse der zukünftigen Querverbindung zur 3. Röhre vorzubereiten.

Tunnel de Gubrist : 1^{re} et 2^e galeries du tunnel

De la rénovation en surface à la rénovation complète

Les galeries du tunnel de Gubrist ont été mises en service en 1986. Les limites de capacité ont été atteintes après le début du nouveau millénaire. En plus des travaux de réparation des 1^{re} et 2^e galeries, le projet global d'élargissement du contournement nord de Zurich comprenait la construction d'une galerie et d'un élargissement à six voies. Outre les nouveaux éléments du projet, l'évolution du projet de réparation a été marquée par la détérioration continue de l'état des tunnels. Le projet de réparation a connu plusieurs étapes de développement entre 2005 et 2019 et est passé d'une meilleure rénovation en surface à une révision complète de la structure. Ce rapport illustre ces changements, basés sur les décisions prises au cours du projet ainsi que sur l'état général de la structure, et explique les problèmes fondamentaux de la construction dans des structures existantes.

Tunnel del Gubrist: prima e seconda canna

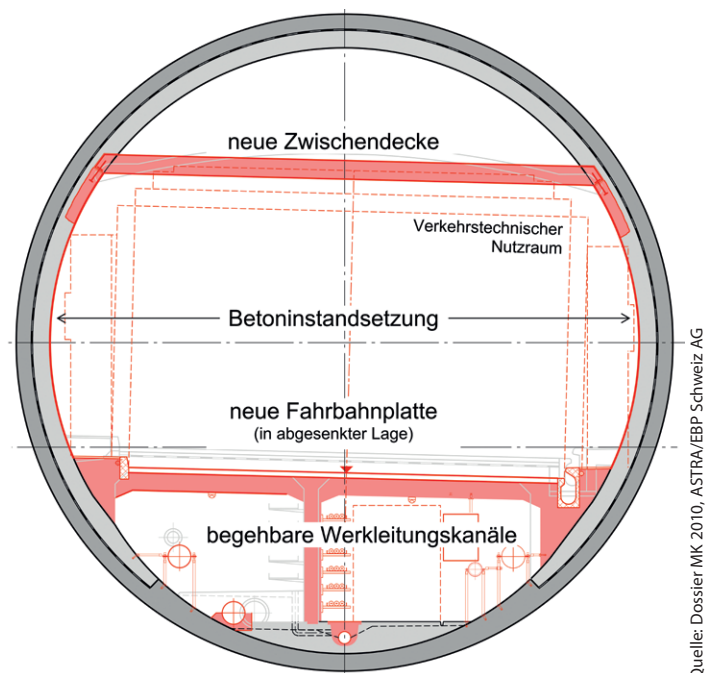
Dal risanamento superficiale al rinnovamento complessivo

La prima e la seconda canna del tunnel del Gurbist sono state messe in esercizio nel 1986, e già all'inizio del nuovo millennio è stato raggiunto il limite di capacità. Il progetto complessivo "ampliamento della circonvallazione nord di Zurigo" comprendeva, oltre al risanamento della prima e della seconda canna, l'edificazione di una terza canna e l'ampliamento su sei corsie. Oltre ai nuovi elementi del progetto, lo sviluppo del progetto di risanamento è stato influenzato dal continuo peggioramento delle condizioni. Dal 2005 al 2019, il progetto di riparazione ha attraversato diverse tappe, e ha portato da un risanamento superficiale ad un ampio rinnovamento complessivo. I presenti atti del convegno riportano i cambiamenti a partire dalle decisioni progettuali e sulla base dello stato, ed illustra le problematiche fondamentali del costruire in strutture esistenti.

Das neue Massnahmenkonzept von 2010 war die darauffolgende Konkretisierung dieses EK-Variantenentscheids. Mit der Genehmigung von 2013 durch die Fachunterstützung ASTRA wurden spezifische Punkte zur Überarbeitung eingebracht, welche in das nachfolgende Massnahmenprojekt eingearbeitet wurden. Intensiv diskutiert wurde unter anderem die Umsetzung der Vorgaben des ASTRA, welche für neue Projekte zwingend sind, aber beim Bauen im Bestand nicht immer 1:1 umgesetzt werden. So musste bei der geforderten Vergrösserung des zukünftigen verkehrstechnischen Nutzraums eine Optimierung vorgenommen werden, bei welcher verschiedene Aspekte, wie notwendige Lüftungsquerschnitte, Bankettbreiten, Absenkung Fahrbahn/Höhe Fahrraum, Platzbedarf/ Höhe Werkleitungs kanal, sorgfältig aufeinander abgestimmt werden mussten, ohne die in den Richtlinien geforderten Masse in jedem Fall erreichen zu können.

Im Verlaufe des Massnahmenprojektes erfolgten weitere entscheidende Änderungen. Trotz räumlich engen Randbedingungen der bestehenden Tunnelröhren hat die Bauherrschaft gewünscht, anstelle der Fahrbahnplatte einen eingeschütteten Werkleitungs kanal (WELK) mit Fertigelementen zu prüfen. Die Fahrbahnabsenkung um rund 30 cm zur Erhöhung des verkehrstechnischen Nutzraumes schränkte die zur Verfügung stehende verbleibende Bauhöhe für den WELK stark ein. Der Aufbau mit WELK-Elementen war deshalb nur möglich durch eine reduzierte lichte Höhe von 2.10 m.

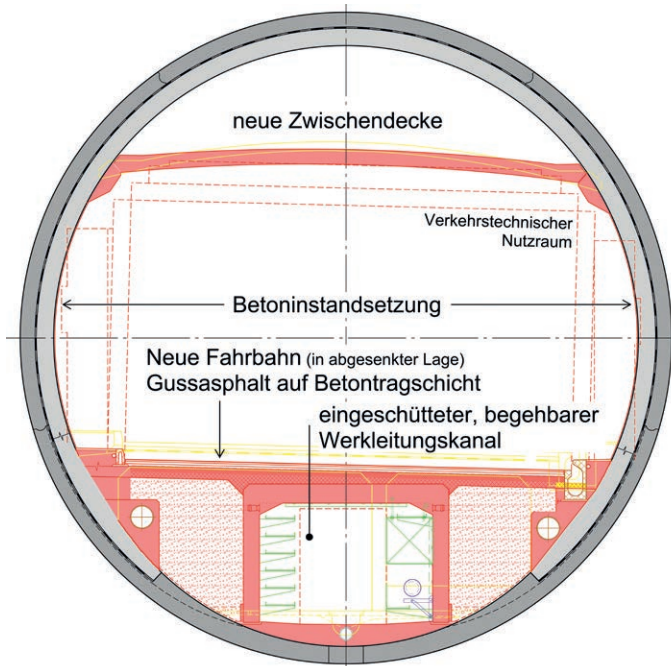
Das erste MP wurde im Jahr 2016 eingereicht. Danach folgte eine dreijährige Zwischenphase, in der weitere Projektänderungen entschieden wurden. Die wichtigste wurde durch den Entscheid zur rund 100 Meter langen Tunnelverlängerung auf Seite Weiningen, der sogenannten Überdeckung Weiningen, ausgelöst. Die Tunnelverlängerung führte zur Neuausrichtung der BSA-Erschliessung. Anstelle der bisher vorgesehenen Kabelrohrblöcke wurde der



1 Tunnelnormalprofil, Stand MK 2010, Planausschnitt (grau: Bestand; rot: Projekt)

Quelle: Dossier MK 2010, ASTRA/EBP Schweiz AG

Gubristunnel 1. und 2. Röhre • Von der Pinselsanierung zur Gesamterneuerung



Quelle: Dossier MP 2019, ASTRA/EBP Schweiz AG

2 Tunnelnormalprofil, Stand MP 2019, Planausschnitt (grau: Bestand; rot: Projekt)

Systemwechsel zu einem durchgehenden WELK entschieden und im Projekt eingeführt. Auf diesen sehr aufwendigen WELK innerhalb des Rahmentragwerks des bestehenden Tagbautunnels mit kritischen statischen Randbedingungen wird im Kapitel 3 näher eingegangen. Die zweite wesentliche Projektänderung betrifft den Fahrbahnaufbau in den rund 2.8 km langen bergmännischen Tunnelabschnitten. In Zusammenarbeit mit der Fachunterstützung entschied man aufgrund der geringeren Bauhöhe und der Dichtigkeit zum Schutz des darunter liegenden WELK gegen Korrosion den Wechsel von Walz- auf Gussasphalt mit FLK-Abdichtung. Die Abgabe des überarbeiteten und ergänzten MP erfolgte 2019.

Die geschilderte eindruckliche Projektentwicklung während rund zehn Projektjahren mit einer Abfolge von neuen Erkenntnissen, veränderten Randbedingungen und getroffenen Entscheiden führte insgesamt von einer besseren Pinselsanierung hin zu einer umfangreichen Gesamterneuerung der 1. und 2. Röhre des Gubristunnels. Die Kosten belaufen sich auf rund 265 Millionen Schweizer Franken (Realisierungskosten, inkl. VOMA der QV, indexbereinigt auf

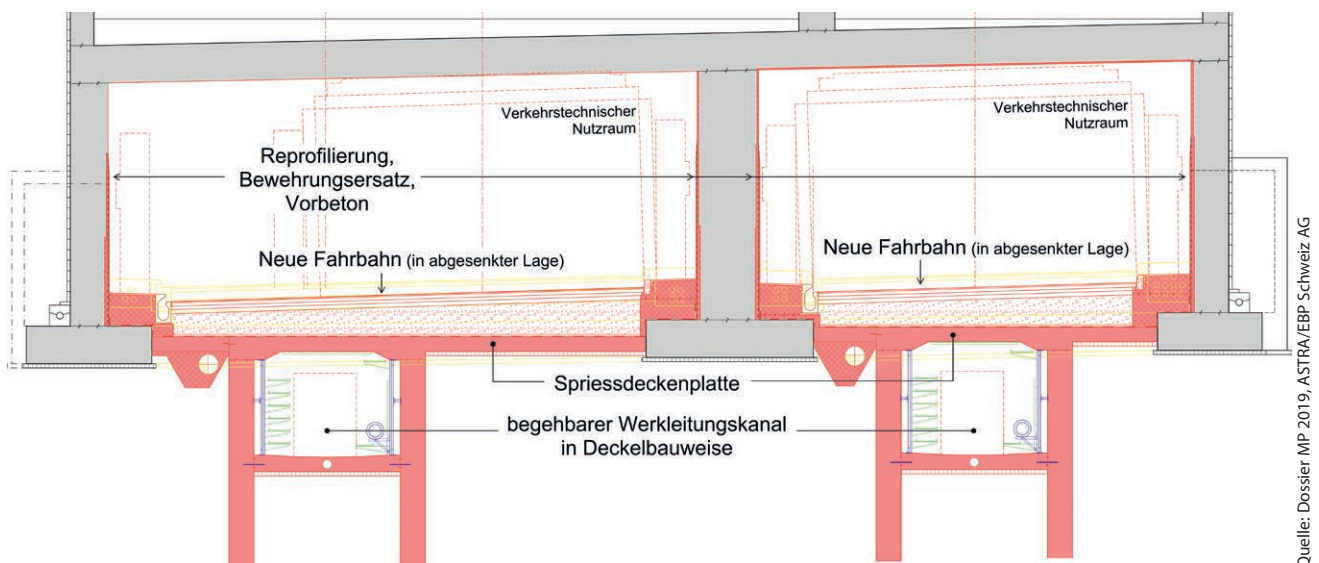
2023) und entsprechen ungefähr einer vollständigen Reinvestition der damaligen Baukosten von rund 275 Millionen Schweizer Franken (Baukosten, inkl. ÜMA-Massnahmen, indexbereinigt auf 2023).

Das Projekt respektive Massnahmenelemente blieben danach unverändert und 20 Jahre nach dem ersten Massnahmenkonzept konnte 2023 die Ausführung beginnen, welche im Herbst 2025 mit der Inbetriebnahme der erneuerten mittleren Tunnelröhre und Ende 2027 mit der Inbetriebnahme der erneuerten 1. Tunnelröhre endet. Dann wird auch der Ausbau der offenen Strecke Weiningen bis Limmattaler Kreuz mit seiner neuen Kapazität in Betrieb gehen.

2 Entscheide, Zustands- und Massnahmenentwicklung

2.1 Neue Entscheide und Projektänderungen – ein laufender Prozess

Die im Kapitel 1 geschilderte Projektentwicklung über 20 Jahre zeigt eindrücklich einen Prozess auf, welcher verschiedenen Gründen geschuldet ist. Allen gemeinsam ist der Umstand der langen Projektierungsdauer, welche eine wiederholte stufenweise



Quelle: Dossier MP 2019, ASTRA/EBP Schweiz AG

3 Tunnelquerprofil Tagbau Weiningen, Stand MP 2019, Planausschnitt (grau: Bestand; rot: Projekt)

Gubristtunnel 1. und 2. Röhre • Von der Pinselsanierung zur Gesamterneuerung

Fortschreibung, Veränderung der Randbedingungen und Vorgaben, aber auch Erweiterung der geplanten Massnahmen mit sich führt. Während diesem Prozess wurden getroffene Entscheide rekapituliert und teilweise angepasst sowie wiederkehrend die vorgesehenen Massnahmen entsprechend hinterfragt und Veränderungen vorgenommen. Es handelt sich dabei keinesfalls um willkürliche oder nur wünschenswerte Anpassungen, sondern durch neue Entscheide, Neben- oder Drittprojekte, neue Tatsachen oder erweiterte Anforderungen begründete und damit anerkannte Projektänderungen.

Für die Teilerneuerung ausschlaggebende Veränderungsgründe waren die fortschreitende Zustandsverschlechterung, der Entscheid zur Tunnelverlängerung in Weiningen, der Fortschritt der Planung und Realisierung der Nebenprojekte (insbesondere die 3. Röhre und die offenen Trasseabschnitte Weiningen und Affoltern) sowie weiter entwickelte Richtlinien und Normen.

Das Projektteam konnte sich auf eine konstruktive Zusammenarbeit mit der Bauherrschaft, der ASTRA-Fachunterstützung, die Mitwirkung der Projektverfasser der Nebenprojekte und der Planer der Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen und letztlich auch auf ein Grundverständnis für Veränderungen und Kompromissbereitschaft beim Bauen im Bestand im langjährigen Projekttablauf abstützen.

2.2 Objekterweiterungen

Neben den eigentlichen zustandsbedingten Instandsetzungs- und Erneuerungsmassnahmen möchten wir hier noch zwei umfangreiche Umbaumassnahmen aufzeigen. Diese Objekterweiterungen sind hervorgerufen einerseits durch den Kapazitätsausbau der Nordumfahrung Zürich mit der 3. Röhre Gubrist sowie andererseits den Entscheid zur Tunnelverlängerung in Weiningen.

Die beiden bestehenden Röhren führen künftig den Verkehr auf vier Fahrspuren von West nach Ost Richtung St. Gallen, während der Verkehr Richtung Bern auf drei Fahrspuren in der neuen 3. Röhre geführt wird. Zwischen der 2. und 3. Tunnelröhre wurden 13 neue Querverbindungen sowie ein Verbindungsstollen auf WELK-Ebene erforderlich, um die Flucht im Ereignisfall in die Nachbarröhre zu gewährleisten sowie eine Verbindung der Zentralen zu schaffen. Zudem führte der Richtungswechsel in der 2. Röhre (heute Verkehr Richtung Bern, künftig Richtung St. Gallen) nicht nur zu Veränderungen bei der BSA, sondern auch zum Seitenwechsel der SOS-Nischen durch Verschliessen der bisherigen und Neubau von SOS-Nischen auf der gegenüberliegenden Seite. Diese Projektbestandteile wurden sowohl mit Vorabmassnahmen als auch im Projekttablauf schon früh aufgenommen und vertieft.

Die zweite wesentliche Erweiterung wurde ausgelöst durch die Tunnelverlängerung Weiningen. Die konsequente durchgängige Erstellung eines begehbaren Werkleitungskanals unter der Fahrbahn wurde opportun (siehe auch vorangehende Kapitel) und ab MP 2019 auch im Tagbauabschnitt Weiningen eingeführt. Zudem verschoben sich Massnahmen wie der Lärmschutz an den Tunnelwänden, lärmarter Deckbelag sowie die Konzentration von Kabelaufstiegen vom bestehenden Tagbautunnel in den Neubau der Tunnelverlängerung mit entsprechend besseren baulichen, konstruktiven und statischen Voraussetzungen.

2.3 Fortschreitende Zustandsverschlechterung und die Massnahmenentwicklung

Die ursprünglich vorgesehene bessere Pinselsanierung fusste auf einem Schadensbild und Verkehrsaufkommen um die Jahrtausendwende (vgl. dazu **Bild 4**) respektiv nach weniger als 20 Betriebsjahren. Die Ausführung wurde dann aber nicht veranlasst und stattdessen das Gesamtprojekt Ausbau Nordumfahrung mit einem Phasendurchlauf mit Erhaltungskonzept, Massnahmenkonzept/Generelle Projekte für die Neu- und Ausbauabschnitte und Massnahmen-/Ausführungsprojekte in die Wege geleitet. Während der darauffolgenden Planungsdauer erfolgte eine zunehmende Zustandsverschlechterung und so führten laufend neue Inspektions- und Untersuchungsergebnisse, Resultate statischer Überprüfungen sowie nicht zuletzt auch sich visuell manifestierende Schadensbilder zu neuen Erkenntnissen und überarbeiteten Einschätzungen der Zustandskategorie nach ASTRA-UPlaNS-Philosophie.

2.3.1 Zwischendecke:

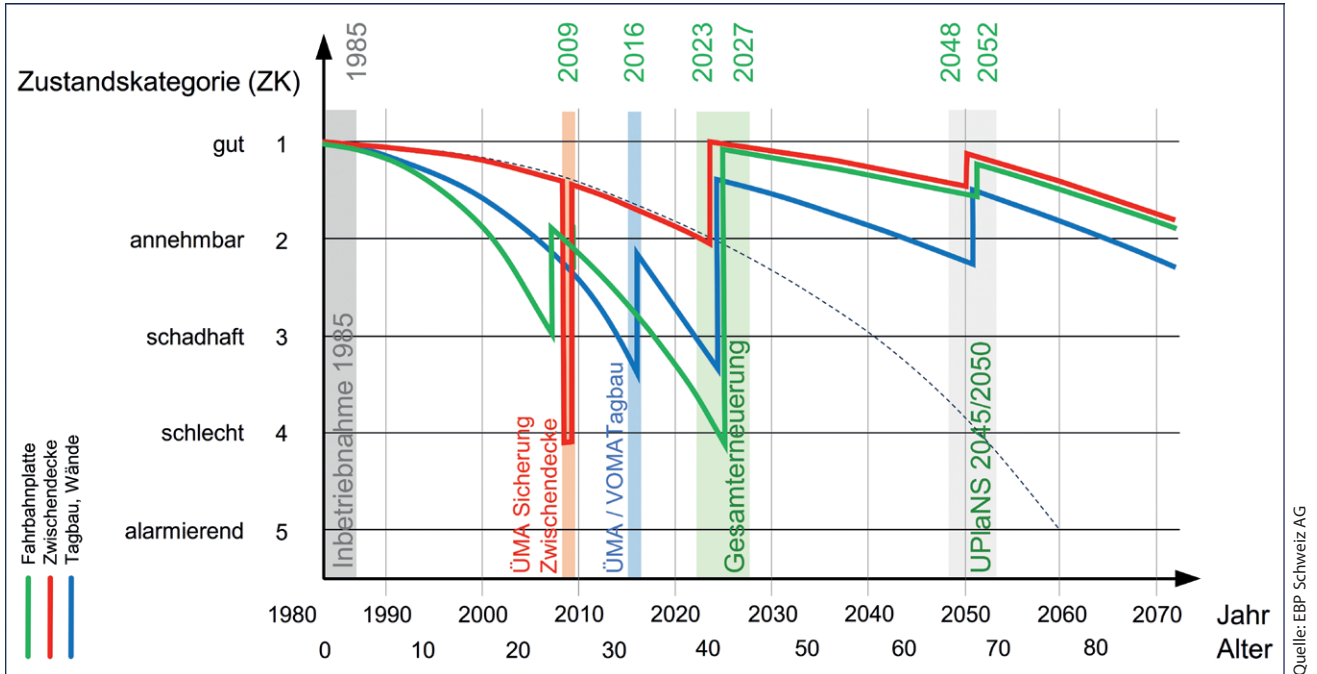
Bei der Zwischendecke war für den Entscheid zum Neubau nicht der Zustand ausschlaggebend, sondern die Ergebnisse der statischen Überprüfung und Schäden bei den Auflagern im Innengewölbe. Im **Bild 4** ist dies dargestellt als abrupter Abfall der Zustandskategorie (rote idealisierte Kurve). Diese Erkenntnis führte im Jahr 2009 zur raschen Ausführung einer ersten Sofort- und Überbrückungsmassnahme mit Sicherung der Zwischendecke mittels „Schweizer Riegel“, um die Tragsicherheit bis zur Instandsetzung der Tunnelröhren nachweislich sicherzustellen. Dieser zwischenzeitlich sichere, aber auf Dauer unbefriedigende Sicherungszustand führte zum Entscheid, die Sicherung als Überbrückungsmassnahme zu betrachten und die Zwischendecke später abzubauen und durch eine neue zu ersetzen. Ein erster Schritt zur Gesamterneuerung.

2.3.2 Abplatzungen und Korrosionsschäden, statische Überprüfung Tagbautunnel:

An den Tagbauwänden wurden stetig neue Abplatzungen aufgrund von Korrosionsprodukten erkennbar. Zeitgleich wurden die Tagbaubereiche vor dem Hintergrund der daneben neu erstellten 3. Röhre einer statischen Überprüfung unterzogen, wo ein Defizit in der Schubtragsicherheit in den Rahmenecken aufgedeckt wurde. Weil die Gesamterneuerung erst sieben Jahre später

Gubristunnel 1. und 2. Röhre • Von der Pinselsanierung zur Gesamterneuerung

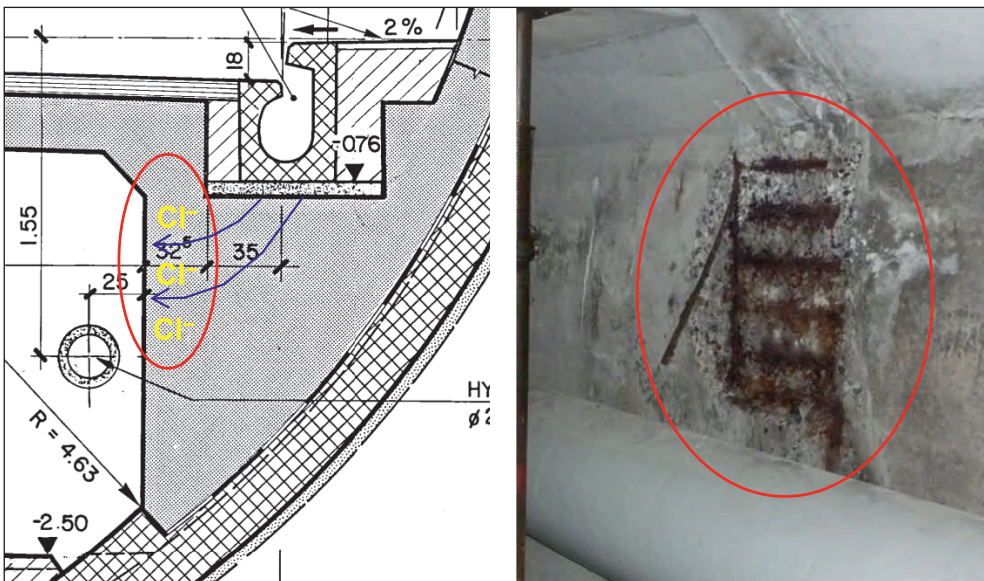
eingepplant war, wurde eine weitere Überbrückungsmassnahme mittels Betoninstandsetzung in Teilflächen sowie zusätzlich eine Vorabmassnahme mittels Schubverstärkungen entschieden und im Jahr 2016 realisiert. In der blauen „Sägezahnkurve“ im Bild 4 ist erkennbar, dass die Überbrückungsmassnahme nur eine Zustandsverschiebung in den annehmbaren Bereich zum Ziel hatte, um die Dauer bis zur Gesamterneuerung ohne Gefährdung der Verkehrsteilnehmer durch Abplatzungen (Betonbruchstücke) zu überbrücken.



4 Idealisierte Zustandsentwicklung, ausgewählte Bauteile

2.3.3 Korrosionsschäden Kabelschächte und Fahrbahnplattenaufleger:

Bereits ab 2005 zeigten sich bei den im Bankett regelmässig angeordneten Kabelschächten massive Korrosionsschäden, die dazu führten, dass man die Schächte schrittweise zubetonierte und bei einzelnen die umlaufende Fahrbahnplatte im Werkleitungskanal mit Stahlsprissen unterstützte (s. grüne Kurve im Bild 4). Ab 2017 wurden an mehreren Stellen im Werkleitungs- und ehemaligen Zuluftkanal unter der Fahrbahnplatte plattige Abplatzungen festgestellt, welche sehr starke Korrosionsschäden am Fahrbahnplattenaufleger offenkundig machten (siehe Bild 5). Luft-/Trockenseitige Chloridkonzentrationen waren deren Ursache, welche von den undichten Schlitzrinnen im Randbereich ihren Weg zum Teil durch bis zu 1 m dicken Beton zur WELK-Innenseite fanden.



5 Korrosion und Abplatzungen im Fahrbahnplattenaufleger

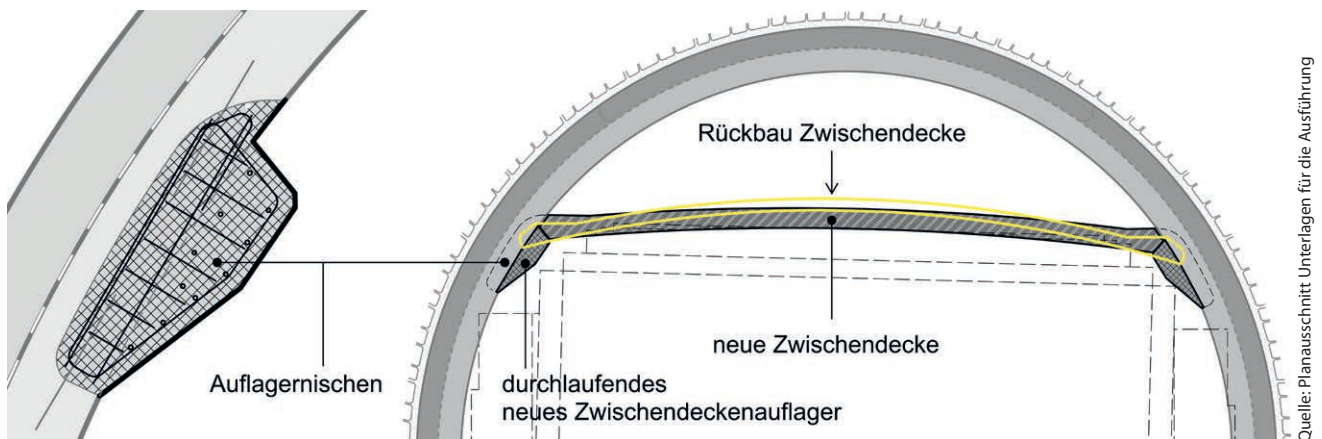
Eine statische Überprüfung der Fahrbahnplatte wurde veranlasst. Diese konnte aufzeigen, dass keine Sofort- und bis zur Gesamterneuerung keine Überbrückungsmassnahmen erforderlich waren. Das Projekt sah sich aber bekräftigt im Entschluss, anstelle einer neuen Fahrbahnplatte (MK 2010, siehe Bild 1) einen eingeschütteten WELK vorzusehen (ab MP 2016, vgl. Bild 2).

3 Statische Randbedingungen und Bauen an der Grenze des technisch-statisch Machbaren

Im Folgenden erläutern wir drei herausragende Bauteile respektive Teilobjekte, wo die technisch-konstruktive Einbindung und statische Interaktion mit dem Tragwerk des Bestands massgebende Herausforderungen waren.

Die bestehende Zwischendecke im bergmännischen Tunnelabschnitt spannte im Bestand als sehr schlanker Bogen mit geringer Wölbung zwischen den Innengewölbeparamenten und stützte sich als Druckbogen in Auflagertaschen im unbewehrten Innengewölbe ab. Im Zuge der vorgezogenen Anpassungen der elektromechanischen Anlagen und der Tunnellüftung (2009) wurde die Zwischendecke einer generellen statischen Überprüfung unterzogen. Der Tragsicherheitsnachweis an den unbewehrten Auflagertaschen konnte nicht erbracht werden. Aufgrund dieser Erkenntnis aus der statischen Überprüfung wurde eine Inspektion durchgeführt, wo Risse im Bereich der Auflagertaschen festgestellt wurden. Vereinzelt war der oberflächliche Bereich unter den Auflagern ausgebrochen. Da die Blöcke alle 8 m dilatiert waren und die Abstützung in die vier Auflagertaschen pro Block und Seite einer punktuellen Abstützung gleichkommt, wäre der Ausfall einzelner Auflagertaschen bereits ein Tragsicherheitsproblem für die Zwischendecke. Entsprechend mussten Sofortmassnahmen ergriffen werden. Die Decke wurde 2008 mittels „Schweizer-Riegel“ gesichert, um die Auflagertragsicherheit über die mechanische Verankerung im Innengewölbe sicherzustellen.

Die Zwischendecke wird deshalb im Teilerneuerungsprojekt vollständig rückgebaut und durch eine neue Zwischendecke ersetzt (s. Bild 5). Die Form und Ausbildung der neuen Zwischendecke richtet sich nach dem ASTRA-Fachhandbuch. Sie ist, analog einem Neubau, als einfacher Balken zwischen zwei Auflagerkonsolen ausgebildet. Anspruchsvoll waren die neu auszubildenden Auflager und deren Krafteinleitung in der unbewehrten Innengewölbeschale.



6 Neubau Zwischendecke mit Detail Auflagernischen

Die Krafteinleitung als robustes System musste sowohl dem Bauzustand des örtlich geschwächten Innengewölbes wie dem Endzustand mit den normativen Lastfällen gerecht werden und die Unversehrtheit der Tunnelabdichtung nicht gefährden. Dazu wurden regelmässig angeordnete Auflagernischen eingefräst, ausbewehrt und zusammen mit dem Linienauflager betoniert. Eine hohe Präzision und Sorgfalt ist erforderlich, um die Frästiefe in der erforderlichen und definierten Geometrie, aber begrenzt auf eine maximale Tiefe, auszuführen. Die Konsolenoberflächen sind in Abweichung zum Fachhandbuch geneigt, aber wie gefordert mit einem Dauergleitlager versehen. Die resultierenden Kräfte sind so immer in die Auflagernische gerichtet und die Tragsicherheitsnachweise können auch im unbewehrten Innengewölbe für jeden Zustand erbracht werden. Der serienmässigen Ausführung gingen diverse 1:1- und In-Situ-Versuche voraus, um die Maschinen- und Frästechnik sowie Ausführungsdetails zu optimieren, damit dann die gesamthaft rund 5800 Auflagernischen wie gefordert und mit gleichzeitig hoher Leistung ausgeführt werden können.

Eine weitere konstruktive und statische Herausforderung stellten die Fahrbahnabsenkungen in den Fahrrohren der beiden Tunnelzentralen dar. Diese sind eingeschüttet und stehen unter horizontalen Erddruckbelastungen, die als Druckbelastung in den Fahrbahnplatten in die gegenüberliegenden Aussenwände kurzgeschlossen respektive durchgeleitet werden. Während dem Rückbau der bestehenden Fahrbahnplatte und bis zum Einbau der neuen Fahrbahnplatte in abgesenkter Lage müssen deshalb die horizontalen Erddruckkräfte mittels einer aktiven, vorgespannten Stahlpriessung aufgenommen und um die Baustelle im Fahrraumbereich umgelenkt werden. Eine Ausführungsanforderung war, dass die zahlreichen Umbaumassnahmen, Betoninstandsetzungen und Reprofilierungen der Rahmentragwerke inklusive der temporären Spriessung den in den übrigen Tunnelabschnitten laufenden Baustellenbetrieb so wenig wie möglich behindern.

Die Erstellung von begehbaren Werkleitungskanälen in den Tagbautunnel Weiningen ist von der Randbedingung des bestehenden Tragwerkssystems, der Tragwirkung und damit des vorgegebenen begrenzenden Tragwiderstandes geprägt. Der bestehen-



Quelle: J. Portner (EBP Schweiz AG)

7 Bohrergerät mit geringer Bauhöhe, ARGE GUBRI/Subunternehmer Ghelma AG, Spezialtiefbau

de Tagbautunnel ist als Rahmenkonstruktion ausgebildet, mit Flachdecken und einer mittleren Abstützung, welche die beiden Fahrrohre trennt (s. Bild 3). Das Tragwerk ist auf Streifenfundamenten flach gegründet. Die horizontalen Erd-druckkräfte werden unterhalb der Fahrbahnebene über unbe-wehrte Druckriegel zwischen den Streifenfundamenten kurz-geschlossen. Der Bau des neuen Werkleitungskanals gestaltet sich hier sehr anspruchsvoll, da einerseits direkt neben den stark beanspruchten Streifenfundamenten circa 3 m tief ausgehoben werden muss und der Werkleitungskanalquerschnitt die bestehenden Druckriegel durchschneidet. Ohne die Trag-wirkung der Druckriegel, mit Aushub unmittelbar neben den Streifenfundamenten, wäre ein statischer Grundbruch der Fundamente und in deren Folge auch die Überschreitung der Tragwiderstände im Rahmentragwerk, verursacht durch zu grosse Deformationen des Rahmentragwerkes, ein nicht zu-lässiges Gefährdungsbild. In Anbetracht der grossen Lasten, des empfindlichen Eingriffs und der baubetrieblichen Anfor-derungen war ein Bauverfahren mit jederzeitiger Spriesswir-kung und sehr steifem Baugrubenabschluss erforderlich und führte zur Ausbildung des WELK mit einer Spriessdeckenplat-te und Ausführung in Deckelbauweise (Bild 3).

Als Foundation und seitlicher WELK-Abschluss wurde eine überschnittene Bohrpfahlwand gewählt, welche ein Vorgehen in kleinen Etappen erlaubt.

Die eingeschränkte Höhe im bestehenden Tagbautunnel machte ein Bohrergerät mit besonders kleiner Bauhöhe erforderlich. Wegen der eingeschränkten Verfügbarkeit solcher Spezialgeräte entschied sich der Unternehmer für eine Eigenentwicklung.

Der Deckel übernimmt einerseits die Funktion als Fahrbahnplatte, überspannt den WELK als Decke und ist zudem Spriessplatte als Ersatz für die bestehenden Druckriegel. Die Bohrpfähle und der Deckel werden zunächst zwischen den Druckriegeln erstellt.

Erst dann können die bestehenden Druckriegel entfernt und die Bohrpfähle sowie der Deckel in den Lücken vervollständigt werden.

Eine ständige Logistik- und Rettungsfahrspur musste sichergestellt werden, weshalb neben der Längsetappierung zusätzlich eine quer zum Tunnel halbierte Bauetappierung geplant wurde. Darauf folgen der Aushub unter dem Deckel und der Einbau der WELK-Sohle unter laufendem Baubetrieb in der Fahröhre.

Das Bauen im Bestand ist verbunden mit Unsicherheiten, bisweilen auch Überraschungen, und erfordert grundsätzlich eine detaillierte Planung, welche aber auch begründete, gewählte Kompromisse respektive partielle Abweichungen von Regelwerken und Fachhandbuch berücksichtigt. Diese sind mit der Bauherrschaft zu vereinbaren. Speziell gilt dies auch für die erläuterten Bauteile und speziellen Lösungen am Rand der technischen Machbarkeit. So gelingt es, ein insgesamt ausgewogenes Projekt für eine umfassende Teilerneuerung innerhalb des begrenzenden Bestandes umzusetzen.

Referenzen

- [1] A1 Nordumfahrung Zürich – Projektgeschichte, ASTRA, 2011
- [2] A1 Nordumfahrung Zürich – Projektübersicht, ASTRA, 2011
- [3] Schweizer Ingenieur und Architekt, Band 103, Nr. 23, 1985
- [4] Objektheft, Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, 1986

PROJEKTDATEN

Region

Zürich, Schweiz

Bauherr, Projekt- und Oberbauleitung

Bundesamt für Strassen ASTRA, Filiale Winterthur

Projektverfasser Bau

- EBP Schweiz AG

Bauleitung

- IG Gubrist 1+2, Gähler und Partner AG, Pini AG, Rothpletz, Lienhard + Cie AG

Bauherrenunterstützung

- Basler & Hofmann AG

Ausführung

ARGE GUBRI, Implenia Schweiz AG, Walo Bertschinger AG, Anliker AG Bauunternehmung

Kenndaten

Bauzeit:	2023 bis 2027 (Gesamterneuerung 1. und 2. Röhre, inkl. BSA)
Inbetriebnahme:	1985 (Bau), 2027 (Gesamterneuerung 1. und 2. Röhre)
Baukosten Tunnel:	CHF 265 Mio.
Gesamtlänge:	3377 m (1. Röhre), 3386 m (2. Röhre)

Jürg Portner, Dipl. Bau-Ing. ETH / SIA, EBP Schweiz AG, Zürich/CH

Thomas Espinosa, MSc ETH Bau-Ing., EBP Schweiz AG, Zürich/CH

Stefan Matsch, Dr. sc. techn., Dipl. Werkstoffing. ETH/SIA, EBP Schweiz AG, Zürich/CH

Gubrist Tunnel: 1st and 2nd tunnel tubes

From facelift renovation to complete refurbishment

The 1st and 2nd tunnel tubes that make up the Gubrist Tunnel were put into operation in 1986. The tunnels' capacity limit was quickly reached after the turn of the millennium and ongoing deterioration of their condition was soon apparent. Between 2005 and 2019, a renovation project underwent several stages of development and led to complete refurbishment. This conference report shows how these changes occurred, based on decisions made throughout the project and the tunnels' current situation, and explains the basic problems of construction in existing structures.

1 Project development in phases

1.1 Overview of the Zurich northern bypass

The twin tunnel Gubrist Tunnel went into operation in 1985, after a construction period of around seven years, as an important element of the Zurich northern bypass. During construction of the mined tunnel tubes, a full-face boring machine was used for the first time in Switzerland in combination with a shield machine and mechanized construction of tunnel segments. The approximately 50-m-long cut-and-cover tunnel and the Regensdorf portal station are located to the east, while the approximately 250-m-long cut-and-cover tunnel and the Weiningen portal station are located to the west.

Less than 20 years after it was opened to traffic, the northern bypass had already reached its capacity limit, and after the adjacent Zurich western bypass went into operation in 2009, 346 congestion days had already been recorded in 2011. As one of the busiest two-lane motorway sections in the area, the Gubrist Tunnel is also a major accident site. For these reasons, among others, the Swiss Federal Council approved a General Project (GP) to expand the Zurich northern bypass (ANU) to six lanes, as well as to build a third tube in the Gubrist Tunnel, back in 2007. As part of this GP, which was prepared by the Canton of Zurich, the Federal Roads Office (FEDRO) requested that the ANU be divided into a new construction/extension project and a preservation project.

The third tunnel was commissioned in April 2023 – which was also when work began on repairing the 1st and 2nd tunnel tubes in the Gubrist Tunnel, which we will cover below.

1.2 Preservation of the 1st and 2nd Gubrist tunnel tubes

An initial plan for repair work was drawn up in 2004, following extensive assessments commissioned by the Canton of Zurich. It concluded that only minor improvements, i.e., better facelift renovations, were required in the near future. Managed by the Canton of Zurich, construction plans were drawn up in 2005.

However, when the General Project to expand the northern bypass (2005 to 2007) was implemented, experts decided to carry out a new overall assessment regarding the preservation project of the 1st and 2nd tunnels. In 2008, a “global preservation concept” for motorway tunnels was drawn up for the first time under FEDRO's leadership. This corresponds to FEDRO's current project planning procedure for preservation projects – with a preservation concept (PC), action plan (AP) and action project (APr).

The preservation concept “Gubrist Tunnel Repair, 1st + 2nd Tunnel Tubes” covered a wide range of options from facelift renovations to effective new construction work by boring over the existing tunnel tubes. Replacing the carriageway slab and the suspended ceiling was chosen as the best option for renovation. The foundation stone was laid here for the de facto complete removal of the tunnel and the construction of a partially new tunnel shell (outer and inner lining, cut-and-cover frame). The decision to construct a new suspended ceiling was based not only on the desire to increase the usable traffic space, but also in particular on the results of a structural analysis carried out earlier, which recognised that the load-bearing safety of the suspended ceiling supports was not guaranteed. This led to the existing suspended ceiling being secured in 2008 as an immediate or temporary measure (IMMA/BRMA). In addition, as part of the “Renovation of Operating and Safety Equipment (BSA) Plan 2008 to 2012”, tunnel closures were used to prepare the future cross-connection to the 3rd tunnel as an advance measure (ADMA) in the 2nd tunnel.

Tunnel de Gubrist : 1^{re} et 2^e galeries du tunnel

De la rénovation en surface à la rénovation complète

Les galeries du tunnel de Gubrist ont été mises en service en 1986. Les limites de capacité ont été atteintes après le début du nouveau millénaire. En plus des travaux de réparation des 1^{re} et 2^e galeries, le projet global d'élargissement du contournement nord de Zurich comprenait la construction d'une galerie et d'un élargissement à six voies. Outre les nouveaux éléments du projet, l'évolution du projet de réparation a été marquée par la détérioration continue de l'état des tunnels. Le projet de réparation a connu plusieurs étapes de développement entre 2005 et 2019 et est passé d'une meilleure rénovation en surface à une révision complète de la structure. Ce rapport illustre ces changements, basés sur les décisions prises au cours du projet ainsi que sur l'état général de la structure, et explique les problèmes fondamentaux de la construction dans des structures existantes.

Tunnel del Gubrist: prima e seconda canna

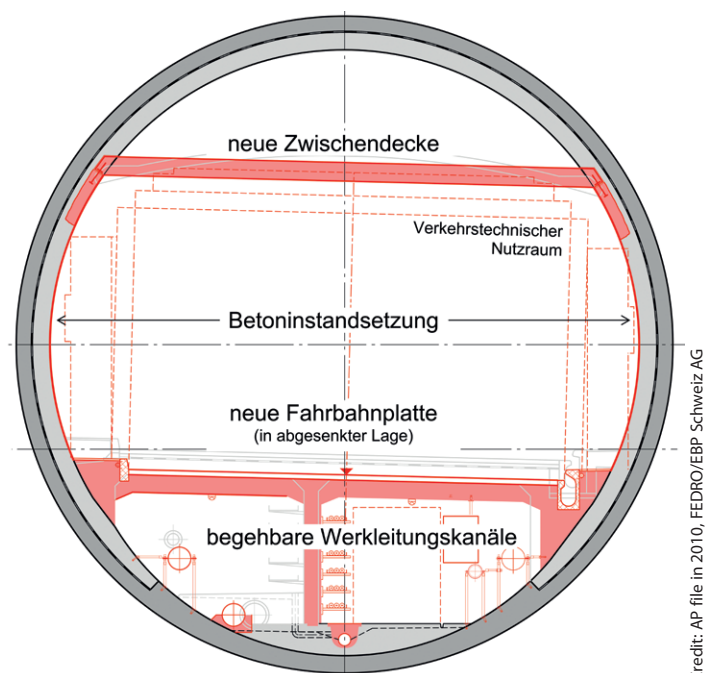
Dal risanamento superficiale al rinnovamento complessivo

La prima e la seconda canna del tunnel del Gurbist sono state messe in esercizio nel 1986, e già all'inizio del nuovo millennio è stato raggiunto il limite di capacità. Il progetto complessivo "ampliamento della circonvallazione nord di Zurigo" comprendeva, oltre al risanamento della prima e della seconda canna, l'edificazione di una terza canna e l'ampliamento su sei corsie. Oltre ai nuovi elementi del progetto, lo sviluppo del progetto di risanamento è stato influenzato dal continuo peggioramento delle condizioni. Dal 2005 al 2019, il progetto di riparazione ha attraversato diverse tappe, e ha portato da un risanamento superficiale ad un ampio rinnovamento complessivo. I presenti atti del convegno riportano i cambiamenti a partire dalle decisioni progettuali e sulla base dello stato, ed illustra le problematiche fondamentali del costruire in strutture esistenti.

The new 2010 action plan concretised this decision regarding the preservation concept changes. With FEDRO's approval in 2013, specific points were submitted for revision, which were incorporated into the subsequent action project. One of the topics that was discussed intensively was implementing FEDRO guidelines, which are mandatory for new projects but are not always implemented 1:1 in existing structures. For example, in order to expand the future usable traffic area, various aspects such as necessary ventilation cross-sections, hard shoulder widths, lowered carriageway/height of the traffic area, space requirements/height of the utility duct, etc. had to be carefully coordinated without necessarily meeting the dimensions required by the guidelines.

Further decisive changes were made over the course of the action project (APr). Despite the limited space available in the existing tunnel tubes, the client wanted to consider using an embedded utility duct (UD) with prefabricated elements instead of a carriageway slab. Lowering the carriageway by around 30 cm to increase the usable traffic space severely restricted the remaining height available for the UD. Therefore, construction with UD elements was only possible with a reduced clearance height of 2.10 metres.

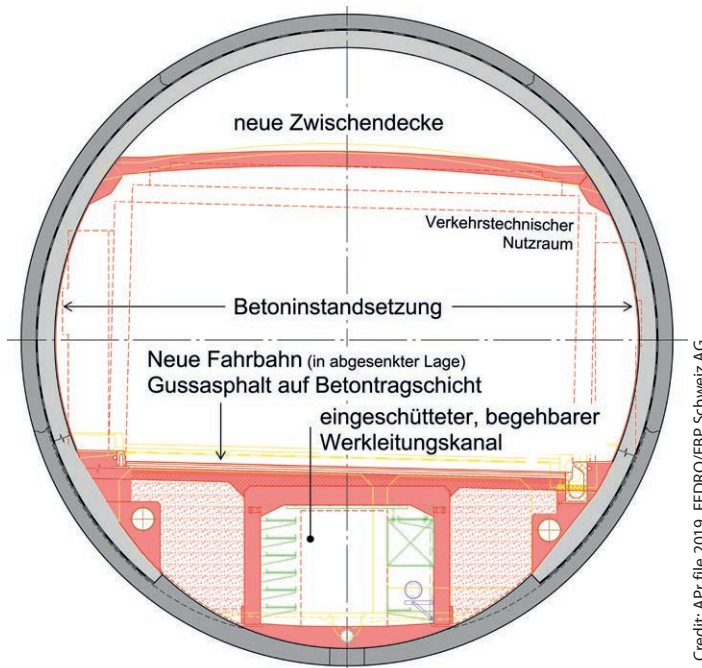
The first APr was submitted in 2016. This was followed by a three-year interim phase, during which further project changes were finalised. The most important change resulted from the decision to extend the tunnel by around 100 metres on the Weiningen side – at the Weiningen overpass. The tunnel's extension led to BSA developments having to be restructured. Instead of using the previously planned cable conduit blocks, the decision was made to switch to a continuous UD system; this was then introduced into the project. Section 3 goes into more detail about this very complex UD – situated inside



1 Standard tunnel profile, status from AP 2010, plan section (grey: Condition; red: Project)

Credit: AP file in 2010, FEDRO/EBP Schweiz AG

Gubrist Tunnel: 1st and 2nd tunnel tubes • From facelift renovation to complete refurbishment



Credit: APr file 2019, FEDRO/EBP Schweiz AG

2 Standard tunnel profile, status from APr 2019, plan section (grey: Condition; red: Project)

the existing cut-and-cover tunnel's frame structure with critical structural constraints. The second major change concerns the carriageway structure within the approximately 2.8-km-long mined tunnel sections. In collaboration with the specialist support team, the decision was made to replace rolled asphalt with mastic asphalt due to the lower construction height and the impermeability required to protect the underlying UD against corrosion. The revised and supplemented APr was then submitted in 2019.

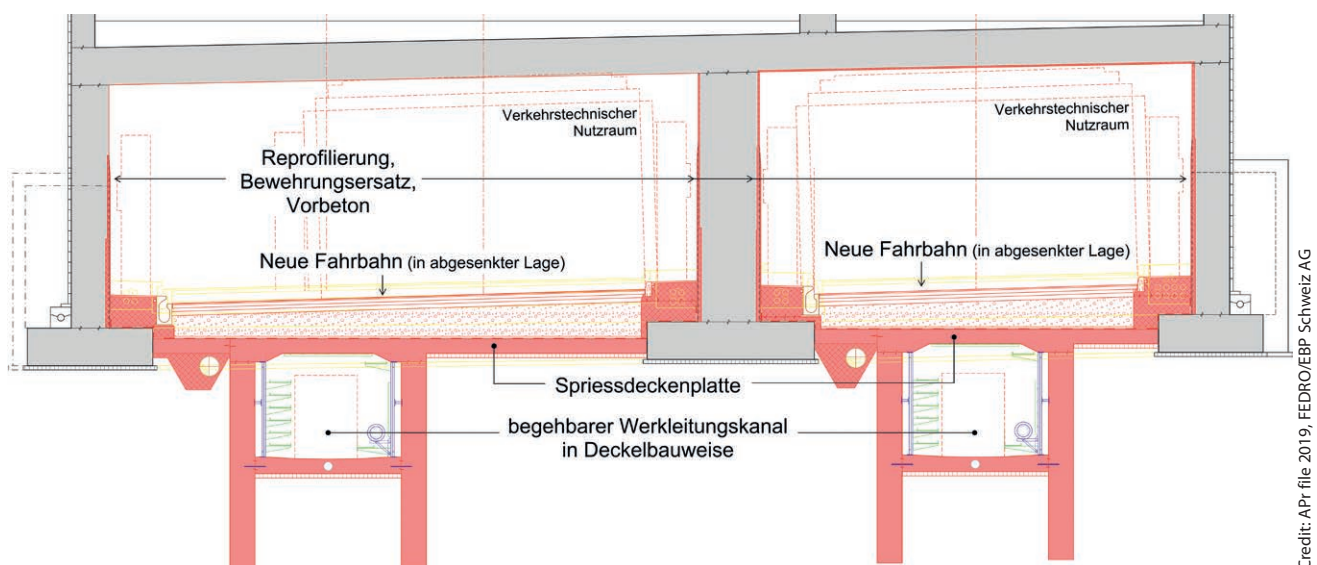
All in all, the impressive project development described above took around ten years to come to fruition, with a sequence of new findings and modified marginal conditions and decisions, changing from an initially planned facelift to a complete refurbishment of the 1st and 2nd Gubrist tunnel tubes. The costs amount to around 265 million Swiss francs (construction costs, incl. advance measure ADMA as per quality requirements QV, index-adjusted to 2023) and roughly correspond to a complete reinvestment of the construction costs of around 275 million Swiss francs (construction costs, incl. the temporary measure, index-adjusted to 2023).

The project and its elements remained unchanged and, 20 years after the first action plan, construction began in 2023, which will end, respectively, in autumn 2025 when the renovated middle tunnel goes into operation and at the end of 2027 when the renovated 1st tunnel goes into operation. The extension from Weiningen to the Limmattal junction will then also go into operation and provide new traffic capacity.

2 Decisions, tunnel status and project development

2.1 New decisions and project changes – an ongoing process

The project development described in section 1, which lasted over 20 years, impressively illustrates a process that was driven by various factors. What these factors all have in common is a lengthy project planning period, which involved repeated step-by-step updates, changes to boundary conditions and specifications and extensions to the measures and actions planned. During this process, decisions that had been made were reviewed and, in some cases, adjusted, and the proposed actions were scrutinised



Credit: APr file 2019, FEDRO/EBP Schweiz AG

3 Tunnel cross-section, open-cut construction in Weiningen, status from APr 2019, plan section (grey: Condition; red: Project)

and changed on a regular basis. These are by no means arbitrary or purely wishful adjustments, but rather project changes justified by new decisions, ancillary or third-party projects and new facts or additional requirements; therefore, they are all officially recognised.

The decisive reasons for the partial renovation project included the tunnels' progressive deterioration, the decision to lengthen the tunnel in Weiningen, planning and implementation progress for secondary projects (in particular the 3rd tunnel and the open road sections in Weiningen and Affoltern) and further developments in guidelines and standards.

The project team was able to rely on constructive co-operation with the client, FEDRO technical support, the involvement of the project drafters working on the secondary projects, the operating and safety equipment planners and ultimately, a basic understanding of change and a willingness to compromise during construction in existing structures over the course of the long-term project.

2.2 Project developments

In addition to the preservation and renovation works required for the structure's condition, we would also like to highlight two extensive structural alteration projects. These project developments are due, on the one hand, to the traffic capacity expansion plans for the Zurich northern bypass, featuring the 3rd Gubrist tunnel, and, on the other, to the decision to lengthen the tunnel in Weiningen.

In the future, the two existing tunnels will channel traffic over four lanes from west to east in the direction of St Gallen, while traffic travelling towards Bern will be routed over three lanes in the new 3rd tunnel. Between the 2nd and 3rd tunnel tubes, 13 new cross-passages and a connecting tunnel at UD level were required to ensure an emergency exit to the neighbouring tunnel and to create a connection between the control centres. In addition, the change of direction in the 2nd tunnel (today: traffic towards Bern, in the future: towards St Gallen) not only led to BSA changes, but also to a change of direction in the SOS niche walls by closing the previous ones and constructing new SOS niche walls on the opposite side. These project components were incorporated and developed at an early stage, both with preliminary measures and during the course of the project.

The second major expansion was initiated by the Weiningen tunnel extension project. The consistent, continuous construction of an accessible utility duct under the carriageway was opportune (see previous sections) and was also introduced in the Weiningen cut-and-cover section from the 2019 APR. In addition, noise protection measures along the tunnel walls, noise-reducing road surface material and a concentration of cable ducts were shifted from the existing cut-and-cover tunnel to the new tunnel extension with correspondingly better structural, constructional and static load conditions.

2.3 The tunnels' progressive deterioration and project developments

The original idea to improve facelift renovation work was based on damage patterns and traffic volumes at the beginning of the new millennium (Fig. 4) – after less than 20 years of operation. However, the project was not implemented and, instead, the overall north bypass expansion project was initiated with a phase cycle including a preservation concept, an action plan/general projects for the new and expanded sections and action/construction projects. During the subsequent planning period, the tunnels gradually deteriorated and new inspection and testing data, results from structural analyses and, last but not least, visual signs of damage led to new findings and revised assessments of the structural condition category according to the FEDRO-UPLaNS philosophy.

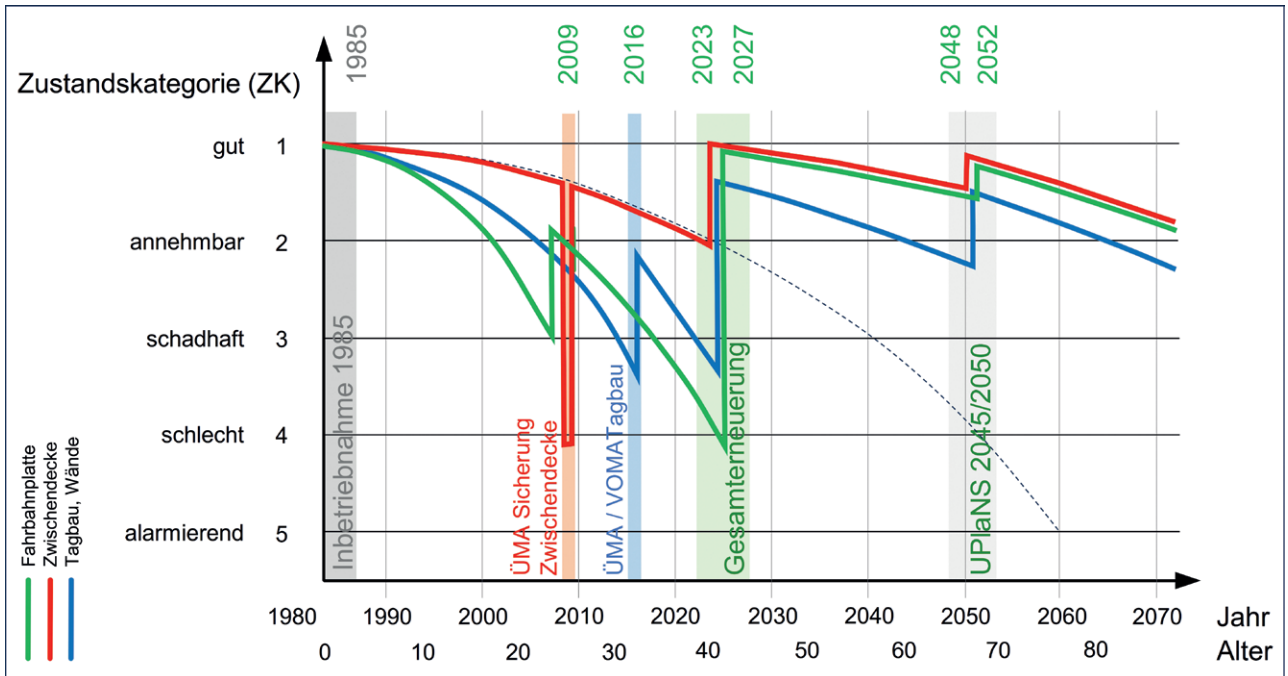
2.3.1 Suspended ceiling:

The decision to rebuild the suspended ceiling was not based on structural condition, but rather on the results determined by the tunnels' structural inspection and damage to the supports in their inner shell. Figure 4 shows this damage as an abrupt drop in the structural condition category (red idealised curve). In 2009, this realisation led to the rapid implementation of an initial immediate and temporary measure that involved securing the suspended ceiling with a "Swiss Lock" wedge free anchor system waler beams in order to demonstrably ensure structural safety until the tunnel tubes were repaired. This situation, which is safe for a short period but unsafe in the long term, led to the decision to consider stabilisation as a temporary measure and to demolish the suspended ceiling at a later date and replace it with a new one. One of the first steps was complete refurbishment.

2.3.2 Spalling and corrosion damage, static load testing of the cut-and-cover tunnel:

Continuous spalling due to corrosion was constantly visible on the cut-and-cover tunnel walls. At the same time, the static load-bearing capacity of the cut-and-cover areas were checked against a backdrop of the adjacent newly constructed 3rd tunnel, which revealed a deficit in the shear bearing capacity in the corners of the frame. As the complete renovation project was not scheduled to start until seven years later, the decision was made to carry out another bridging measure by means of concrete repairs in

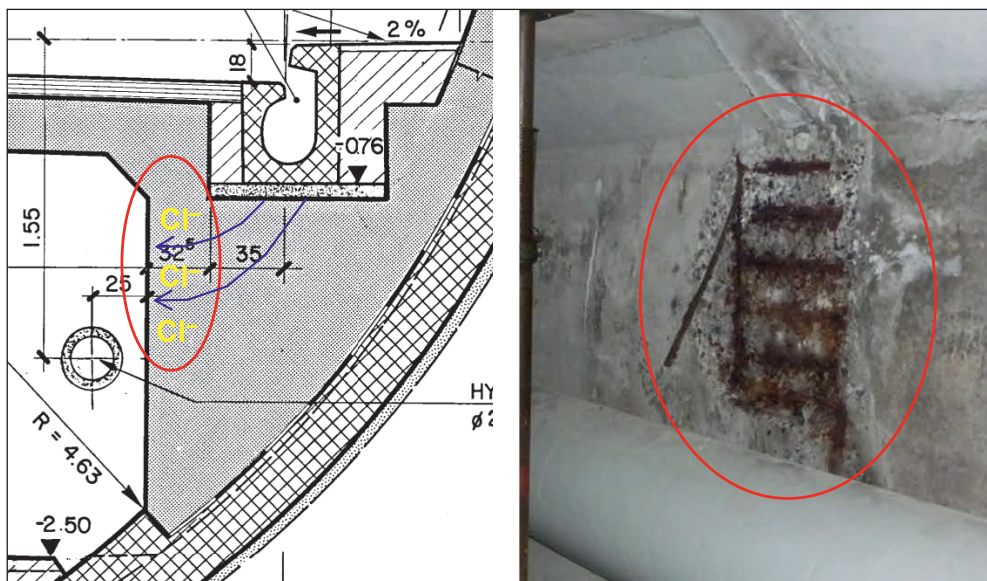
some areas and an additional preliminary measure by means of shear load reinforcements, which was realised in 2016. The blue “sawtooth curve” in Figure 4 shows that the temporary measure was only intended to restore the tunnels’ condition to an acceptable level in order to cover the time required for complete renovation without endangering road users due to spalling.



4 Idealised development of structural condition, selected components

2.3.3 Corrosion damage to cable ducts and carriageway slab supports:

As early as 2005, severe corrosion damage became apparent in the cable ducts that were regularly arranged in the hard shoulder, which led to the ducts being gradually filled with concrete and, in some cases, the surrounding carriageway slab in the utility duct being supported with steel anchors (see green curve in Fig. 4). As of 2017, plate-shaped spalling was detected at several points in the utility duct and former input air duct under the carriageway slab, which revealed very severe corrosion damage to the carriageway slab supports (Fig. 5). Chloride concentrations on the aerated/dry side of the structure were found to be the cause; chloride found its way inside the utility duct via open slotted channels at the edges of the structure – in some cases through concrete that was up to a metre thick.



5 Corrosion and spalling in the carriageway slab supports

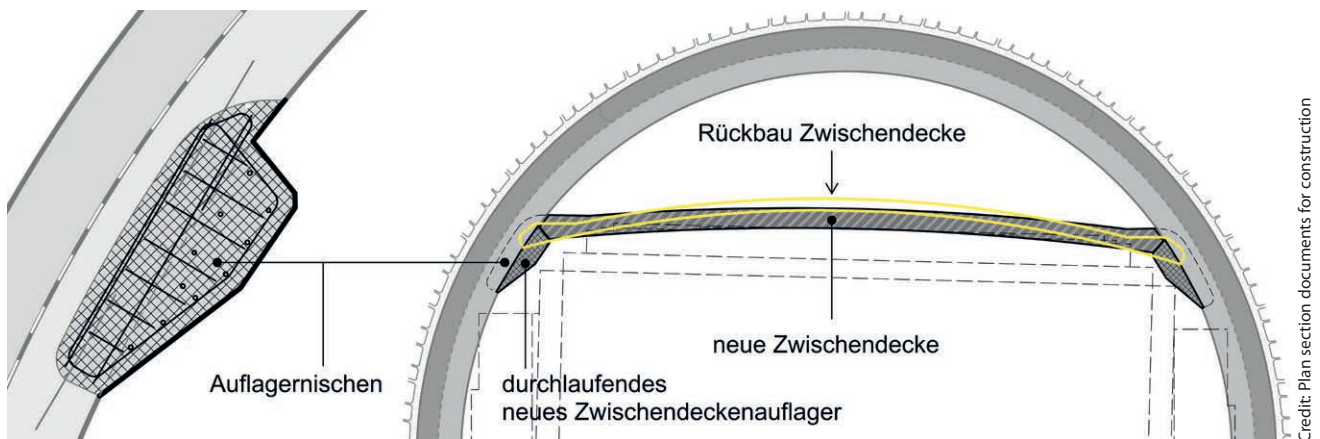
Static load testing of the carriageway slab was initiated. This testing showed that no immediate measures and no temporary measures were necessary until the complete refurbishment project was started. However, the project was confirmed with the decision to install an embedded UD (from Apr 2016, Fig. 2) instead of a new carriageway slab (AP 2010, Fig. 1).

3 Structural boundary conditions and construction at the limits of what is technically and structurally feasible

The following section explains three outstanding construction components or sub-projects where the technical and structural integration and static load interaction with the existing structure posed significant challenges.

The existing suspended ceiling in the mined tunnel section stretched out as a very slender prestressed arch with a slight curvature between the inner lining of the vaults and rested on support recesses in the unreinforced inner lining. As part of the early adjustments to the electromechanical systems and tunnel ventilation (2009), the suspended ceiling underwent general static load testing. It was not possible to verify the structural safety of the unreinforced recess. Based on the findings from the static load testing, an inspection was carried out and cracks were found in the area of the recesses. In some cases, the superficial area under the supports had broken away. As the blocks were dilated every 8 m and the supports in the four recesses per block and side were equivalent to point load supports, the failure of individual recesses was already enough to pose a load-bearing safety problem for the suspended ceiling. Immediate action had to be taken. In 2008, the ceiling was secured using the “Swiss Lock” wedge free anchor system to ensure that the mechanical bolts in the inner shell would support the load.

The suspended ceiling will therefore be completely dismantled during the partial renovation project and replaced with a new suspended ceiling (Fig. 5). The shape and design of the new suspended ceiling is based on the FEDRO technical manual. Similar to a new structure, it is designed as a simple beam between two support brackets. The newly formed supports and their application of force in the unreinforced inner vault lining posed a challenge.



6 New suspended ceiling with detailed support niches

The application of force as a robust system needed to fulfil both the structural condition of the locally weakened inner lining and the final structural condition together with the standard load cases without endangering the integrity of the tunnel’s waterproofing. To achieve this, regularly spaced support recesses were cut, reinforcement installed and concreted together with the linear supports to form a console. A high degree of precision and care is required to execute the cutting depth according to required and defined geometrical dimensions, while limiting it to a maximum depth. The console surfaces are inclined in deviation from the specialist manual, but they are fitted with a long-term friction bearing as required. The resulting forces are thus always directed into the support recesses and the structural safety verifications can be provided for any condition, even in the unreinforced inner lining. Various 1:1 and in-situ tests preceded this series of projects in order to optimise machine and cutting technology, as well as design details, to ensure that the total of around 5,800 support recesses could be constructed as required while maintaining high performance levels.

Lowering the carriageway in the two tunnel centres posed a further structural and static challenge. These are embedded and are subject to lateral soil pressure, which is either transferred as a compressive load into the carriageway slabs or channelled through to the opposite outer walls. Therefore, while the existing carriageway slab is being demolished and until the new carriageway slab is constructed in a lowered position, the lateral soil pressure forces must be absorbed by means of active, pre-stressed steel struts and redirected around the construction site in the carriageway area. One of the design requirements specified was that the numerous reconstruction measures, concrete repairs and frame support’s re-profiling work, including temporary measures should interfere as little as possible with the ongoing construction site operations in the other tunnel sections.

Constructing accessible utility ducts in the Weiningen cut-and-cover tunnel is characterised by the boundary conditions of the existing load-bearing system, the load-bearing action and thus the specified limiting load-bearing resistance. The existing cut-and-cover tunnel is designed as a frame structure with flat slabs and central supports separating the two tunnels (Fig. 3). The



Quelle: J. Portner (EBP Schweiz AG)

7 Drilling rig with low headroom, ARGE GUBRI/sub-contractor Ghelma AG, Civil Engineering Specialist

red, which is why, in addition to the longitudinal construction sequence, a construction sequence bisecting the tunnel was also planned. Subsequently, excavation under the top cover followed by the installation of the UD as invert took place during ongoing main tunnel construction.

Construction in existing buildings is associated with uncertainties – sometimes even surprises – and fundamentally requires detailed planning, which also takes into account justified, well-chosen compromises or partial deviations from regulations and specialist manuals. These agreements must be finalised with the client. This also applies in particular to the components explained above and special solutions at the limits of technical feasibility. This makes it possible to realise a balanced overall project for comprehensive partial renovation within the confines of an existing structure.

References

- [1] A1 Zurich northern bypass – Project history, FEDRO, 2011
- [2] A1 Zurich northern bypass – Project overview, FEDRO, 2011
- [3] Swiss Engineer and Architect, Vol. 103, No. 23, 1985
- [4] Project booklets, Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, 1986

supporting structure is built on shallow strip foundations. The lateral soil pressure forces below the carriageway level are minimised by unreinforced pressure walers between the strip foundations. Constructing the new utility duct is very challenging in this case, as it has to be excavated to a depth of around 3 metres directly next to the strip foundations, which are subject to heavy loads; the utility duct cross-section also cuts through the existing pressure walers. Static ground failure in the foundations and, as a result, exceeding the load-bearing resistance in the frame structure caused by excessive deformations, without the load-bearing effect of the pressure walers and with excavation directly next to the strip foundations, would not be a permissible hazard. Given the large loads present, the sensitive nature of this project and the operational requirements, a construction method was required that would ensure continuous strutting and rigid excavation closure, resulting in constructing the UD with a strutted ceiling slab and a top-down construction method (Fig. 3).

An overlapping bored pile wall was chosen as the foundation and lateral UD closure, which allows the work to be carried out in small stages.

The restricted height in the existing cut-and-cover tunnel required a drilling rig with a particularly low headroom. Due to the limited availability of these special devices, the contractor decided to develop their own.

The cover acts as a carriageway slab, spans the UD as a ceiling and also acts as a strut plate to replace the existing pressure walers. The bored piles and the cover are initially installed between the pressure walers. Only then can a) the existing pressure walers be removed and b) the bored piles and the cover be completed inside the gaps.

A permanent logistics and emergency lane had to be ensured, which is why, in addition to the longitudinal construction sequence, a construction sequence bisecting the tunnel was also planned. Subsequently, excavation under the top cover followed by the installation of the UD as invert took place during ongoing main tunnel construction.

KEY PROJECT DATA

Region

Zurich, Switzerland

Client, project and project direction

Federal Roads Office FEDRO, Winterthur branch

Designer of Tender for construction

- EBP Schweiz AG

Construction management

- IG Gubrist 1+2, Gähler und Partner AG, Pini AG, Rothpletz, Lienhard + Cie AG

Client support

- Basler & Hofmann AG

Construction

ARGE GUBRI, Implenia Schweiz AG, Walo Bertschinger AG, Anliker AG Construction company

Characteristics

Construction time: 2023 to 2027 (complete renovation of 1st and 2nd tunnel, incl. renovation of operation and safety equipment [BSA])
Commissioning: 1985 (construction), 2027 (complete renovation of 1st and 2nd tunnel)
Tunnel construction costs: CHF 265 million
Total length: 3377 m (1st tunnel), 3386 m (2nd tunnel)

Raphaël Defert, Expert en sécurité des tunnels, WSP, Lausanne, CH

La tranchée couverte de Ferney

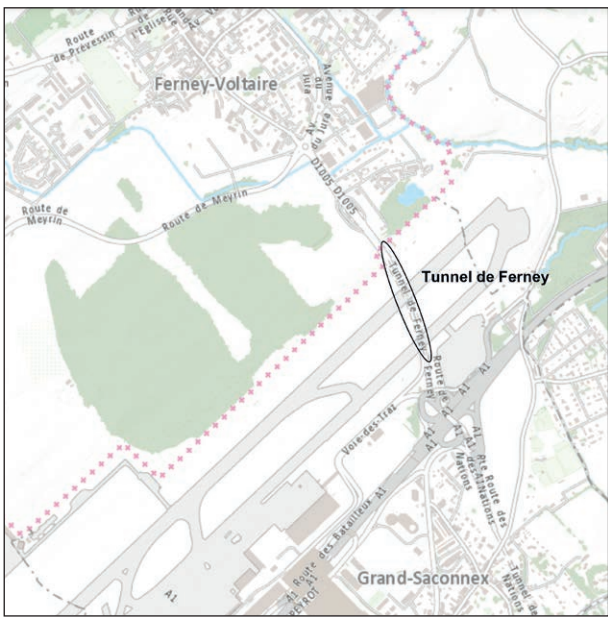
Un ouvrage aux multiples spécificités

Le tunnel de Ferney, exploité par le Canton de Genève, propriété de Genève Aéroport et situé à la frontière franco-suisse, va accueillir dans quelques années un trafic mixte « Routier / Tramway ». Cela a nécessité de s'interroger sur son concept de sécurité, notamment vis-à-vis du risque incendie. Du fait qu'il est situé sous des pistes de l'aéroport, les enjeux de continuité d'exploitation sont également cruciaux (tenue au feu des structures).

1 Présentation de l'ouvrage

1.1 Historique et aspects administratifs

Située sous les pistes de Genève Aéroport (GVA), à proximité de la frontière franco-suisse, la tranchée couverte (TC) de Ferney mesure 430 m de longueur. Elle a été construite à la fin des années 1950 dans l'objectif de maintenir l'axe routier reliant Genève à Ferney-Voltaire, tout en permettant l'extension du domaine aéroportuaire (fig.1). Il s'agit d'un ouvrage initialement cantonal qui a fait l'objet d'un transfert de propriété au profit de GVA, bien que l'exploitation reste cantonale. Deux services de secours se coordonnent en cas d'événement : les pompiers cantonaux et les équipes d'intervention de GVA (SSLIA).

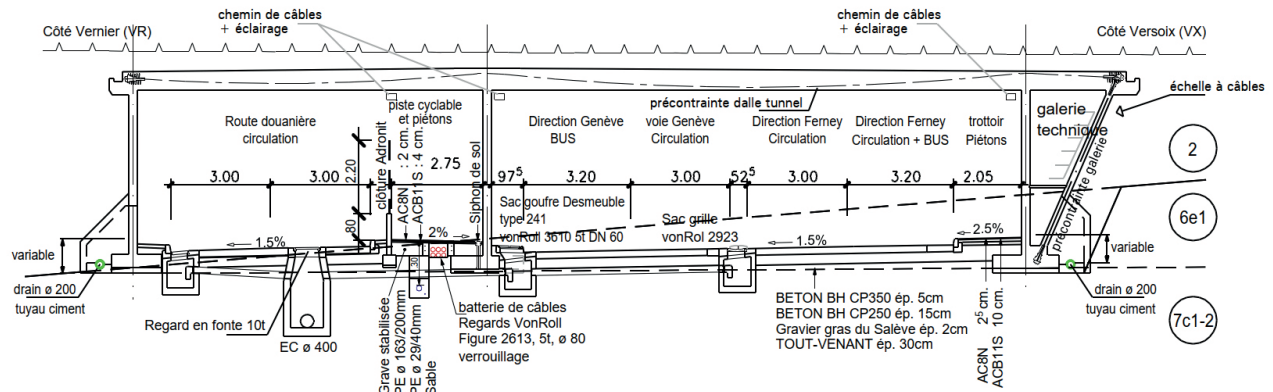


1 Situation géographique de la TC de Ferney

Actuellement, l'ouvrage est composé de 2 tubes à circulation routière bidirectionnelle :

- Tube de Ferney : 2 voies par sens dont 1 réservée aux bus et taxis, transit entre la douane et l'autoroute N1
- Tube douanier : 1 voie par sens, desserte de la zone française de GVA depuis Ferney-Voltaire, sans franchir la douane. Ce tube dispose en outre d'un espace dédié à la mobilité douce (piste cyclable et piétons), séparé de la route par un grillage douanier.

Il existe 2 issues de secours entre les 2 tubes, afin qu'en cas d'incendie, l'autre tube serve d'espace sain pour l'évacuation des usagers (fig. 2).



2 Profil de l'ouvrage dans son état actuel

Der Ferney-Tagbautunnel

Ein Bauwerk mit mehreren besonderen Merkmalen

Das Strassenbahnausbauprojekt bot die Gelegenheit, den Ferney-Tunnel zu sanieren und die Betriebskontinuität im Falle eines Ereignisses (z. B. eines Brandes) zu gewährleisten, sowohl für den Tunnel selbst als auch für die darüber liegenden Landebahnen des Flughafens. Die Installation einer Wassernebel-Sprinkleranlage wird eine der grössten Herausforderungen sein: Es ist das erste Mal, dass ein Tunnel in der Schweiz mit einem solchen System ausgestattet wird. Alle Beteiligten (Betreiber, Eigentümer, Rettungsdienste) erstellten gemeinsam einen Interventions- und Sicherheitsplan, der auf jede Phase des Projektes abgestimmt ist.

Il tunnel a cielo aperto del Ferney

Una costruzione dai numerosi e particolari tratti

Questo progetto di ampliamento tranviario ha offerto l'opportunità di rinnovare il tunnel del Ferney e di garantire continuità operativa in caso di incidente (p. es. incendio), sia per il tunnel stesso che per le piste dell'aeroporto che si trovano al di sopra. L'installazione di uno sprinkler ad acqua nebulizzata sarà una delle maggiori sfide del progetto (il primo tunnel in Svizzera dotato di un tale sistema). Il progetto ha permesso a tutte le parti interessate (gestore, proprietario, servizi di soccorso) di incontrarsi e di elaborare un piano d'intervento e di sicurezza in armonia con ogni fase del progetto.

1.2 Trafic et enjeux

Le trafic s'élevait en 2019 à 22 800 véhicules par jour, dont 2% de poids lourds (PL). Bien que de faible longueur, la TC de Ferney présente de forts enjeux économiques avec un trafic frontalier conséquent. Sa fermeture engendrerait une importante congestion des axes secondaires déjà saturés en période de trafic pendulaire.

La TC de Ferney est autorisée au transit de marchandises dangereuses (TMD), mais le nombre de véhicules TMD est très faible d'après une campagne de comptage menée en 2021 (moins d'1 par jour en moyenne).

1.3 Méthodes constructives et interfaces avec l'aéroport

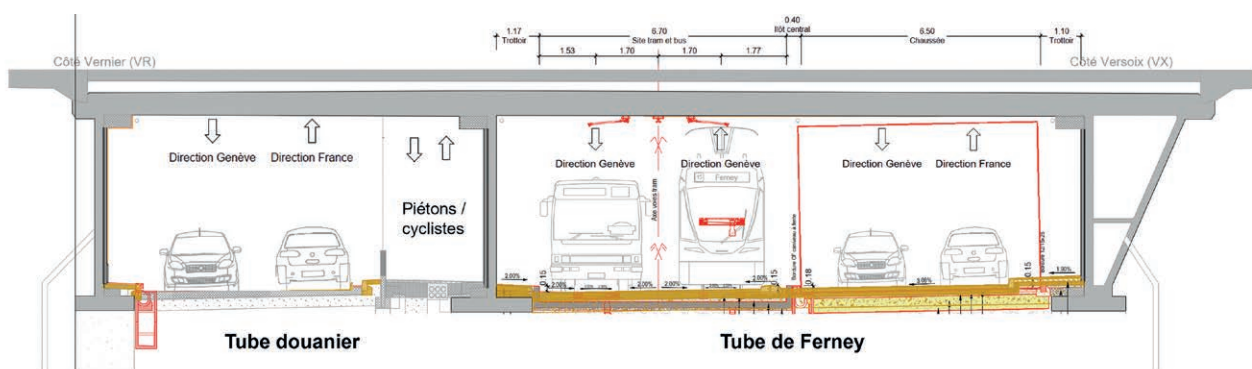
L'ouvrage est constitué d'une structure en béton armé et précontraint construite à l'origine pour supporter les poids de la couverture de terre, des dalles de roulement et de la piste d'envol aéroportuaire située au-dessus.

Au fil des années, la dalle porteuse de la TC a été dédoublée (1986) puis renforcée (2007) pour garantir le passage des avions de 600 tonnes. La tenue au feu de l'ouvrage, sa continuité d'exploitation et celle de GVA, constituent donc des enjeux majeurs.

1.4 Exploitation future

Dans le cadre du projet Tramway Nations – Grand-Saconnex, la TC de Ferney est amenée à accueillir un trafic mixte « Routier / Tramway / Bus ». Deux des quatre voies de circulation actuelles seront dédiées à la circulation des transports en commun genevois (TPG) (fig. 3). Cela s'inscrit dans la volonté de rallier la France par une infrastructure de transport écologique, et de desservir de nouveaux quartiers d'habitations et d'activités à Ferney-Voltaire.

Cette modification substantielle de l'exploitation amène à s'interroger sur les questions de sécurité, en particulier vis-à-vis du risque incendie et des problématiques d'évacuation avec l'augmentation potentielle du nombre de personnes en tunnel dans certains cas de figure.



3 Profil de l'ouvrage dans son état projeté à l'horizon 2025

Crédit : T Ingénierie

2 Élaboration d'un programme d'amélioration de la sécurité basé sur une démarche d'analyse de sécurité globale

Le projet de développement du tramway a conduit à l'opportunité d'évaluer globalement la sécurité de l'ouvrage pour définir un programme de travaux de rénovation complet et homogène. Il s'agit ainsi de disposer d'une vision transversale et cohérente, prenant en compte les 2 modes de transport et leurs spécificités d'exploitation.

Une approche par analyse de sécurité a été menée par rapport aux personnes (approche permettant *in fine* d'identifier les meilleures dispositions de sécurité permettant de diminuer l'occurrence et la gravité d'événements potentiels), mais aussi par rapport aux enjeux d'exploitation (événements analysés au travers de leurs impacts sociétaux et économiques).

Les 2 approches sont complémentaires et ont permis d'aboutir à un programme cohérent et rationnel permettant à l'ouvrage projeté de présenter un niveau de sécurité optimal, y compris durant les phases de réalisation des travaux (exploitation sous chantier).

Dans le cadre de la procédure d'approbation des plans (PAP) fédérale du tramway, il a donc été convenu de réaliser :

- Un concept de sécurité pour les 2 tubes dans le cadre des travaux de rénovation
- Une étude de dangers, comprenant la modélisation et l'étude de scénarios d'incendie (propagation des fumées et évacuation des usagers), et permettant de valider le bien-fondé du concept de sécurité, ainsi que de formuler des recommandations complémentaires
- Une analyse de risques TMD, afin d'évaluer quantitativement le niveau de risques correspondant à la situation actuelle et future. Le but étant de confirmer l'autorisation de l'ouvrage au transit de marchandises dangereuses.

Ces éléments sont présentés dans les chapitres suivants.

2.1 Concept de sécurité

En premier lieu, une comparaison réglementaire avec les référentiels techniques pertinents a été menée, permettant d'identifier des écarts et donc de possibles dispositions de sécurité à intégrer.

Les normes SIA 197 (tunnels) [1], 197-1 (tunnels ferroviaires) [2] et 197-2 (tunnels routiers) [3] fournissent les bases pour les projets d'ouvrages souterrains en termes de construction, d'environnement et de sécurité. Bien qu'elles concernent les projets de tunnels et non les tunnels en exploitation, ces normes peuvent être utilisées comme référentiels techniques pour les tunnels en exploitation, d'où l'intérêt pour la TC de Ferney. Les standards de l'OFROU [4] à [9] et de l'OFT [10] ont également servi de base pour définir les dispositions de sécurité à prévoir.

Concrètement, toutes les dispositions possibles relatives au génie civil et aux équipements prévues par ces normes et standards routiers et ferroviaires seront intégrées à la TC dans son état final, avec exploitation mixte. De plus, certaines dispositions de sécurité iront au-delà des exigences de ces référentiels techniques (par exemple, le nombre d'issues de secours, la signalisation dynamique des issues, etc.).

Du fait de la modification du profil de la TC et du nouveau type de trafic, les nouveaux enjeux portent principalement sur les points suivants :

- Adaptation des équipements actuels pour qu'ils restent 100% opérationnels et adaptés aux futures circulations (ex. éclairage, signalisation, vidéosurveillance)
- Risque potentiel d'arrêt de tramway au droit d'une issue de secours en cas d'événement, pouvant contraindre et rallonger le parcours des usagers de la route, voire les empêcher de visualiser certaines issues. Dans la mesure du possible, la sortie des trams ou bus TPG sera intégrée dans les consignes d'exploitation TPG en cas d'événement. Le renforcement de la sur-signalisation des issues (fléchage lumineux de chaque côté) contribuera notamment à améliorer leur visualisation.
- Risque de la double exploitation de la TC : il est primordial qu'en cas d'événement, le trafic soit arrêté aux portails pour tous les véhicules, pour limiter au maximum le nombre de personnes présentes dans la TC, et faciliter l'évacuation des usagers.
- Risque de congestion routière récurrente dans l'ouvrage (facteur aggravant en cas d'incendie) potentiellement lié à la réduction du nombre de voies routières pour un trafic similaire au trafic actuel (aujourd'hui, les taxis et les deux-roues motorisés empruntent les voies réservées aux bus, qui n'existeront plus dans l'état futur).

Ce travail a également permis de s'interroger sur des questions non spécifiques à la future exploitation mixte, comme la tenue au feu de l'ouvrage, qui n'est pas liée à l'introduction du tramway.

La tranchée couverte de Ferney • Un ouvrage aux multiples spécificités

Le concept de sécurité, réalisé pour les 2 tubes, a permis d'établir un programme de travaux répondant aux différents enjeux inhérents à la TC, liés ou non à la future exploitation mixte. Les principaux travaux prévus sont les suivants:

- Adaptation du principe de recueil des effluents des voies routières et de la plateforme tramway / bus (potentiellement hydrocarbures ou matières toxiques) et mise en œuvre d'un caniveau fendu avec regards siphonides pour limiter la taille de la nappe d'hydrocarbure en cas de rejet accidentel
- Abaissement des banquettes (accessibilité pour les personnes en fauteuil roulant)
- Ajout de 3 issues de secours, limitant à 75 m l'interdistance entre les issues, et mise en conformité des portes des issues existantes (tenue au feu)
- Renforcement de la signalisation de ces issues
- Mise en place de barrières de fermeture aux entrées des deux tubes
- Ajout de détecteurs de fumée
- Mise en place d'une ventilation sanitaire de la galerie technique
- Reparamétrage de la DAI (Détection Automatique d'Incident) et adaptation de la supervision
- Ajout d'un câble rayonnant pour assurer les communications radio (exploitants, services d'intervention et incrustation de messages radio pour les usagers)
- Protection au feu de la structure de l'ouvrage (pose de plaques de protection sous la dalle)
- Mise en place d'une aspersion par brouillard d'eau

2.2 Étude de Dangers

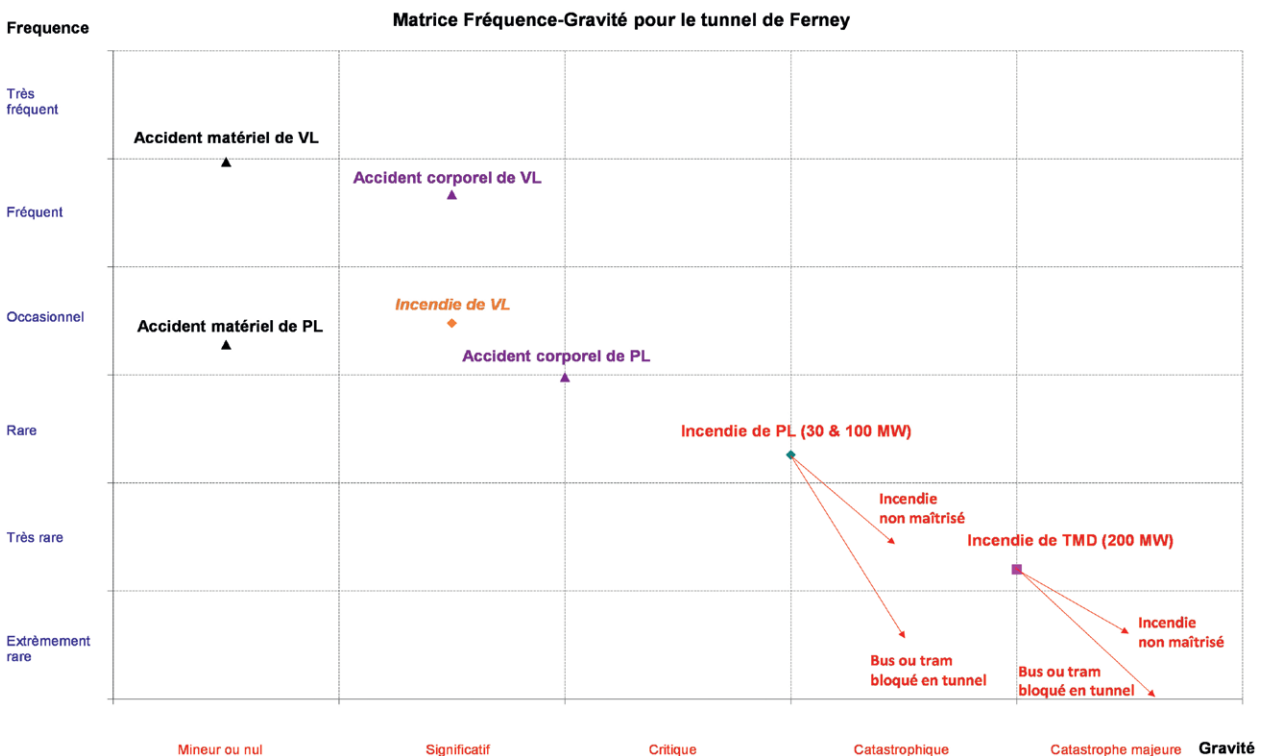
L'Étude de Dangers (EdD) [11] a pour objectif de :

- Décrire les événements susceptibles de se produire en phase d'exploitation, et évaluer la nature et l'importance de leurs conséquences potentielles
- Identifier les mesures propres à réduire la probabilité que ces accidents surviennent et leurs conséquences

Il s'agit d'une démarche transversale reposant sur une approche par scénarios. Par cette approche systémique, l'EdD permet de :

- Vérifier la cohérence et le bien-fondé du concept de sécurité
- Vérifier l'absence de lacune sur le plan de la sécurité
- Apporter des recommandations complémentaires vis-à-vis des consignes d'exploitation et des procédures prévues en concertation avec les pompiers lors d'événements (incendie, accidents graves)

Les scénarios considérés dans l'EdD sont présentés dans une matrice Fréquence x Gravité (fig. 4).



4 Matrice Fréquence Gravité pour la TC de Ferney

La tranchée couverte de Ferney • Un ouvrage aux multiples spécificités

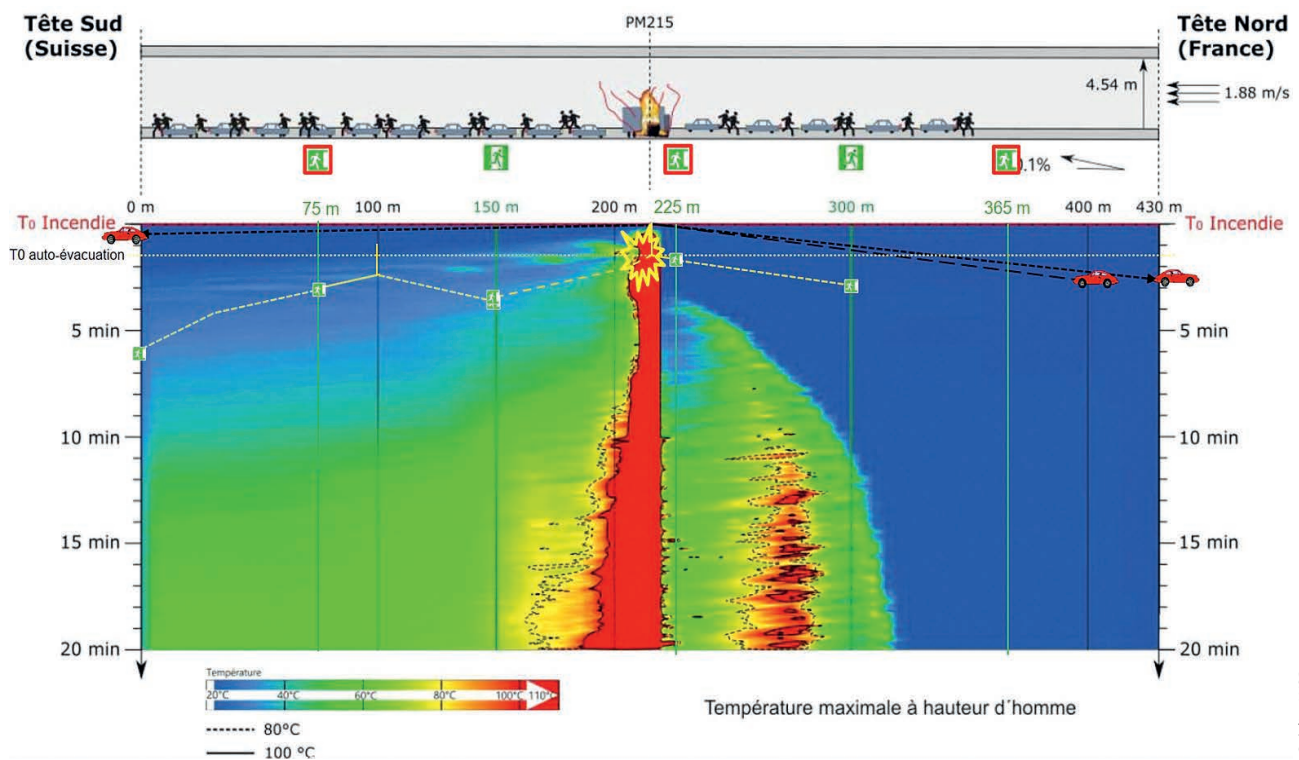
Les scénarios d'incendie de PL (tableau 1) ont fait l'objet de modélisations à l'aide de logiciels 3D dédiés pour analyser la propagation des fumées dans l'ouvrage et dans le temps, ainsi que l'évolution des conditions de survie en tunnel (température, toxicité, visibilité...) (fig. 5).

Scénario	Puissance	Position du foyer par rapport au portail Nord (côté douane)	ΔP (France vers Suisse)*	Trafic Suisse vers France (véhicule / heure)	Trafic France vers Suisse (véhicule / heure)	Présence tram bloqué
1	30 MW	215 m (centre)	5 Pa	1240	600	Non
1 b	30 MW	215 m	5 Pa	1240	600	Oui
2	30 MW	215 m	20 Pa	1240	600	Non
3	100 MW	215 m	5 Pa	1240	600	Non
4	200 MW	215 m	5 Pa	1240	600	Non
5	200 MW	215 m	0 Pa	1240	600	Non

Crédit : WSP

* Différence de pression atmosphérique entre les 2 portails

Tableau 1 Scénarios modélisés pour le tube de Ferney et pour le tube douanier

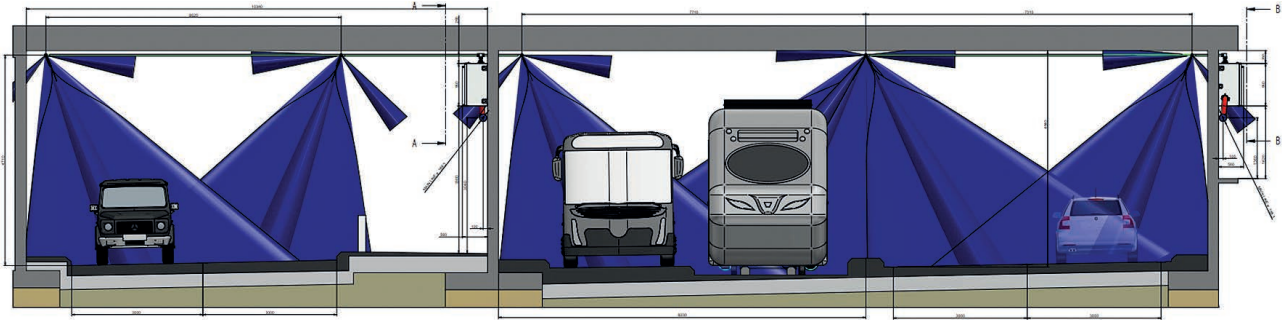


Crédit : WSP

5 Exemple de résultat produit dans le cadre de l'EdD et présentant les conditions d'évacuation dans le tube de Ferney (cas d'un incendie de poids lourds au centre)

L'EdD a permis de conclure que les travaux proposés dans le concept de sécurité de la TC de Ferney conduisent à une situation satisfaisante vis-à-vis de la sécurité dans son exploitation future (les scénarios étudiés correspondent à des situations globalement majorantes). Les 2 tubes ont été étudiés, ainsi que leurs interactions (l'un servant de voie de fuite à l'autre en cas d'incendie).

Bien que le niveau de sécurité soit satisfaisant sans le système d'aspersion par brouillard d'eau (qui a pour but de protéger la structure de l'ouvrage au feu), ce système représente également une forte plus-value vis-à-vis de la sécurité des usagers, via la réduction significative de la puissance de l'incendie et donc de la température et de la toxicité des fumées (fig. 6).



Crédit : Fournisseur

6 Illustration de l'aspersion par brouillard d'eau dans la TC de Ferney

2.3 Analyse de risques TMD

Les conséquences d'un accident TMD en tunnel sont très différentes de celles d'un accident à l'air libre. Il y a donc nécessité de réaliser une évaluation des risques en tunnel par un modèle dédié.

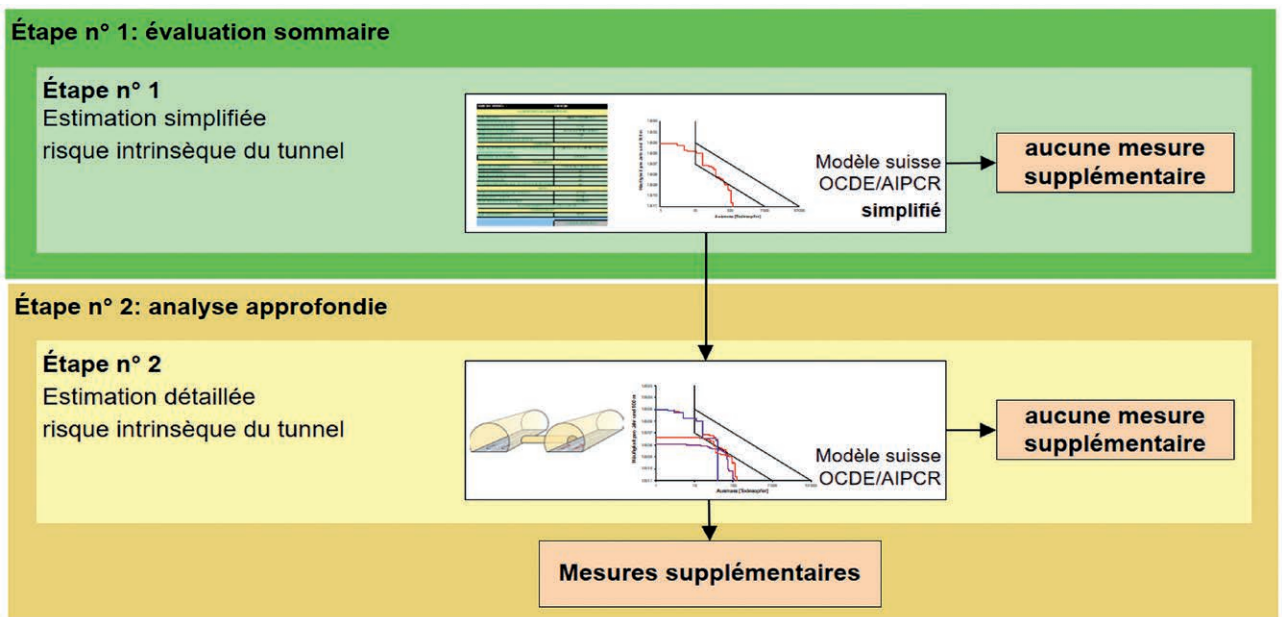
Le modèle « OECD/PIARC Modèle Suisse » [12] a été développé pour le compte de l'OFROU (développement WSP) dans le but de pouvoir évaluer quantitativement ces risques, les comparer à des critères d'acceptabilité, et *in fine* de statuer sur le régime d'autorisation des marchandises dangereuses selon la réglementation ADR internationale [13]. Pour cela, 5 catégories de restriction TMD sont possibles (tableau 2).

Catégorie de tunnel	Restrictions
A	Aucune restriction au transport des marchandises dangereuses
B	Restrictions concernant les marchandises dangereuses susceptibles de provoquer une explosion très importante
C	Restrictions concernant les marchandises dangereuses susceptibles de provoquer une explosion très importante, une explosion importante ou une fuite importante de matières toxiques
D	Restrictions concernant les marchandises dangereuses susceptibles de provoquer une explosion très importante, une explosion importante, une fuite importante de matières toxiques ou un incendie important.
E	Restrictions concernant toutes les marchandises dangereuses hormis les numéros ONU 2919, 3291, 3331, 3359 et 3373

Crédit : OFROU

Tableau 2 Catégories de tunnel selon l'ADR

Comme chaque pays signataire, la Suisse peut choisir ses propres critères et méthodologie pour définir la catégorie de ses tunnels [14] et [15]. La méthode retenue par l'OFROU [12] est présentée sur la fig. 7.



Crédit : OFROU

7 Procédure d'analyse et d'évaluation des risques lors du transit de marchandises dangereuses dans les tunnels routiers

Cette méthode a été appliquée à la TC de Ferney pour s'assurer qu'elle peut être autorisée au trafic TMD y compris dans son état actuel, ce qui a été confirmé.

Dans sa configuration future, les calculs menés ont conduit à conclure que le risque TMD dans l'ouvrage est également acceptable (compte tenu notamment des dispositions de sécurité et du faible trafic TMD dans la TC).

3 Plan d'Intervention et de Sécurité (PIS)

3.1 Enjeux et modalités de réalisation

L'élaboration du plan d'intervention comprend de nombreux enjeux d'exploitation et d'intervention pour cet ouvrage complexe et faisant interagir de multiples acteurs :

- Ouvrage bi-exploité par le Canton de Genève et les TPG, appartenant à GVA
- Coordination nécessaire entre les pompiers aéroportuaires et cantonaux
- Ouvrage comprenant une frontière (interface avec la douane)
- Utilisation appropriée du système d'aspersion

Des ateliers de travail réunissant tous les acteurs ont permis d'établir le PIS de la TC de Ferney (route douanière comprise) selon 3 horizons ou états de référence :

- État actuel
- État pendant travaux
- État futur

L'objectif est de définir les moyens de secours et leur coordination, et de spécifier les principes de gestion des événements. Un PIS doit être établi pour chaque phase (état actuel / travaux / exploitation future) pour disposer d'un document opérationnel en toutes circonstances et selon les spécificités d'exploitation.

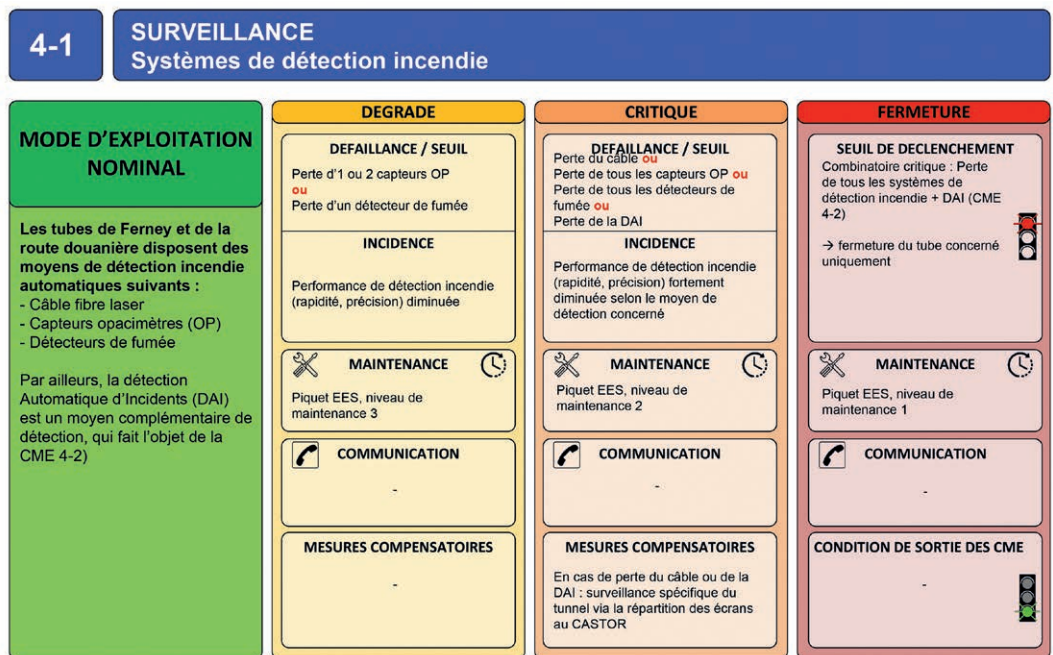
3.2 Documents opérationnels

Plus particulièrement, les schémas suivants ont été établis de manière collégiale :

- Schéma d'alerte : garantir la transmission des informations entre les acteurs et l'accès rapide des services de secours publics
- Tableaux Synoptiques des Actions (TSA) : synthétiser et planifier les coordinations et actions à conduire par chaque acteur, selon la nature des événements
- Logigramme et chronogramme relatifs au déclenchement de l'aspersion afin de s'assurer que celui-ci ne soit pas mis en œuvre à tort ou trop tardivement
- Conditions Minimales d'Exploitation (CME) : définir pour chaque équipement technique des seuils de dysfonctionnement acceptables ou non pour l'exploitation de l'ouvrage en toute sécurité,

ainsi que des mesures compensatoires et des niveaux d'urgence pour la maintenance (fig. 8).

La réalisation d'un ou plusieurs exercices permettra de tester la mise en œuvre du PIS et de la coordination entre les différents intervenants, afin d'adapter le PIS le cas échéant.



Crédit : WSP

8 Exemple de Condition Minimale d'Exploitation dans la TC de Ferney

Références

- [1] Norme SIA 197:2004, Projets de tunnel, bases générales
- [2] Norme SIA 197/1:2019, Projets de tunnel, tunnels ferroviaires
- [3] Norme SIA 197/2:2004 Projets de tunnel, tunnels routiers
- [4] Directive OFROU13001 « Ventilation des tunnels routiers, Choix du système, dimensionnement et équipement », Édition 2008, V2.03
- [5] Directive OFROU 13004 « Détection des incendies dans les tunnels routiers », Édition 2007, V2.10
- [6] Directive OFROU 13010 « Signalisation des dispositifs de sécurité dans les tunnels routiers », Édition 2011, V2.07
- [7] Directive OFROU 13015 « Installations d'éclairage », Édition 2017, V1.12
- [8] Directive OFROU 15003 « Gestion du trafic sur les routes nationales (directive-cadre VM-NS) », Édition 2016, V2.01
- [9] Manuel technique OFROU 23001 « Équipements d'exploitation et de sécurité », Édition janvier 2021
- [10] Directive OFT « Exigences de sécurité pour les tunnels ferroviaires existants », 10/08/2009
- [11] Fascicules du guide des dossiers de sécurité des tunnels routiers du CETU
- [12] Documentation OFROU 84002 « Transport de marchandises dangereuses dans les tunnels routiers – Analyse et évaluation des risques encourus par les personnes », Édition 2023, V2.01
- [13] Accord Européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route, version en vigueur le 1^{er} janvier 2021
- [14] Ordonnance relative au transport des marchandises dangereuses par route du 29 novembre 2002 (SDR) - 741.621, état au 1^{er} janvier 2021
- [15] Ordonnance pour la protection des accidents majeurs du 27 février 1991 (OPAM), 814.012

DONNÉES DU PROJET

Région

Canton de Genève, à Frontière franco-suisse (Ferney-Voltaire côté France, Le Grand-Saconnex côté Suisse)

Client

Genève Aéroport

Design, supervision de chantier et gestion globale

- WSP
- T Ingénierie

Données clés

Construction period: Fin des années 1950
Start of operations: 2025
Construction costs: CHF 25 Mio.
Length: 430 m

Caractéristiques

Tunnel avec système d'aspersion – Exploitation mixte – Coordination entre 2 services d'intervention – Congestion récurrente - Frontière douanière à l'intérieur du tunnel

Raphaël Defert, Tunnel Safety Expert, WSP, Lausanne, Switzerland

The Ferney cut-and-cover tunnel

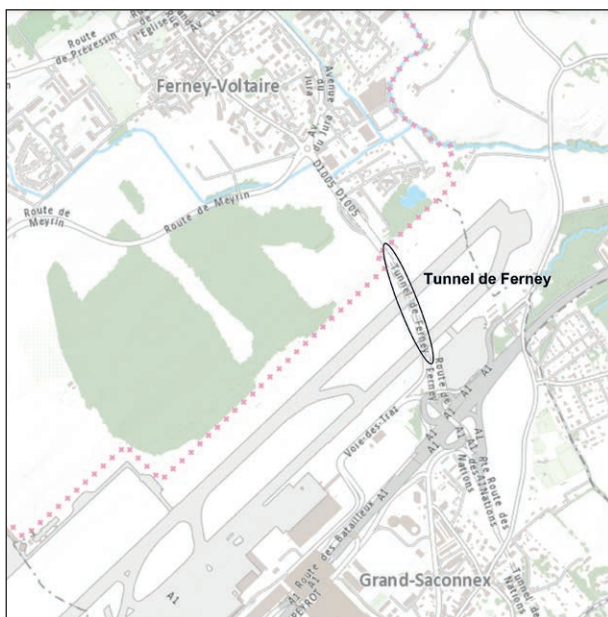
A project with several specific challenges

In a few years' time, the Ferney Tunnel, which is operated by the Canton of Geneva, owned by Geneva Airport and located on the French-Swiss border, will be used for both road and tram traffic. One of the main requirements for this project involves reviewing the structure's safety concept – particularly with regard to fire hazards. Since the tunnel is located underneath the airport's runways, business continuity issues are also critical (i.e., the tunnel's fire resistance).

1 Project presentation

1.1 Historic and administrative aspects

Situated under the Geneva Airport (GVA) runways, close to the French-Swiss border, the Ferney cut-and-cover tunnel (CCT) is 430 m long. It was built in the late 1950s to provide a link between Geneva and Ferney-Voltaire, a commune across the border in France, while allowing the airport to expand (Fig. 1). This was originally a cantonal project, but its ownership has since been



Credit: WSP

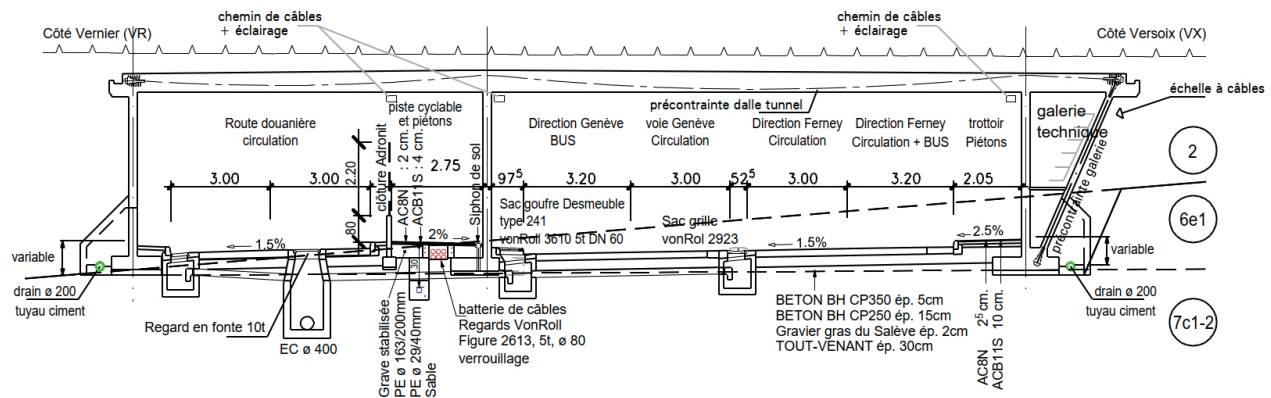
1 Geographical situation of the Ferney CCT

transferred to the GVA. Its operation remains cantonal. Two emergency services work together in the event of an incident: the cantonal fire department and the GVA response teams.

At present, the structure consists of two tunnels both with two-way traffic:

- The Ferney Tunnel: Two lanes in each direction, including one reserved for buses and cabs, customs transit and the N1 motorway
- The customs tunnel: One lane in each direction, serving the French GVA zone from Ferney-Voltaire, without crossing customs. This tunnel also has a dedicated area for alternative mobility (a bicycle path and pedestrian walkway), which is separated from the road by a customs fence.

There are two emergency exits between the two tunnels so that, in the event of fire in one tunnel, the other tunnel can be used as a fire escape area (Fig. 2).



2 Profile of the structure in its current state

Credit: T Ingénierie

Der Ferney-Tagbautunnel

Ein Bauwerk mit mehreren besonderen Merkmalen

Das Strassenbahnausbauprojekt bot die Gelegenheit, den Ferney-Tunnel zu sanieren und die Betriebskontinuität im Falle eines Ereignisses (z. B. eines Brandes) zu gewährleisten, sowohl für den Tunnel selbst als auch für die darüber liegenden Landebahnen des Flughafens. Die Installation einer Wassernebel-Sprinkleranlage wird eine der grössten Herausforderungen sein: Es ist das erste Mal, dass ein Tunnel in der Schweiz mit einem solchen System ausgestattet wird. Alle Beteiligten (Betreiber, Eigentümer, Rettungsdienste) erstellten gemeinsam einen Interventions- und Sicherheitsplan, der auf jede Phase des Projektes abgestimmt ist.

Il tunnel a cielo aperto del Ferney

Una costruzione dai numerosi e particolari tratti

Questo progetto di ampliamento tranviario ha offerto l'opportunità di rinnovare il tunnel del Ferney e di garantire continuità operativa in caso di incidente (p. es. incendio), sia per il tunnel stesso che per le piste dell'aeroporto che si trovano al di sopra. L'installazione di uno sprinkler ad acqua nebulizzata sarà una delle maggiori sfide del progetto (il primo tunnel in Svizzera dotato di un tale sistema). Il progetto ha permesso a tutte le parti interessate (gestore, proprietario, servizi di soccorso) di incontrarsi e di elaborare un piano d'intervento e di sicurezza in armonia con ogni fase del progetto.

1.2 Traffic and challenges

In 2019, traffic levels amounted to 22,800 vehicles per day, of which 2% were heavy goods vehicles (HGVs). Even though it's not very long, the Ferney CCT represents a major economic challenge – with its substantial cross-border traffic. Closing the tunnel would cause severe congestion on secondary roads, which are already saturated with commuter traffic.

The Ferney CCT is authorised for transporting dangerous goods (TDG), but the number of TDG vehicles is very low according to a survey carried out in 2021 (less than one vehicle per day on average).

1.3 Construction methods and airport interfaces

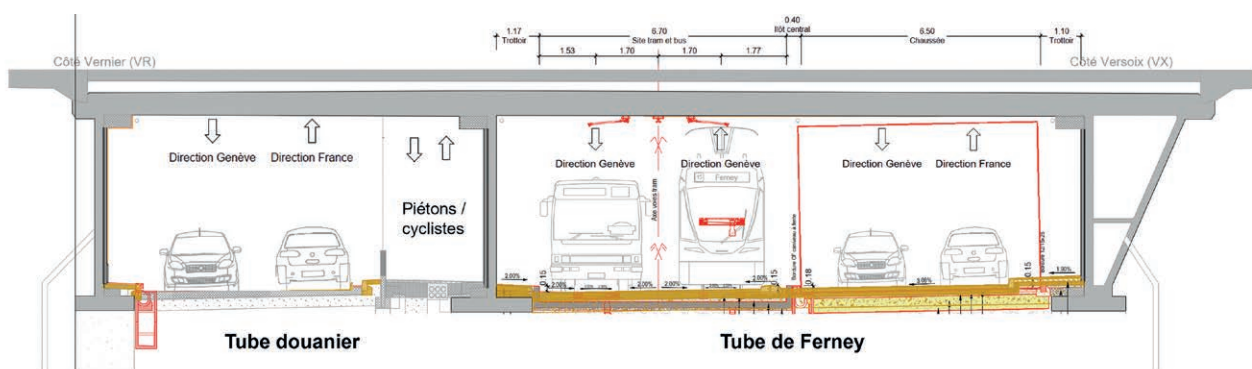
The structure is made of reinforced and pre-stressed concrete, originally built to support the weight of the land cover, the taxiway slabs and the airport runway above.

Over the years, the CCT's load-bearing slab has been doubled (1986) and then reinforced (2007) to guarantee the passage of 600-tonne aircrafts. The structure's fire resistance, as well as the continued operation of the tunnel and the GVA, are therefore major issues to work with.

1.4 Future use

As part of the Nations-Grand-Saconnex tramway project, the Ferney CCT is set to accommodate a mix of road, tram and bus traffic. Two of the four existing traffic lanes will be dedicated to Geneva Public Transport (TPG) (Fig. 3). This concept is part of the incentive to create different types of environmentally-friendly transport infrastructure in France and to serve new residential and business areas in Ferney-Voltaire.

This substantial change in operations raises questions about safety, particularly with regard to fire risks and evacuation issues – especially given the potential increase in the number of people in the tunnel in certain circumstances.



3 Profile of the structure in its planned state by 2025

Credit : T Ingénierie

2 Designing a safety improvement programme based on a global safety analysis approach

The tramway development project has provided an opportunity to assess the overall safety of the structure in order to define a comprehensive and consistent renovation programme. The goal is to develop a coherent, cross-functional vision that incorporates both modes of transport and their specific operating characteristics.

A safety analysis approach has been applied to people (to identify the best safety measures for reducing the occurrence and severity of potential incidents) and operating issues (incidents analysed in terms of their social and economic impact).

These two approaches complement each other and have resulted in a coherent, rational programme that will ensure the highest possible level of safety for the planned structure – even during its construction phase (site operations).

As part of the federal planning approval procedure for the tramway, it was therefore agreed to carry out the following:

- A safety concept for the two tunnels as part of renovation work
- A Hazard Analysis, including modelling and simulating fire scenarios (smoke propagation and emergency evacuation), to validate the safety concept and make additional recommendations.
- A TDG risk analysis to quantitatively assess the level of risk corresponding to the tunnel's current and future condition. The goal is to confirm the structure's approval for transporting dangerous goods.

These elements will be presented in the following sections.

2.1 Safety concept

First, a regulatory comparison was carried out with the relevant technical standards to identify discrepancies and, therefore, possible safety provisions to be incorporated in the project.

SIA Standards 197 (tunnels) [1], 197-1 (railway tunnels) [2] and 197-2 (road tunnels) [3] provide the basis for underground construction projects in terms of the construction itself, environment and safety. Although they concern planned tunnels and not tunnels in operation, these standards can be used as technical benchmarks for tunnels in operation, hence their relevance for the Ferney CCT. The FEDRO (Federal Roads Office) [4] - [9] and FOT (Federal Office of Transport) [10] Standards were also used as a basis for defining the safety provisions to be included.

In concrete terms, all possible provisions relating to civil engineering and equipment provided for by these road and rail standards will be incorporated into the CCT in its final state – with mixed traffic operation. In addition, certain safety provisions will go beyond the requirements of these technical standards (for example, the number of emergency exits, dynamic exit signage, etc.).

As a result of the CCT'S profile change and the new type of traffic planned, the new challenges coming to light mainly concern the following points:

- Adapting current equipment to ensure the tunnel remains 100% operational and suited to future traffic (e.g., lighting, signalling, video surveillance).
- The potential risk of a tram stopping at an emergency exit in the event of an incident, which could restrict and/or lengthen the emergency route for road users, or even prevent them from seeing certain exits. Wherever possible, TPG tram or bus exits will be included in TPG operating instructions in the event of an incident. Enhanced signage for exits (illuminated arrows on both sides) will help improve visibility.
- The risk of dual traffic operation in the CCT. It is vital that, in the event of an incident, traffic is stopped at the gates for all vehicles in order to limit the number of people in the CCT as much as possible and to facilitate emergency evacuation.
- The risk of recurring road congestion within the structure (an aggravating factor in the event of fire), potentially linked to the reduction in the number of road lanes for traffic levels similar to current levels (currently, taxis and motorised two-wheelers use the lanes reserved for buses, which will no longer exist).

These analyses have also made it possible to examine issues that are not specific to the future mixed-traffic operation concept, such as the structure's fire resistance, which is not linked to introducing the tramway.

The Ferney cut-and-cover tunnel • A project with several specific challenges

The safety concept drawn up for the two tunnels has made it possible to prepare a construction programme that addresses the various issues inherent in the CCT, whether or not they relate to the future mixed-traffic operation concept. The main construction projects are as follows:

- Adapting the principle of collecting effluent from roadways and the tramway/bus platform (potentially hydrocarbons or toxic materials) and installing a slotted gutter with siphonic manholes to limit the size of a hydrocarbon slick in the event of accidental spillage
- Lowering the current height of the tunnel shoulder (wheelchair accessibility)
- Adding three emergency exits, limiting the distance between exits to 75 m and ensuring that existing exit doors comply with fire regulations
- Reinforcing signage at these exits
- Installing closing barriers at the entrances to the two tunnels
- Adding smoke detectors
- Installing ventilation in the technical gallery
- Resetting the AID (Automatic Incident Detection) system and adapting the monitoring system
- Adding a leaky feeder cable for radio communications (operators, emergency services and radio messages for tunnel users)
- Fire protection for the building structure (installing protective plates under the slabs)
- Setting up a water mist sprinkler system

2.2 Hazard Analysis

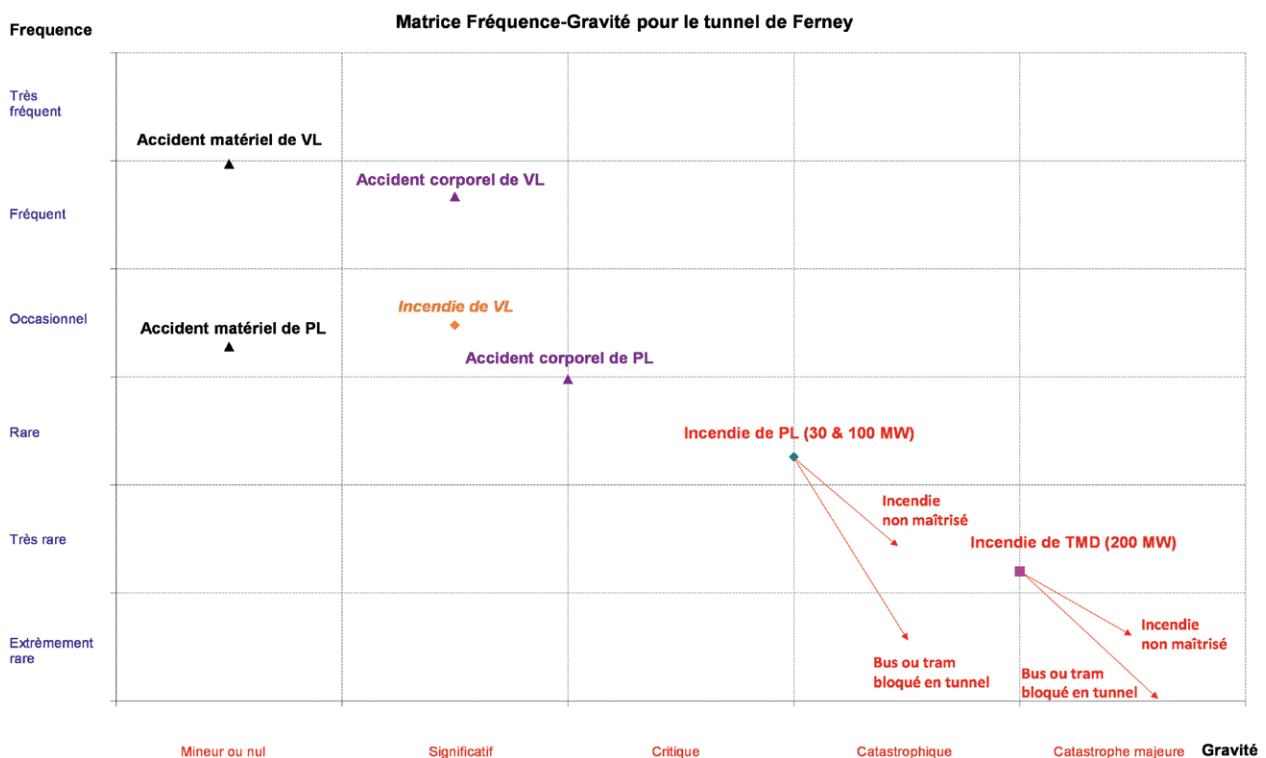
The Hazard Analysis (HA) [11] aims to:

- Describe incidents likely to occur during the operating phase and assess the nature and significance of their potential consequences
- Identify measures to reduce the probability of these incidents and their consequences from occurring

This is a cross-functional, scenario-based approach. Using this systemic approach, the HA ensures:

- The consistency and validity of the safety concept is verified
- There are no safety deficiencies
- The provision of additional recommendations on operating instructions and procedures in consultation with the fire brigade during incidents (fire, serious accidents)

The scenarios considered in the HA are presented in a Frequency x Severity Matrix (Fig. 4).



4 Frequency x Severity Matrix for the Ferney CCT

The Ferney cut-and-cover tunnel • A project with several specific challenges

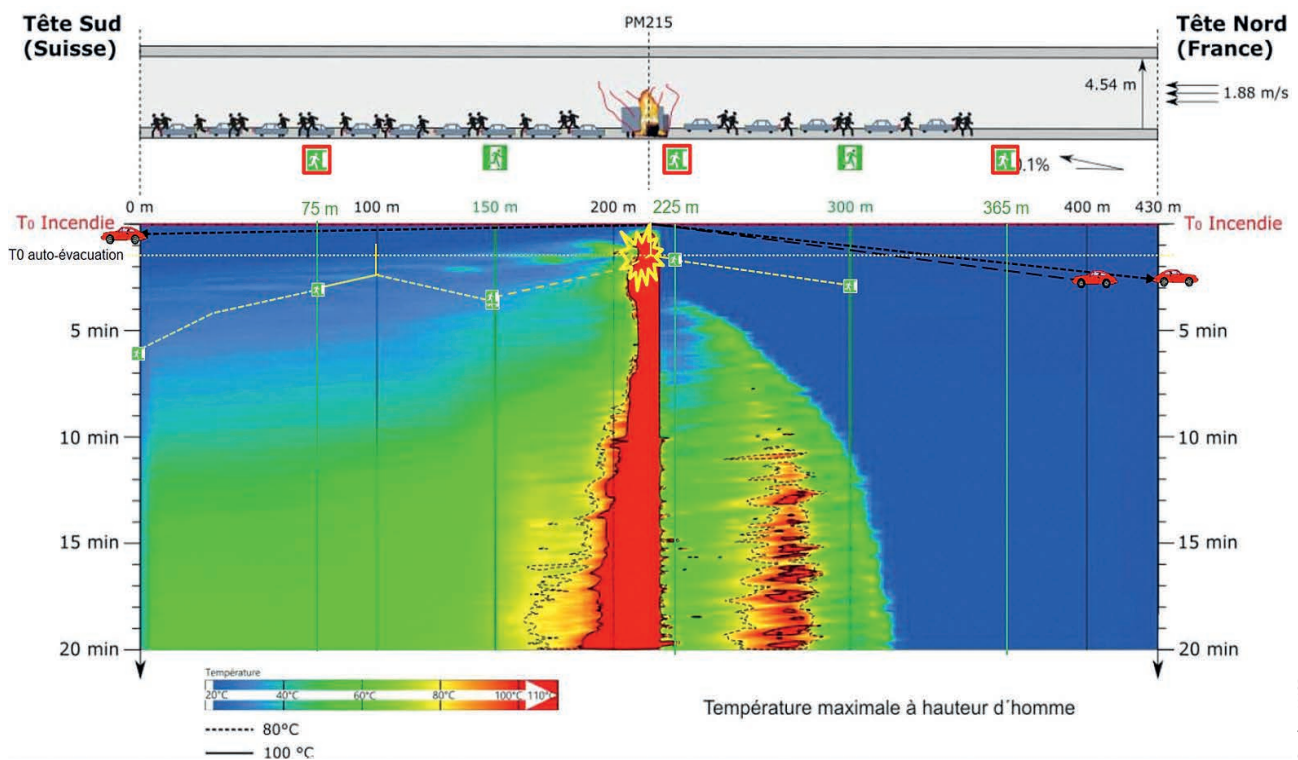
The HGV fire scenarios (Table 1) were modelled using dedicated 3D software to analyse smoke propagation within the structure at any given moment and over time, as well as changes in survival conditions within the tunnel (temperature, toxicity, visibility, etc.) (Fig. 5).

Scenario	Power	Position of potential fire in relation to north gate (customs side)	ΔP (from France to Switzerland)*	Traffic from Switzerland to France (vehicles per hour)	Traffic from France to Switzerland (vehicles per hour)	Blocked tramway
1	30 MW	215 m (centre)	5 Pa	1240	600	No
1 b	30 MW	215 m	5 Pa	1240	600	Yes
2	30 MW	215 m	20 Pa	1240	600	No
3	100 MW	215 m	5 Pa	1240	600	No
4	200 MW	215 m	5 Pa	1240	600	No
5	200 MW	215 m	0 Pa	1240	600	No

Credit : WSP

* air pressure difference between the two portals

Table 1 Modelled scenarios for the Ferney Tunnel and the customs tunnel



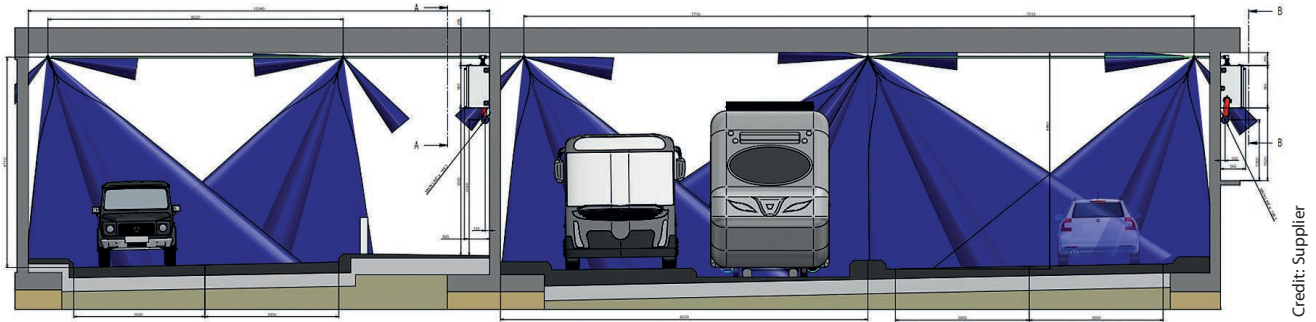
Credit : WSP

5 Example of a result produced within the HA framework presenting evacuation conditions in the Ferney Tunnel (in case of an HGV fire in the middle).

The HA concluded that the work proposed in the Ferney CCT safety concept will lead to a satisfactory safety situation in its future operation (the scenarios studied correspond to major overall situations). The two tunnels and their interactions (one serving as an escape route for the other in the event of a fire) were studied.

Although the safety level is satisfactory without a water mist sprinkler system (which is designed to protect the structure from fire), this system also represents significant added value in terms of tunnel user safety by significantly reducing the strength of a fire and, therefore, the temperature and toxicity of smoke (Fig. 6).

The Ferney cut-and-cover tunnel • A project with several specific challenges



Credit: Supplier

6 Illustration of water mist sprinklers in the Ferney CCT

2.3 TDG risk analysis

The consequences of a TDG accident in a tunnel are very different from those of an accident in the open air. It is therefore necessary to carry out a tunnel risk assessment using a specific model.

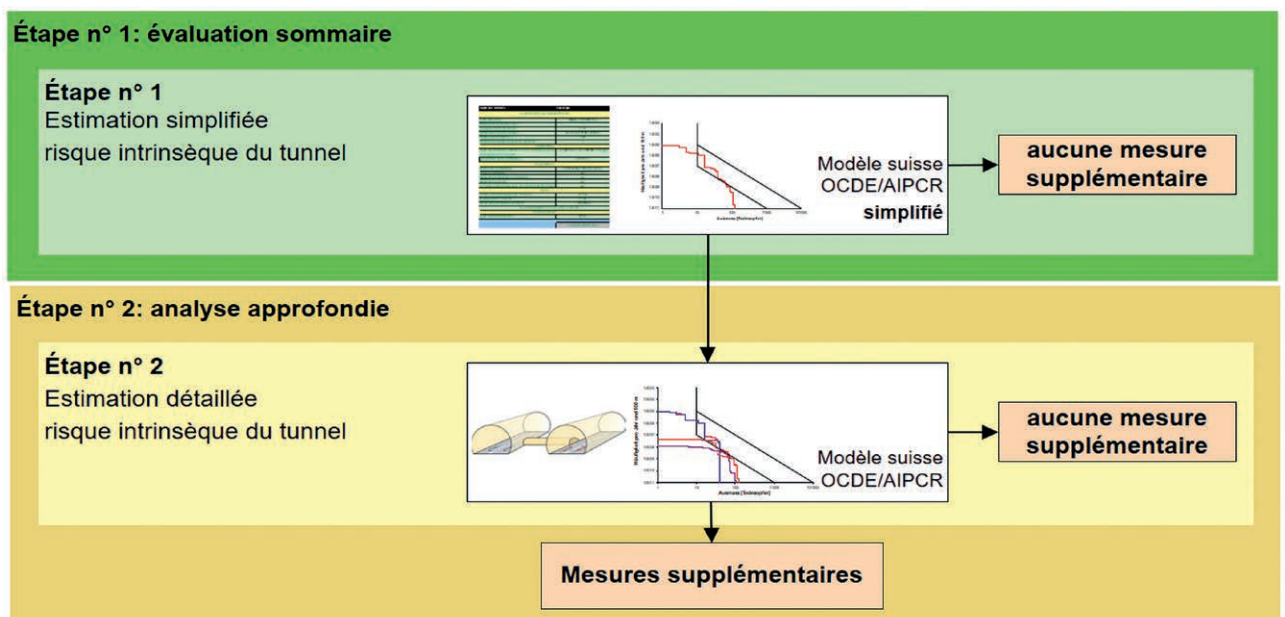
The “OECD/PIARC Swiss Model” [12] was developed on behalf of FEDRO (WSP development) in order to be able to quantitatively assess these risks, compare them with acceptability criteria, and ultimately decide on the authorisation regime for dangerous goods in accordance with international Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road (ADR) regulations [13]. To achieve these objectives, five TDG restriction categories can be implemented (Table 2).

Tunnel category	Restrictions
A	No restrictions apply to transporting dangerous goods
B	Restrictions on dangerous goods that could cause a very large explosion
C	Restrictions on dangerous goods that could cause a very large explosion, a large explosion or a large discharge of toxic substances
D	Restrictions on dangerous goods that could cause a very large explosion, a large explosion, a large toxic leak or a large fire.
E	Restrictions on all dangerous goods except UN numbers 2919, 3291, 3331, 3359 and 3373

Credit: FEDRO

Table 2 Tunnel categories according to ADR

Like each other signatory country, Switzerland can choose its own criteria and methodology for defining the category of its tunnels [14] and [15]. The method used by FEDRO [12] is shown in Fig. 7.



Credit: FEDRO

7 Risk analysis and assessment procedure for transporting dangerous goods through road tunnels

The Ferney cut-and-cover tunnel • A project with several specific challenges

This method was applied to the Ferney CCT to ensure that it could be authorised for TDG traffic even in its current state – which was confirmed.

In its future state, the calculations carried out have led to the conclusion that TDG risk in the structure is also acceptable (particularly in view of the safety provisions and the low level of TDG traffic in the CCT).

3 Intervention and Safety Plan (ISP)

3.1 Challenges and implementation methods

Drawing up the intervention plan for such a complex structure involves a number of operational and intervention issues, which requires the interaction of many different parties:

- The Canton of Geneva and TPG, which operate the structure, and GVA, which owns it
- Airport and cantonal fire brigades, which need to work together to combat potential incidents
- Border control within the structure (interface with customs)
- Proper use of the sprinkler system

Workshops bringing together all of these parties have made it possible to draw up the Ferney CCT ISP (including the customs road) according to three timeframes, or, reference statuses:

- Current status
- Status during construction
- Future status

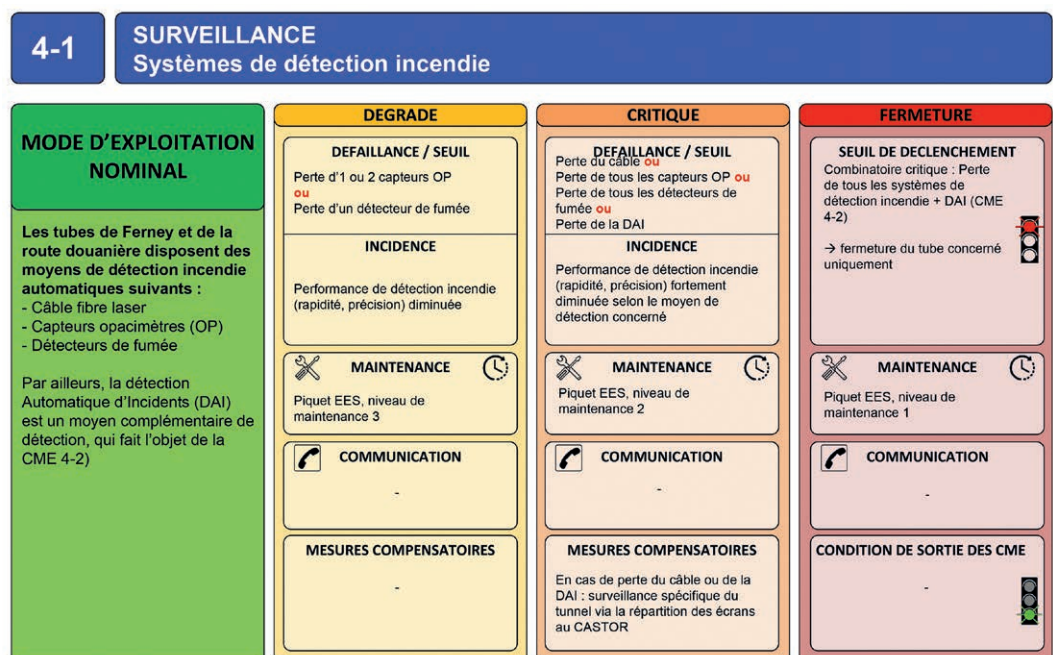
The ultimate goal is to define and coordinate emergency resources and to specify the principles of managing incidents. An ISP must be drawn up for each phase to ensure that the document is operational in all circumstances and in accordance with the specific operating conditions.

3.2 Operational documents

In particular, the following schemes have been drawn up in a collaborative manner:

- Warning system: guarantees the transmission of information between all parties involved and rapid access for public emergency services
- Synoptic Tables of Action: summarise and plan coordination and actions to be taken by each party, depending on the nature of the incident.
- A flow chart and timetable to trigger the sprinkler system to ensure that it is not implemented incorrectly or triggered too late.
- Minimum Operating Conditions: defining, for each piece of technical equipment, acceptable or unacceptable malfunction thresholds for the safe operation of the structure, as well as compensatory measures and emergency maintenance levels (Fig. 8).

Conducting one or more of these exercises will allow us to test the implementation of the emergency response plan and coordination between the various parties involved so that the plan can be adapted if necessary.



8 Example of a Minimum Operating Condition in the Ferney CCT

References

- [1] SIA Standard 197:2004, Tunnel projects, general principles
- [2] SIA Standard 197/1:2019, Tunnel projects, railway tunnels
- [3] SIA Standard 197/2:2004, Tunnel projects, road tunnels
- [4] FEDRO Directive 13001 "Ventilation of road tunnels, System selection, dimensioning and equipment", 2008 Edition, V2.03
- [5] FEDRO Directive 13004 "Fire detection in road tunnels", 2007 edition, V2.10
- [6] FEDRO Directive 13010 "Safety signage in road tunnels", 2011 edition, V2.07
- [7] FEDRO Directive 13015 "Lighting installations", 2017 edition, V1.12
- [8] FEDRO Directive 15003 "Traffic management on national roads (Framework Directive VM-NS)", 2016 edition, V2.01
- [9] FEDRO Technical Manual 23001 "Operating and safety equipment", January 2021 edition
- [10] FOT Directive "Safety requirements for existing railway tunnels", 10 August 2009
- [11] CETU (Centre for Tunnel Studies) guide to road tunnel safety files
- [12] FEDRO Documentation 84002 "Transporting dangerous goods in road tunnels – Analysis and evaluation of risks to people", 2023 edition, V2.01
- [13] European Agreement concerning the International transport of dangerous goods by road, version in force on 1 January 2021
- [14] Ordinance on transporting dangerous goods by road, dated 29 November 2002 (SDR) – 741.621, status as of 1 January 2021
- [15] Ordinance on protection against major accidents, dated 27 February 1991 (OPAM), 814.012

PROJECT DATA

Region

Canton of Geneva, on the French-Swiss border (Ferney-Voltaire on the French side, Le Grand-Saconnex on the Swiss side)

Client

Geneva Airport

Design, site supervision and overall management

- WSP
- T Engineering

Key data

Construction period: End of the 1950s
Start of operations: 2025
Construction costs: CHF 25 million
Length: 430 m

Special features

Tunnel with sprinkler system - Mixed-traffic operation - Coordination between two emergency services - Recurring congestion - Customs border inside the tunnel

Réalisation du Tunnel des Pyramides • Entreprise générale ou totale : solution pour les travaux souterrains ?

*Alain Métrailler, Ing. Civil EPFL / Entrepreneur diplômé, Dénériaz Groupe Holding, Sion, CH
Dr Vincent Pellissier, Ing. civil EPFL / SIA, Ingénieur cantonal, État du Valais, Sion, CH*

Réalisation du Tunnel des Pyramides

Entreprise générale ou totale : solution pour les travaux souterrains ?

L'État du Valais a mis en soumission un tunnel d'une longueur d'environ 120 m, situé sous les Pyramides d'Euseigne, site classé au patrimoine national suisse. Prévu en entreprise générale, l'appel d'offre incluait cependant une partie de la conception. Sa réalisation a duré 18 mois, de la convention d'utilisation à son ouverture, performance rendue possible par sa réalisation en entreprise générale avec projet d'exécution.

1 L'ouvrage

1.1 Le site

Les Pyramides d'Euseigne constituent un site géologique exceptionnel, classé depuis 40 ans site d'importance nationale. Connues sous le nom de « Demoiselles Coiffées » ou « cheminées des Fées », ces formations géologiques résultent de l'érosion de moraines, avec des parties protégées par la présence de blocs appelés coiffes ou chapeaux, ayant ainsi permis la formation des Pyramides actuelles âgées de 10 000 ans.

La route cantonale traverse le site au travers d'un tunnel étroit et en courbe. Le passage des véhicules lourds et les vibrations occasionnées risquent de déstabiliser les coiffes.

Le site étant de plus en plus visité, les conflits entre trafic et visiteurs augmentent et la sécurité devient problématique.



1 Photo du site et de l'ancien tunnel

Crédit : Cedric Pralong, Dénériaz Groupe Holding, Sion

Bau des Pyramidentunnels

Ist General- oder Totalunternehmung die Lösung für den Untertagebau?

Die Planung und Realisierung des Bauwerks in nur 18 Monaten war in erster Linie durch die Umsetzung als Generalunternehmerprojekt möglich, vor allem aber auch durch die effiziente Zusammenarbeit der verschiedenen Akteure. Die Bauarbeiten verliefen zur Zufriedenheit aller Beteiligten, die das Modell begrüßten und sich bereitklärten, es wieder anzuwenden. Im Ausschreibungsverfahren sollten jedoch die Besonderheiten des Generalauftrags besser berücksichtigt oder eine Ausschreibung für Totalunternehmer mit Teilkonzeption erwogen werden.

Costruzione dei tunnel piramidali

L'appalto generale o totale è la soluzione per la costruzione sotterranea

La pianificazione e realizzazione di un tale progetto in soli 18 mesi sono state rese possibili innanzitutto dalla scelta del modello dell'appaltatore generale con progettazione esecutiva, ma soprattutto dalla collaborazione efficiente dei vari soggetti coinvolti. Questo progetto edilizio si è svolto a soddisfazione dei partecipanti, i quali lodano il modello e si dichiarano pronti a riutilizzarlo. Tuttavia, le procedure di gara devono meglio integrare le peculiarità del modello dell'appaltatore generale con progettazione esecutiva o optare per una gara d'appalto con appalto totale e progettazione parziale.

1.2 Le projet

Le projet consiste à corriger le tracé de la route cantonale sur 320 m en la déplaçant vers l'amont grâce au percement d'un tunnel d'environ 120 m. Le nouveau tracé, quasiment rectiligne et au gabarit respectant les normes actuelles, permet une fluidification du trafic.

L'ancien tracé d'environ 170 m sera rendu piétonnier pour les visiteurs et intégré dans un projet communal de mise en valeur du site.

2 L'appel d'offre

2.1 Dates clés de l'appel d'offre

L'appel d'offre a été publié le 12 mars 2021 et fixait une date de remise le 29 avril 2021.

La durée pour calculer l'offre était de 6 semaines, week-end de Pâques compris. Le délai a été prolongé de 5 semaines par suite de l'intervention de l'Association Valaisanne des Entrepreneurs.

Également par suite de cette intervention, des modifications des critères d'adjudication ont été décidées (moindre importance du prix dans la pondération et meilleure prise en compte des références et de l'expérience des mandataires).

9 semaines ont été nécessaires pour analyser les trois offres et une séance de clarification a été convoquée le 29 juillet 2021.

L'adjudication en faveur du Groupement Tunnel des Pyramides (GTP) est intervenue le 3 septembre 2021 (14 semaines après la rentrée des offres).

L'analyse des durées montre une disproportion entre le temps laissé initialement pour établir une offre forfaitaire comprenant l'étude et le dimensionnement des principaux éléments du projet et le temps consacré à l'analyse de l'offre et à l'adjudication. Du côté du MO, deux facteurs expliquent cette durée : premièrement, le soin apporté à l'évaluation technique, rendu nécessaire par la complexité plus grande de ce type d'appel d'offre, et deuxièmement, le respect strict de l'aspect procédural sous contrôle juridique du fait du manque d'expérience dans ce type de procédure. Ce travail a néanmoins été confirmé quant à sa justesse lors de la suite des procédures menant jusqu'à l'adjudication.

2.2 Dispositions de l'appel d'offre

L'appel d'offre décrivait le marché comme marché d'entreprise générale avec projet d'exécution et direction de travaux. Il n'était pas limitatif quant aux modalités d'exécution si ce n'est pour les points à caractère obligatoire décrits dans le cahier technique.

L'appel d'offre excluait les variantes de projet. Les variantes d'exécution étaient quant à elles admises mais devaient être rendues séparément.

Réalisation du Tunnel des Pyramides • Entreprise générale ou totale : solution pour les travaux souterrains ?

Sous « données techniques et prescriptions à respecter », il était notamment spécifié :

- La position des tranchées pour les portails est libre mais doit demeurer dans l'emprise prévue.
- La limite tunnel / tranchée est libre mais une couverture de 2 m minimum doit être garantie au droit du portail.
- Pour le tunnel, la méthode d'excavation sous voûtes parapluies est à respecter.

Il faut noter que l'appel d'offre prévoyait une rémunération de 15 000 CHF pour les offres recevables.

2.3 L'offre du Groupement

L'offre déposée par GTP correspondait aux spécifications à respecter avec des adaptations mineures. Les principales modifications par rapport au projet représenté sur les plans étaient :

- Tranchée couverte : section fermée à l'aide d'un radier au lieu de semelles filantes.
- Tranchée couverte : déplacement des transitions tunnel-tranchée aux deux portails.
- Voûtes parapluies : 11 voûtes de 8 m de longueur.
- Transfert de 6 tubes de la banquette côté montagne vers la banquette côté aval.
- Optimisation du système de drainage et de collecte des eaux.

Ces modifications faisaient partie de l'offre de base et étaient comprises dans le forfait proposé. GTP a en effet estimé que ces modifications appartenaient à la conception du projet d'exécution.

Les modifications suivantes, jugées comme étant des modifications de projet, ont été proposées séparément :

- Correction de l'axe du tracé au portail Euseigne de 50 cm vers l'aval pour éviter de refaire les terramurs existants.
- Correction des devers dans le tunnel.

Ces variantes de projet étaient proposées avec leur impact financier séparé du forfait de base.



2 Coiffe d'une « Demoiselle »

2.4 L'adjudication et le recours

Le tableau d'ouverture plaçait GTP au deuxième rang avec un montant de 9 156 282 CHF, plus de 50% au-dessus de l'offre du moins-disant. Un troisième soumissionnaire a rendu une offre légèrement supérieure à celle de GTP.

En date du 3 septembre 2021, le conseil d'État a exclu l'offre du moins disant et adjugé les travaux à GTP. Le motif de l'exclusion était le non-respect du cahier des charges, les voûtes parapluies ayant été partiellement supprimées. Ce mode d'exécution était une condition stricte exigée par le MO afin de limiter les risques de dégradation du site géologique. Le MO ne souhaitait pas prendre le risque d'endommager les Pyramides lors de l'exécution du tunnel.

Un recours contre cette exclusion a été déposé le 14 septembre 2021.

En date du 24 janvier 2022, le tribunal cantonal valaisan a rejeté le recours au motif que l'offre ne respectait pas l'exigence du cahier des charges. Subsidièrement, même en admettant que la suppression des voûtes parapluies pouvait constituer une variante d'exécution, l'absence d'offre de base contrevenait aux dispositions d'appel d'offre.

À noter que le tribunal cantonal s'est déterminé en environ 4 mois, fêtes de fin d'année comprises.

Réalisation du Tunnel des Pyramides • Entreprise générale ou totale : solution pour les travaux souterrains ?

3 La planification

3.1 Signature du contrat

La séance de lancement du chantier a eu lieu le 7 février 2022. À cette occasion, les variantes proposées par notre groupement ont été discutées.

L'optimisation des drainages, la modification de l'emplacement des tubes ainsi que la correction des dévers ont été acceptées.

Les modifications de l'emplacement des portails et les voûtes parapluies raccourcies ont été acceptées sous réserve de vérification des notes de calculs par le BAMO.

La modification du tracé a été refusée.

Le contrat a donc été signé le 25 avril 2022. Il prévoyait un percement fin novembre 2022 et une mise en service de l'ouvrage fin juin 2023, soit une durée de réalisation de l'ouvrage de 14 mois.

La modification du tracé a finalement été rediscutée et acceptée en cours de chantier. Une mise en place en urgence a dès lors été nécessaire.

3.2 Planification

La planification a démarré par la remise de la convention d'utilisation et la base de projet le 8 février 2022. Une première séance de projet a eu lieu le 25 mai 2022 avec le BAMO.

9 séances de projet ont eu lieu entre cette date et le 21 février 2023, soit environ une séance par mois. À aucun moment, l'avancée des travaux n'a été ralentie par l'élaboration du projet d'exécution et sa validation par le BAMO. Il y a lieu de saluer les efforts de tous les intervenants qui ont rendu cela possible, le lancement de l'étude du projet d'exécution et le début des travaux sur site n'étant séparés que de deux mois.

4 La réalisation des travaux

4.1 Principales quantités

• Longueur du tronçon traité	320 m
• Longueur de la tranchée Vex	26 m
• Longueur de la tranchée Euseigne	26 m
• Longueur du tunnel	88 m
• Section excavée	85 à 105 m ²
• Matériaux excavés	16 000 m ³
• Ancrages	1400 m
• Béton projeté	1600 m ³
• Tubes ROR voûtes parapluies	4130 m ³
• Béton	2800 m ³
• Acier d'armature	325 t
• Enrobés bitumineux	800 t

4.2 Durées de réalisation

Les travaux d'installation ont débuté sur site le 28 mars 2022 et le premier coup de pioche a été donné le 12 avril.

L'excavation du portail Vex s'est terminée le 3 juin (durée : 7.5 semaines).

La foration de la première voûte parapluie a débuté le 7 juin et le percement est intervenu le 14 novembre (durée : 17 semaines), ce qui représente un avancement de 5 m par semaine.

Le bétonnage des radiers du portail Vex et des semelles de fondation dans le tunnel s'est déroulé du 17 octobre au 7 décembre (durée : 6.5 semaines).

Le montage du coffrage de voûte a duré du 8 décembre jusqu'au 16 janvier 2023 (durée : 3 semaines).

Le premier bétonnage de voûte a dû être décalé au 3 février pour cause de températures hivernales très basses (-10°) et le dernier a eu lieu le 13 mars 2023 (durée : 5 semaines).

Réalisation du Tunnel des Pyramides • Entreprise générale ou totale : solution pour les travaux souterrains ?

Le bétonnage des tranchées couvertes a duré du 27 mars au 30 juin 2023 (durée : 15 semaines).

Une batterie de câbles non prévue sous le portail Euseigne a compliqué les travaux et nécessité la fermeture de la route cantonale du 1^{er} mai au 7 juin 2023, alors que le contrat prévoyait de maintenir la route ouverte en permanence.

Finalement, les aménagements intérieurs : drainages, banquettes, bordures, caniveaux, coffre de route, enrobés bitumineux, peinture du tunnel, marquage et équipement électromécanique ainsi que le raccordement au tracé ont été réalisés du 19 juin au 31 août 2023 (durée : 7 semaines).



Crédit : Cedric Pralong, Dénéniáz Groupe Holding, Sion

3 Début des bétonnages

Les installations de chantier ont été définitivement repliées le 15 septembre 2023 et le tunnel a été inauguré le 14 octobre 2023.

Par rapport au contrat, la durée des travaux a été prolongée de trois mois par suite de la modification des portails pour des raisons architecturales (décision du Canton), du bétonnage du tunnel et des portails durant l'hiver en raison du décalage de l'adjudication (recours) et de l'intégration d'une batterie de câbles dans le portail Euseigne.

Un effort d'intégration paysagère des portails a été réalisé, le site étant classé dans l'inventaire des paysages, sites et monuments naturels d'importance nationale. Une architecte du paysage et l'architecte cantonal valaisan ont donc validé un projet à l'esthétique sobre, mais ayant nécessité un savoir-faire quasi artisanal pour ce qui concerne l'exécution. Le résultat a donné entière satisfaction au MO.

4.3 Caractéristiques de l'ouvrage et méthodes utilisées

Les méthodes de pré-soutènement et d'excavation ont été choisies en fonction de l'obligation de limiter les ébranlements et les tassements en surface qui



Crédit : Cedric Pralong, Dénéniáz Groupe Holding, Sion

4 Portail Euseigne

Réalisation du Tunnel des Pyramides • Entreprise générale ou totale : solution pour les travaux souterrains ?

auraient pu mettre en danger les Pyramides et occasionner la chute d'une ou de plusieurs des coiffes.

Finalement, les impératifs de géométrie et le dimensionnement des voûtes ont conduit au choix de la mise en place de 35 tubes ROR Micron F 139, L 11 m.

Le front d'attaque a été stabilisé par 18 boulons en fibre de verre.

Afin de pouvoir maîtriser les ébranlements, la méthode retenue a été l'excavation à la pelle hydraulique équipée d'un godet ripper.

Une des difficultés attendues lors de l'excavation était la présence de gros blocs dans la moraine. Leur présence dans le profil n'a pas posé de problème particulier.

Durant l'excavation, plusieurs blocs ont été rencontrés dans le parement. Le découpage de ces blocs au marteau hydraulique a occasionné des ébranlements à la limite des tolérances.

Le soutènement retenu est classique pour un tel ouvrage :

- BP sécurité
7 cm de béton projeté fibré
- Cintres
HEB 200 écartement 1 m
- Remplissage
30 cm de béton projeté fibré
- Préparation support
3 cm de béton projeté

Le revêtement a été armé sur tout le tunnel pour tenir compte des efforts sismiques et de la dissymétrie des efforts liée à la faible profondeur. Son épaisseur variait de 30 cm à 1.1 m.

5 Conclusion

Pour un tunnel, un contrat en entreprise générale avec conception partielle n'est pas dans les habitudes et a été une première pour la plupart des participants.

À notre époque, de nombreux chantiers se déroulent dans une ambiance conflictuelle liée à la pression financière (marchés publics) et aux impératifs de délais souvent trop courts (difficultés de planification des démarches administratives et volonté de récupérer le temps perdu sur la durée des travaux). Les discussions financières en fin de chantier se prolongent des mois, quand elles ne se terminent pas devant le tribunal.

De l'avis unanime des intervenants, le déroulement du projet a été très satisfaisant. Compte tenu des éléments non prévus cités plus haut, les délais pour établir le projet d'exécution et réaliser les travaux ont été globalement conformes au contrat.



5 Forage voûte parapluie en tunnel



6 Excavation à la pelle hydraulique et godet ripper



7 Bloc trouvé dans le parement

Crédit : Cedric Pralong, Dénériaz Groupe Holding, Sion

Crédit : Cedric Pralong, Dénériaz Groupe Holding, Sion

Crédit : Cedric Pralong, Dénériaz Groupe Holding, Sion

Réalisation du Tunnel des Pyramides • Entreprise générale ou totale : solution pour les travaux souterrains ?

Les discussions financières ont été bouclées dans un temps record, la situation finale ayant été établie le 8 novembre 2023, moins d'un mois après l'inauguration. Elle inclut les prestations supplémentaires hors forfait pour environ 8 % du montant du contrat (dont principalement la plus-value de 600 KCHF liée à l'exécution des portails).

Le travail réalisé l'a été à la satisfaction du MO, y compris pour les aspects hors contrat comme l'intégration paysagère des portails, particulièrement réussie.

Il est néanmoins judicieux de tirer les enseignements de cette expérience.

5.1 Choix du modèle de contrat dans le cas du tunnel des Pyramides

Ce contrat a été qualifié de contrat d'entreprise générale avec une partie de la conception, à savoir le projet d'exécution. Relativement peu d'éléments du projet étaient impératifs à l'exception notable de l'excavation sous voûte parapluie.

Le contexte particulier de ce tunnel, à savoir l'excavation sous un site d'importance nationale avec risque de chute des coiffes des Pyramides en cas de vibrations trop importantes ou de tassements, justifie sans doute que des méthodes d'excavation meilleur marché mais comportant plus de risques aient été exclues.

Il convient de se poser la question de la définition de la marge de manœuvre que le MO entend laisser à l'entrepreneur.

Dans le cas du tunnel des Pyramides, la latitude octroyée a visiblement prêté à interprétation, amenant un soumissionnaire à s'écarter du cahier des charges, ce qui a occasionné un recours et un décalage de l'adjudication.

Malgré un cahier des charges qui interdisait les variantes de projet, le déplacement des portails, la modification des dévers, et même finalement le déplacement de l'axe du projet ont été acceptés par le MO.

Une plus grande clarté au niveau de l'appel d'offre aurait été souhaitable. Les solutions contractuelles sont d'ailleurs multiples, en fonction de la latitude souhaitée dans la conception par l'entrepreneur :

- Entreprise générale sans conception
- Entreprise générale avec projet d'exécution
- Entreprise totale avec projet partiel et projet d'exécution
- Entreprise totale

S'il est peu probable que de nombreux ouvrages souterrains soient réalisés en Suisse selon le modèle Entreprise totale avec la totalité de la conception confiée à l'entrepreneur, les autres modèles offrent des perspectives intéressantes.

5.2 Entreprise générale

En entreprise générale sans conception, le MO peut bénéficier d'une offre forfaitaire et transférer la direction de travaux à l'entreprise. Il transfère ainsi le risque de la coordination entre les différents co-entrepreneurs et la surveillance de leurs travaux. Le risque de quantité lié à un devis descriptif est également transféré. Les avantages de ce modèle ne se concrétisent vraiment que si le MO et ses mandataires mettent à disposition des soumissionnaires un projet abouti, atteignant le niveau du projet d'exécution, et que ce dernier ne change pas, ou que très peu, en cours d'exécution.

Le délai pour établir les offres devra être suffisant pour permettre le calcul des quantités, l'établissement de devis descriptifs, la rentrée des soumissions pour les fournisseurs et sous-traitants, puis le calcul de l'offre et l'établissement du rapport technique.

Le travail pour le soumissionnaire est relativement conséquent et mérite selon nous que l'offre soit rémunérée. Le délai pour calculer une telle offre ne devrait jamais être inférieur à 3 mois.

5.3 Entreprise générale avec projet d'exécution

Aux avantages de l'entreprise générale s'ajoute ici une meilleure collaboration entre mandataires et entrepreneurs au niveau des détails constructifs, qui se traduit par une plus grande fluidité au niveau du chantier. Le mandataire est choisi par l'entrepreneur et travaille pour lui. Il y a de fortes chances que le mandataire soit choisi par l'entrepreneur pour ses compétences et l'habitude de collaborer avec lui, plutôt qu'en fonction du niveau de ses honoraires.

Le délai laissé à l'entrepreneur pour produire son offre doit cependant être augmenté de la durée nécessaire au mandataire choisi par l'entrepreneur pour contrôler les principaux éléments du projet établi par les mandataires du MO, afin de pouvoir inclure d'éventuelles réserves dans l'offre si cela s'avère nécessaire.

Réalisation du Tunnel des Pyramides • Entreprise générale ou totale : solution pour les travaux souterrains ?

Il convient naturellement de rémunérer l'offre de manière adéquate. Le délai pour calculer une telle offre ne devrait pas être inférieur à 4 mois et être précédé d'une annonce préalable permettant de réunir les différents partenaires de l'offre avant la réception des documents d'appel d'offre.

5.4 Entreprise totale avec projet partiel et projet d'exécution

Ce type d'appel d'offre permet au MO de bénéficier de l'expérience des soumissionnaires et de leurs mandataires. Les éléments du projet qui sont impératifs doivent être très clairement indiqués (éléments liés aux autorisations, par exemple).

Dans ce modèle, l'annonce préalable, des délais qui ne devraient pas être inférieurs à 6 mois et une rémunération de l'offre doivent être pris en compte par le MO de manière adéquate.

5.5 Synthèse

Les trois modèles décrits ci-dessus comportent des avantages certains par rapport au modèle de contrat d'entreprise classique en vigueur jusqu'à aujourd'hui et dont on connaît les limites.

Il est essentiel que le MO décide quel modèle il désire et définisse très clairement la marge de manœuvre qu'il entend laisser aux soumissionnaires.

Plus cette dernière est importante, plus les délais pour établir l'offre et sa rémunération doivent être importants.

Ainsi, si l'appel d'offre du Tunnel des Pyramides devait être relancé aujourd'hui, une plus grande clarté dans la marge de manœuvre laissée au soumissionnaire ainsi que des délais plus généreux pour l'établissement de l'offre seraient envisagés.

En dernier lieu, le MO devrait se demander s'il est judicieux de donner un programme indicatif avec son appel d'offre. En effet, par effet de halo, on constate une tendance des entrepreneurs à reprendre la durée d'exécution souhaitée dans son programme d'offre, ce qui tend à fausser la qualité de la planification. Naturellement, les éventuels impératifs de planning non modifiables doivent être le cas échéant indiqués clairement.

L'expérience positive du Tunnel des Pyramides a joué un rôle dans le cadre de la solution trouvée et mise en place par suite de l'éboulement du tunnel de la Becque sur la route de la Tsoumaz. Pour le MO, il convient de tirer apprentissage des expériences acquises, mais également des bonnes pratiques d'autres MO.

Ainsi, une solution de réparation, proposée en entreprise totale par l'entreprise pilote du groupement alliée à l'un des mandataires du Tunnel des Pyramides, a pu être développée, chiffrée et acceptée par le Canton en moins de deux semaines.

L'expérience issue de la réalisation du Tunnel des Pyramides n'y est sans doute pas étrangère.



8 Ouvrage terminé

Crédit : Cedric Pralong, Denénaz Groupe Holding, Sion

Réalisation du Tunnel des Pyramides • Entreprise générale ou totale : solution pour les travaux souterrains ?

DONNÉES DU PROJET

Région

Euseigne, Valais, Suisse

Maître de l'Œuvre

État du Valais, Service de la Mobilité

BAMO

KBM Engineers SA

Entreprise générale

Groupement Tunnel des Pyramides : Dénériaz Bâtiment et Infrastructures SA (Pilote) ; Evéquoz SA ; Ulrich Imboden AG ;
Infra Tunnel SA

Mandataires de l'entreprise générale

PRA Ingénieurs Conseils SA, BG Ingénieurs Conseils SA, Moret et Associés SA, BEG SA, DPE Electrotechnique SA,
Nivalp SA

Constructing the Pyramids tunnel • Is general or total contracting the solution for underground construction?

*Alain Métraiiler, Ing. Civil EPFL / Entrepreneur diplômé, Dénériaz Groupe Holding, Sion, CH
Dr Vincent Pellissier, Ing. civil EPFL / SIA, Ingénieur cantonal, État du Valais, Sion, CH*

Constructing the Pyramids tunnel

Is general or total contracting the solution for underground construction?

The Canton of Valais put out a tender for a tunnel around 120 m long, located beneath the Euseigne Pyramids, a Swiss national heritage site. Planned as a general contract, the call for tenders included part of the tunnel's design. It took 18 months to complete, from signing the user agreement to officially opening the structure, a feat made possible by the fact that it was built up as a general contracting project.

1 Construction work

1.1 The site

The Pyramids of Euseigne are an exceptional geological site, which was classified as a site of national importance 40 years ago. Also known as the “Demoiselles Coiffées” (Headdressed Maidens) or “cheminées des Fées” (Fairy Chimneys), these geological formations are the result of eroded moraines, with some parts protected by the presence of boulders known as “coiffes” (headdresses) or “chapeaux” (hats), which led to the formation of today's Pyramids, which are 10,000 years old.

A cantonal road crosses the site through a narrow, curved tunnel. The passage of heavy vehicles and the vibrations caused could destabilise the coiffes.

As the site has received more and more visitors, conflicts between traffic and visitors have increased and security is becoming a problem.



Credit: Cedric Pralong, Dénériaz Groupe Holding, Sion

1 The site of the old tunnel

Constructing the Pyramids tunnel • Is general or total contracting the solution for underground construction?

Bau des Pyramidentunnels

Ist General- oder Totalunternehmung die Lösung für den Untertagebau?

Die Planung und Realisierung des Bauwerks in nur 18 Monaten war in erster Linie durch die Umsetzung als Generalunternehmerprojekt möglich, vor allem aber auch durch die effiziente Zusammenarbeit der verschiedenen Akteure. Die Bauarbeiten verliefen zur Zufriedenheit aller Beteiligten, die das Modell begrüßten und sich bereit erklärten, es wieder anzuwenden. Im Ausschreibungsverfahren sollten jedoch die Besonderheiten des Generalauftrags besser berücksichtigt oder eine Ausschreibung für Totalunternehmer mit Teilkonzeption erwogen werden.

Costruzione dei tunnel piramidali

L'appalto generale o totale è la soluzione per la costruzione sotterranea

La pianificazione e realizzazione di un tale progetto in soli 18 mesi sono state rese possibili innanzitutto dalla scelta del modello dell'appaltatore generale con progettazione esecutiva, ma soprattutto dalla collaborazione efficiente dei vari soggetti coinvolti. Questo progetto edilizio si è svolto a soddisfazione dei partecipanti, i quali lodano il modello e si dichiarano pronti a riutilizzarlo. Tuttavia, le procedure di gara devono meglio integrare le peculiarità del modello dell'appaltatore generale con progettazione esecutiva o optare per una gara d'appalto con appalto totale e progettazione parziale.

1.2 The project

The project involved realigning 320 m of the cantonal road by moving it uphill through a tunnel about 120 m long. The new route, which is virtually straight and conforms to current road standards, allows traffic to flow more smoothly.

The old route, which was around 170 m long, will be made pedestrian-friendly for visitors and incorporated into a municipal project to enhance the site.

2 Call to tenders

2.1 Key dates in the call for tenders

The invitation to tender was published on 12 March 2021, with a submission date of 29 April 2021.

The duration to calculate the tender was set to six weeks, including the Easter weekend. The deadline was extended by five weeks following intervention of the Association Valaisanne des Entrepreneurs (Valais Association of Entrepreneurs).

As a result of this intervention, a decision was also made to modify the award criteria (less importance on price and more consideration given to the references and experience of the contractors).

It took nine weeks to analyse the three bids, and a clarification session was called for 29 July 2021.

The contract was awarded to Groupement Tunnel des Pyramides (GTP) on 3 September 2021 (14 weeks after the submission of tenders).

A time-scale analysis shows a disproportion between the time initially allowed for drawing up a lump-sum offer that included studying and dimensioning the main elements of the project and the time devoted to analysing the tender and awarding the contract. From the client's point of view, two factors explain this length of time: first, the careful attention paid to the technical evaluation, made necessary by the greater complexity of this type of call for tenders, and second, strict compliance with procedural aspects under legal supervision due to the lack of experience in this type of project. However, the accuracy of this work was confirmed during the subsequent procedures leading up to awarding the contract.

2.2 Provisions in the call for tenders

The invitation to tender described the contract as a general contract with an implementation project and managing construction. It was not restrictive in terms of the implementation methods, except for the mandatory points described in the technical specifications.

The call for tenders excluded project variants. Variants were allowed, but had to be submitted separately.

Constructing the Pyramids tunnel • Is general or total contracting the solution for underground construction?

Under “Technical data and requirements to be met”, the following was specified:

- The position of the access trench to the tunnel portal is to be free, but must remain within the planned right-of-way.
- The tunnel/access trench boundary is to be unrestricted, but a minimum cover of 2 m must be guaranteed in line with the portal.
- For the tunnel, the excavation method using pipe screens must be respected.

The invitation to tender provided for a remuneration of CHF 15,000 for successful bids.

2.3 The GTP's offer

The bid submitted by the GTP corresponded to the specifications – with minor adaptations. The main changes in relation to the project shown on the blueprints were as follows:

- Access Trench floor: constructing a closed invert slab instead of continuous strip foundations.
- Cut-and-cover: relocation of the tunnel-access trench transitions at the both ends of the tunnel.
- Pipe screens: 11 screens, each 8 m long.
- Six electrical cable protection pipes moved from the walkway on the mountainside to the hard shoulder on the valley side.
- Optimising the drainage and water collection system.

These modifications formed part of the basic tender and were included in the proposed package. The GTP considered these modifications to be part of the implementation project's design.

The following amendments, considered to be project amendments, were proposed separately:

- Correction of the alignment axis at the Euseigne portal by 50 cm downstream to avoid redoing the existing earthworks.
- Correction of inclinations in the tunnel.

These project variants were proposed with their financial impact separated from the basic package.



2 A “Maiden's Headdress”

Credit: Cedric Pralong, Dénéhaz Groupe Holding, Sion

2.4 Awards and appeals

The opening table placed the GTP in second place with a bid of CHF 9,156,282, more than 50% higher than the lowest bidder. A third bidder submitted a bid slightly higher than the GTP's.

On 3 September 2021, the State Council ruled out the lowest bidder and awarded the work to the GTP. The reason for this exclusion was non-compliance with the specifications, as the pipe screens had been partially removed. This implementation method was a strict condition required by the client in order to limit the risks of damaging the geological site. The client did not want to run the risk of damaging the Pyramids when building the tunnel.

An appeal against this exclusion was lodged on 14 September 2021.

On 24 January 2022, the Valais Cantonal Court dismissed the appeal on the grounds that the bid did not meet the requirements of the specifications. Alternatively, even if it were accepted that removing the pipe screens could constitute a performance variant, the absence of a basic bid contravened the provisions of the invitation to tender.

It should be noted that the Cantonal Court took around four months to reach a decision, including the end-of-year holidays.

Constructing the Pyramids tunnel • Is general or total contracting the solution for underground construction?

3 Planning

3.1 Signing the contract

The project kick-off meeting took place on 7 February 2022. At this meeting, the variants proposed by the group were discussed.

Optimising drainage systems, modifying the location of the electrical cable protection pipes and correcting the gradient were accepted.

The changes to the location of the portals and the shortened pipe screens were accepted subject to verification of BAMO's (Client's Assistance Office) calculation notes.

The route change of the road and tunnel axis was rejected.

The contract was signed on 25 April 2022. The plan was to break ground at the end of November 2022 and bring the structure into service at the end of June 2023, allowing 14 months for completion.

The route change was finally discussed and accepted during the construction phase. This necessitated an emergency construction installation.

3.2 Planning

Planning began when the user agreement and project basis were submitted on 8 February 2022. BAMO attended the first project meeting on 25 May 2022.

Nine project sessions took place between that date and 21 February 2023, i.e., approximately one session per month. Preparing the implementation project and having it validated by BAMO never slowed down construction progress. The efforts of all those involved in making this project possible should be commended, as launching the project implementation study and starting work on site occurred just two months apart.

4 Implementing construction work

4.1 Principal quantities

• Total length of the project access trench	320 m
• Length of Vex trench	26 m
• Length of Euseigne trench	26 m
• Tunnel length	88 m
• Section excavated	85 to 105 m ²
• Material excavated	16,000 m ³
• Anchors	1,400 m
• Sprayed concrete	1 to 600 m ³
• ROR pipe screens	4,130 m ²
• Concrete	2,800 m ³
• Reinforcement steel	325 t
• Asphalt mix	800 t

4.2 Completion times

Installation work began on site on 28 March 2022, and construction started shortly after on 12 April.

The Vex portal was excavated on 3 June (duration: 7.5 weeks).

Drilling the first pipe screens began on 7 June and breakthrough took place on 14 November (duration: 17 weeks), representing a progression of 5 m per week.

Concreting the invert for the Vex portal and the invert inside the tunnel took place from 17 October to 7 December (duration: 6.5 weeks).

The vault formwork was erected from 8 December to 16 January 2023 (duration: 3 weeks).

The first vault concreting operation had to be postponed until 3 February due to very low winter temperatures (-10°) and the last concrete pour took place on 13 March 2023 (duration: 5 weeks).

Constructing the Pyramids tunnel • Is general or total contracting the solution for underground construction?

Concreting the portal trench covers lasted from 27 March to 30 June 2023 (duration: 15 weeks).

An undocumented cable duct under the Euseigne portal complicated construction work and meant that the cantonal road had to be closed from 1 May to 7 June 2023, even though the contract stipulated that the road should remain open at all times.

Finally, the internal tunnel construction works – drainage systems, hard shoulders, curbs, gutters, road blocks, asphalt mixes, tunnel painting, markings and electromechanical equipment, as well as the route junction – were carried out between 19 June and 31 August 2023 (duration: 7 weeks).



Credit: Cédric Pralong, Déneriaz Groupe Holding, Sion

3 Start of concreting

The site installations were finally removed on 15 September 2023 and the tunnel was opened on 14 October 2023.

Compared with the contract, the duration of the construction work was extended by three months as a result of modifications to the portals for architectural reasons (a decision made by the Canton), concreting the tunnel and portals during the winter because the tender was postponed due to an appeal, and integrating a cable duct in the Euseigne portal.

Efforts have been made to integrate the portals into the landscape, as the site is listed in the Inventory of Landscapes, Sites and Natural Monuments of National Importance. A landscape architect and the Valais cantonal architect therefore approved the project, whose simple aesthetics required almost artisanal skills for its execution. The result completely satisfied the client.

4.3 Project characteristics and methods used

The choice of pre-reinforcement and excavation methods was based on the need to limit the amount of vibration and settlement on the surface that could have endangered the Pyramids and caused one or more of the coiffes to collapse.



Credit: Cédric Pralong, Déneriaz Groupe Holding, Sion

4 Euseigne portal

Constructing the Pyramids tunnel • Is general or total contracting the solution for underground construction?

Finally, geometric requirements and dimensioning in the vaults led to the choice of installing 35 ROR Micron F 139 tubes, L 11 m.

The face was stabilised by 18 fibreglass anchor-bolts.

In order to control the vibration, the excavation method chosen was to use a hydraulic excavator fitted with a ripper bucket.

One of the expected challenges during excavation was the presence of large boulders in the moraine material. Their presence and removal from the tunnel face posed no particular problem.

However, during tunnelling, several boulders were encountered in the tunnel walls. Breaking these boulders with a hydraulic hammer unfortunately caused vibrations that were at the limit of vibration tolerances.

The support/temporary lining system chosen is typical for this type of structure:

- Shotcrete reinforcement (first layer)
7 cm fibre-reinforced sprayed concrete
- Arches / ring beams
HEB 200 (steel beam arches), 1 m apart
- Filling between arches
30 cm fibre-reinforced sprayed concrete
- Reinforcement preparation
3 cm of sprayed concrete

The lining was reinforced throughout the tunnel to take account of seismic forces and the asymmetry of forces due to its shallow depth. Its thickness varied from 30 cm to 1.1 m.

5 Conclusion

A general contract with partial design is unusual for tunnelling and was a first for most of the participants involved.

In this day and age, many worksites go through an atmosphere of conflict due to financial pressure (public procurement contracts) and deadline imperatives that are often too short (difficulties in planning administrative procedures and the desire to make up for time lost during construction). Financial discussions at the end of a project can drag on for months – or even end up in court.

Here, however, stakeholders unanimously agreed that the project went very well. Taking into account the unforeseen factors mentioned above, the timescales for drawing up the implementation project and carrying out the work were broadly in line with the contract.

The financial discussions were concluded in record time, with the final status of the project established on 8 November 2023, less than a month after opening day. This included additional services not included in the fixed price, amounting to around 8% of the contract value (mainly the additional value of 600,000 Swiss francs for the portals).



5 Drilling pipe screens in the tunnel



6 Excavation using a hydraulic shovel and ripper bucket



7 Boulder found in the tunnel face

Constructing the Pyramids tunnel • Is general or total contracting the solution for underground construction?

The client was satisfied with the work carried out, including aspects outside the contract, such as the particularly successful integration of the portals into the landscape.

Nevertheless, it is worth learning from this experience.

5.1 Choice of contract model for the Pyramids Tunnel

This contract has been described as a general contract with partial design, i.e., the implementation project. Relatively few elements of the project were mandatory, with the notable exception of excavation under pipe screens.

The particular context of this tunnel, i.e., excavation under a site of national importance with the risk of the Pyramids' "headresses" falling off in the event of excessive vibration or settlement, no doubt justified the exclusion of cheaper excavation methods that could have entailed greater risks.

The question arose as to how much leeway the client intended to give the contractor.

In the case of the Pyramids Tunnel, the flexibility granted was clearly open to interpretation, leading one bidder to deviate from the specifications, resulting in an appeal and a delay in awarding the contract.

Despite specifications that prohibited project variants, relocating the portals, modifying the slopes involved and even relocating the project axis were accepted by the client.

Greater clarity in the call for tenders would have been preferable. In fact, there are many contractual solutions, depending on how much flexibility the contractor wants in the design:

- General contract without implementation project
- General contract with implementation project
- Total contract with partial project and implementation project
- Total contract

While it is unlikely that many underground structures in Switzerland will be built using the total contract model, with all design work entrusted to the contractor only, the other models offer interesting prospects.

5.2 General contract

In the case of general contracting without implementation, the client can take advantage of a fixed-price offer and transfer construction management to the contractor. They thus transfer the risk of coordination between the various joint contractors and the supervision of their work. The volume risk associated with a descriptive quote is also transferred. The advantages of this model are only really realised if the client and their agents provide the bidders with a finished project, up to the level of the implementation project, and if the latter changes little or not at all during implementation.

The time required to draw up tenders must be sufficient to allow all quantities to be calculated, specifications to be drawn up, tenders to be received from suppliers and subcontractors, the tender to be calculated and the technical report to be drawn up.

The work involved for the bidder is relatively substantial and, in our view, deserves to be remunerated. The deadline for calculating such an offer should never be less than three months.

5.3 General contract with implementation project

In addition to the advantages of a general contracting approach, this method also means better collaboration between the client and the contractor on construction details, resulting in greater fluidity on site. The agent is chosen by the contractor and works for them. Chances are that the contractor will choose the agent on the basis of their skills and experience of working with them, rather than the level of their fees.

However, the time allowed for the contractor to submit a tender must be increased by the time required for the agent chosen by the contractor to check the main elements of the project drawn up by the client's representatives, so that any caveats can be included in the tender if necessary.

Naturally, supply needs to be adequately remunerated. The deadline for calculating such a bid should not be less than four months, and should be preceded by a preliminary announcement allowing the various partners in the bid to be brought together before the tender documents are received.

Constructing the Pyramids tunnel • Is general or total contracting the solution for underground construction?

5.4 Total contract with partial project and implementation project

This type of invitation to tender enables the client to benefit from the experience of the bidders and that of their agents. The elements of the project that are mandatory must be very clearly indicated (elements linked to authorisations, for example).

In this model, advance notice, deadlines of no less than six months and remuneration for the offer must be adequately taken into account by the client.

5.5 Summary

The three models described above have clear advantages over the traditional company contract model in force until now, which has its limitations.

It is essential for the client to decide which model they want and to very clearly define the degree of flexibility they intend to allow bidders.

The larger the amount of flexibility, the longer it will take to draw up the offer and determine its remuneration.

Thus, if the Pyramids Tunnel tender were to be relaunched today, greater clarity regarding the degree of flexibility left to the bidder and more generous deadlines for drawing up the bid would be proposed.

Finally, the client should consider whether it makes sense to include an indicative programme with its call for tenders. The halo effect is that contractors tend to include the desired implementation time in their tender programme, which tends to distort the quality of planning. Naturally, any planning requirements that cannot be changed must be clearly indicated.

The Pyramids Tunnel's positive outcome played a part in the solution found and put in place following the collapse of the Becque Tunnel on the Swiss Route de la Tsoumaz. For the client, it is important to both learn from specific experiences and from best practices of other clients.

As a result, a comprehensive repair solution, proposed by the consortium's lead contractor in association with one of the Pyramids Tunnel contractors, was developed, priced and accepted by the Canton responsible in less than two weeks.

The experience gained from the construction of the Pyramids Tunnel is undoubtedly a contributing factor thereof.



8 Completed construction work

Constructing the Pyramids tunnel • Is general or total contracting the solution for underground construction?

PROJECT DATA

Region

Euseigne, Valais, Switzerland

Client

Canton of Valais, Mobility Service

BAMO

KBM Engineers SA

General contract

Groupement Tunnel des Pyramides: Dénériaz Bâtiment et Infrastructures SA (Pilote); Evéquoz SA; Ulrich Imboden AG; Infra Tunnel SA

General contractor's agents

PRA Ingénieurs Conseils SA, BG Ingénieurs Conseils SA, Moret et Associés SA, BEG SA, DPE Electrotechnique SA, Nivalp SA

New high speed Milan–Genoa railway line • Innovative design solution for the crossing of the Sestri Voltaggio fault area

Giuseppe Lunardi, C.E.O. Rocksoil S.p.A., Milan, Italy
Nicola Meistro, WeBuild, Milan, Italy

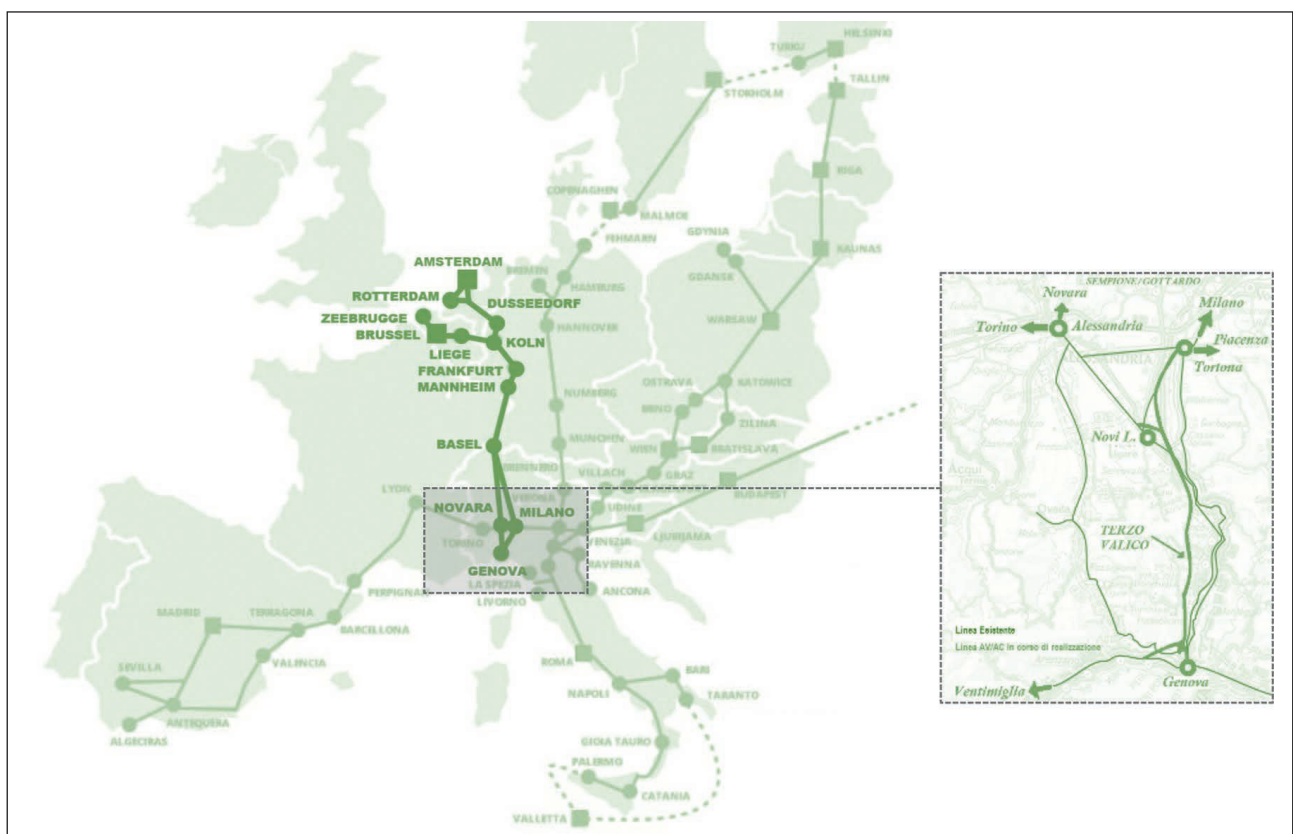
New high speed Milan–Genoa railway line

Innovative design solution for the crossing of the Sestri Voltaggio fault area

The paper describes the geological-tectonic conditions encountered during the excavation through the Sestri Voltaggio Zone and discusses the innovative semi-automatic steel arch which has been designed for the crossing of the fault area. The new reinforcing system represents a fundamental tool for increasing safety during the excavation of tunnel in difficult and challenging conditions.

1 Introduction

The high-speed Milan–Genoa railway is a component of one of 30 European Priority Projects adopted by the European Union on April 29, 2004 (Project no. 24, "Railway axis Lyon/Genoa–Basel–Duisburg–Rotterdam/Antwerp"), known as the new European project, the so-called "Bridge between Two Seas", a rail link between Genoa and Rotterdam. The line will improve the connection between the port of Genoa and the Po Valley inland and further with Northern Europe, stimulating a significant increase in transport capacity, in particular in freight transportation, aiming to meet the growing traffic demand. The line runs along the Genoa–Milan route reaching Tortona, and proceeds along the Genova–Alessandria–Turin route up to Novi Ligure, crossing the provinces of Genoa and Alexandria. The new line will be connected to the South at Voltri and Bivio Fegino through connections with the railway facilities at the Genoa hub and with the ports of Voltri and Porto Storico, while connection to the North will be ensured by the existing Genoa–Torino and Tortona–Piacenza–Milan railway lines. The total length of the line will be approximately 53 km; the project requires the construction of 36 km of tunnels running through the Apennine mountains between Piedmont and Liguria. The overall scope of underground works, including the development of twin single-track tunnels, adits and connection tunnels, exceeds 90 km (Fig. 1).



1 Terzo Valico dei Giovi: general project layout

Neue Hochgeschwindigkeitsstrecke Mailand–Genua

Innovative Planungslösung für die Durchquerung des Sestri–Voltaggio-Störungsgebietes

Die Hochgeschwindigkeitsstrecke Mailand–Genua ist eines der 30 europäischen Prioritätsprojekte, die von der Europäischen Union am 29. April 2004 beschlossen wurden. Der Gesamtumfang der unterirdischen Arbeiten, einschliesslich der einspurigen Doppelröhren, Stollen und Verbindungstunnel, beträgt mehr als 90 km. Der Generalunternehmer, der für die Planung und den Bau des Terzo Valico verantwortlich ist, ist das Konsortium COCIV, das aus folgenden Unternehmen besteht: Webuild (94.999 %), Società Italiana Condotte d'Acqua (0.001 %) und CIV (5 %). Der Beitrag beschreibt die schwierigen Bodenverhältnisse und den innovativen halb automatischen Stahlbogen, der für die Durchquerung des Störungsgebietes von Sestri–Voltaggio entworfen wurde.

Nouvelle ligne ferroviaire à grande vitesse Milan–Gênes

Une solution de conception innovante pour la traversée de la zone de faille de Sestri–Voltaggio

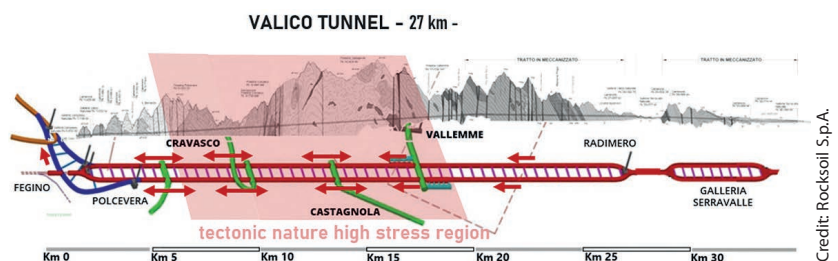
La ligne ferroviaire à grande vitesse Milan–Gênes est l'un des 30 projets européens prioritaires adoptés par l'Union européenne le 29 avril 2004. L'ensemble des travaux souterrains, y compris les doubles tunnels à voie unique, les galeries d'accès et les tunnels d'interconnexion, s'étendent sur plus de 90 km. L'entrepreneur général chargé de la conception et de la construction du Terzo Valico est le consortium COCIV formé par : Webuild (94.999%), Società Italiana Condotte d'Acqua (0.001%) et CIV (5%). Cet article décrit les conditions difficiles du terrain et le cintre en acier semi-automatique innovant qui a été conçu pour la traversée de la zone de faille de Sestri–Voltaggio.

Nuova linea ad alta velocità Milano–Genova

Progettazione di una soluzione innovativa per l'attraversamento dell'area tettonizzata della Sestri–Voltaggio

La linea ad alta velocità Milano–Genova è uno di 30 progetti prioritari europei approvati dall'unione europea il 29 aprile 2004. L'estensione delle opere in sotterraneo ammonta a più di 90 km, comprendenti gallerie a singola canna e doppio binario, doppia canna a singolo binario, finestre di accesso e interconnessioni. L'impresa responsabile per la progettazione e la costruzione del Terzo Valico è il consorzio COCIV, costituito dalle seguenti aziende: Webuild (94.999 %), Società Italiana Condotte d'Acqua (0.001 %) e CIV (5 %). L'articolo descrive le difficili condizioni dell'ammasso attraversato e l'innovativa soluzione di centina semiautomatica progettata per l'attraversamento dell'area tettonizzata della Sestri–Voltaggio.

The underground portion includes (Fig. 2a) the approximately 700 m long Campasso Tunnel and the two connecting tunnels at Voltri, each with a length of approximately 2 km. Four intermediate access adits (Polcevera, Cravasco, Castagnola and Vallemme) are anticipated for the Valico Tunnel, both for structural and safety purposes. From the Serravalle Tunnel exit, the main line is predominantly above ground or in an artificial tunnel, until it joins the existing line in Tortona (en route to Milan), while a diverging branch line with a turnout speed limit of 160 km/h establishes the underground connection to and from Turin on the existing Genoa–Turin line. In terms of construction, the tunnels listed in Table 1 are the most significant underground works of the Terzo Valico [1]. Tunnel excavations are designed and executed using conventional (61.7 km) and mechanised excavation (30.7 km) methods with an overburden varying from 5.0 m to 600.0 m and cross sections with an area between 75 and 365 m². In compliance with the latest safety standards, the underground line consists of two single-track, side-by-side tunnels with cross-passages every 500 m which allow each tunnel to serve as a safe area for the other. The general contractor in charge of designing and building the Terzo Valico is the COCIV Consortium formed by three major Italian construction companies: Webuild (94.999%), Società Italiana Condotte d'Acqua (0.001%) and CIV (5%).



2a Terzo Valico dei Giovi: running tunnel layout with identification of the area subjected to the tectonic condition

New high speed Milan–Genoa railway line • Innovative design solution for the crossing of the Sestri Voltaggio fault area

Tunnels	Length	Section Type	Excavation method
Campasso	710 m	single tube - dual track	Conventional
Valico	27,032 m	dual tube - single track	Conventional & Mechanized
Serravalle	7,094 m	dual tube - single track	Mechanized
Volti Interconnection	3,023 m	single tube - single track	Conventional
Cravasco Adit Tunnel	1,260 m	single tube - single track	Conventional
Polcevera Adit Tunnel	1,763 m	single tube - single track	Mechanized
Castagnola Adit Tunnel	2,470 m	single tube - single track	Conventional
Vallemme Adit Tunnel	1,590 m	single tube - single track	Conventional
Vallemme Safety Area	750 m	dual tube - single track	Conventional
Novi Ligure Interconnection	2,860 m	dual tube - single track	Conventional
New route NV-01	1,010 m	dual carriageway road	Conventional
New route NV-02	306 m	dual carriageway road	Conventional
By-Pass	4,810 m	pedestrian & vehicle way	Conventional

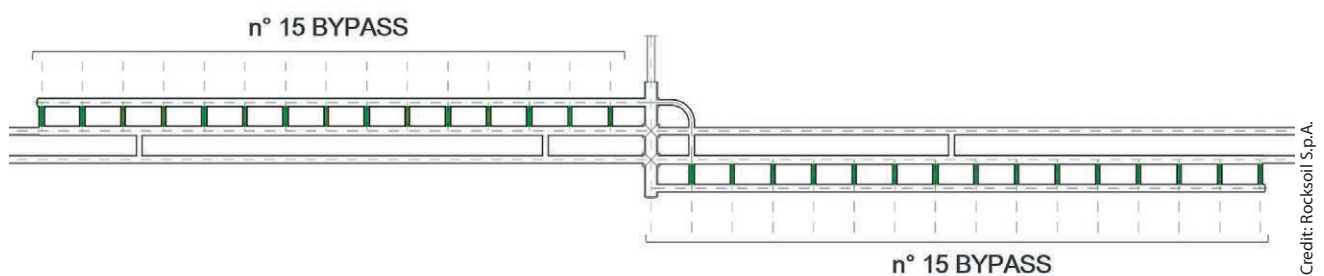
Credit: Rocksoil S.p.A.

Table 1 Terzo Valico Tunnels

1.1 The new railway line

Design standards provide for a maximum speed of 250 km/h on the main line, 100–160 km/h for interconnections, a maximum gradient of 1.25%, a DC power supply of 3 kV but with infrastructure that provides for 2 x 25 kV AC, and a Type 2 ERTMS signalling system.

A safety stop equipped for the evacuation of train passengers in the event of an accident or a significant failure is planned inside the Valico Tunnel at the Vallemme adit tunnel. The system involves the juxtaposition of the two main railway tunnels with two other pedestrian tunnels for the evacuation of passengers; the tunnels are 750 m long and they are linked together via a “transect” that passes over both tracks, reaching the Vallemme adit, which serves both as the emergency exit and the emergency vehicle access point (Fig. 2b).



Credit: Rocksoil S.p.A.

2b Detail of Vallemme adit tunnel layout

This overpass, along with a 15 + 15 bypass, connects the two platforms with the two evacuation tunnels and affords the passengers of a damaged train safe passage to the opposite platform to board another train or, in extreme cases, route them to the safety exit at the Vallemme adit. The construction of a vehicular tunnel system that connects the adit tunnel with the odd numbered track evacuation tunnel is also planned.

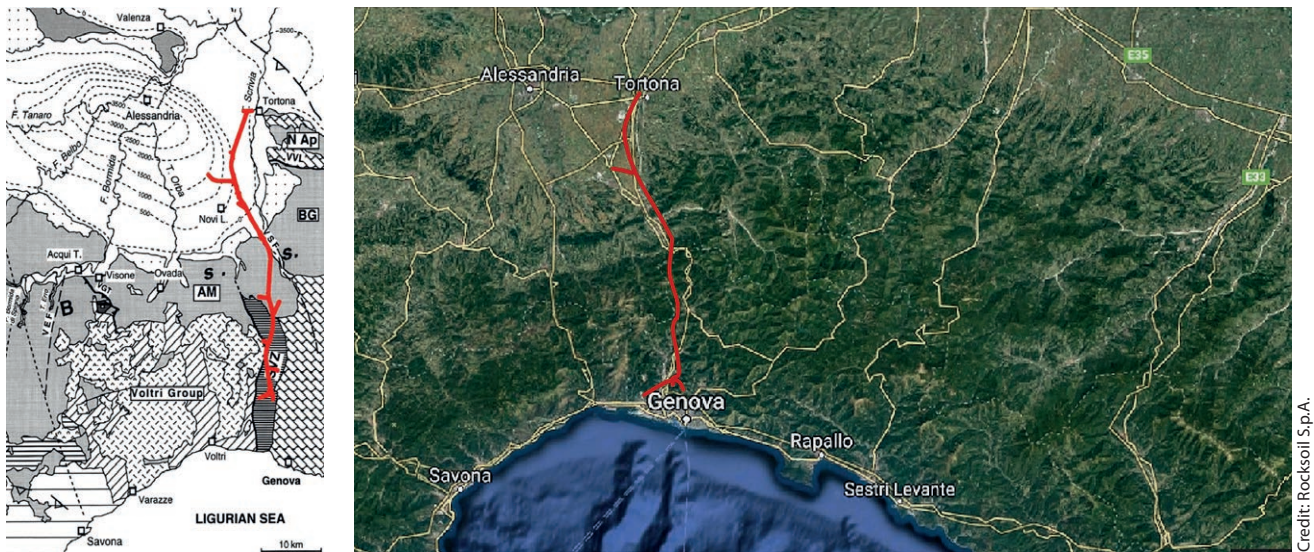
The railway line is crossed by means of a level passage. There are plans for a second safety area at Libarna, in the above-ground section of the line between the Valico and Serravalle Tunnels; it will be equipped with a priority shelter track and will have the dual function of communications area and safety area..

1.2 The geological overview

The tunnel section of the Terzo Valico extends from Genoa to Tortona among two main geological units [2] (Fig. 3):

- from Genoa to geological contact with the Tertiary Piedmontese Basin (chainage 19+500), the layout is entirely within the Sestri Voltaggio Zone; this zone is characterised by the “Argille a Palombini” Formation (aP), a sequence of argillo-schists, claystones

New high speed Milan–Genoa railway line • Innovative design solution for the crossing of the Sestri Voltaggio fault area



Credit: Rocksoil S.p.A.

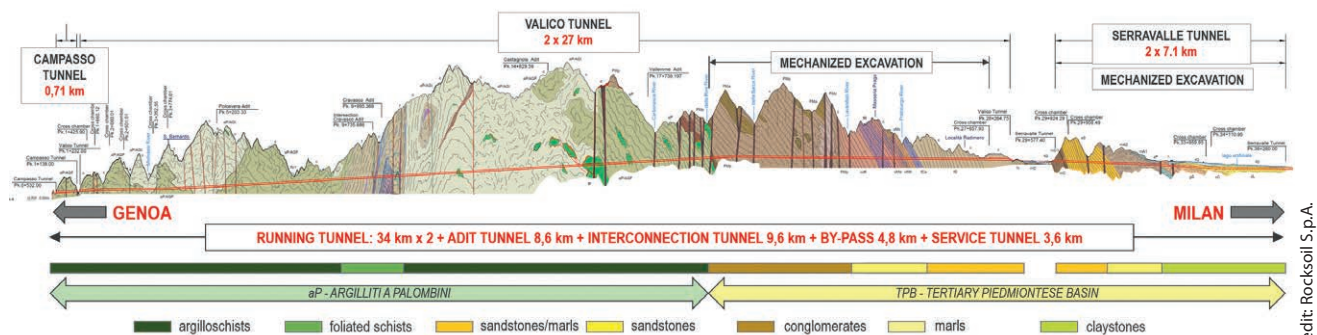
3 Terzo Valico dei Giovi: a) geo-structural setting; b) satellite view

- and limestone lenses; between chainage 8+500 and 12+500, rockmass is highly tectonised and squeezing because of tectonic Alpine evolution;
- from chainage 19+500, the tunnel crosses Tertiary Piedmontese Basin units, a sedimentary sequence constituted by conglomerates, sandstones, marls, and claystones.

2 The Sestri Voltaggio Zone (ZSV)

The ZSV represents an important tectonic area, and with the “Gruppo di Voltri” forms a complex geological context (“nodo collisionale ligure” [3]), interpreted as the West to East transition from Alpine rock sequences to Apennine rock sequences.

The ZSV is constituted by three different tectonic units, two of them ophiolitic (Cravasco–Voltaggio and Figogna) and the third is the Gazzo–Isoverde unit. During various stages of alpine evolution, these three units experienced different temperature and pressure conditions (metamorphism) that determined the natural growth (by the original protoliths) of chrysotile, actinolite and tremolite (Fig. 4).



Credit: Rocksoil S.p.A.

4 Terzo Valico dei Giovi: geological profile

- The survey phase allowed the identification of "geomechanical groups" based on the following main factors:
- lithological criteria (petrographical and mineralogical composition, the degree of alteration, possible presence of water);
 - structural criteria (characteristics of joints, RDQ index, foliation intensity, tectonisation intensity, such as the presence of folded structures including also microscale folding);
 - lithomechanical criteria (with reference to the first assessment of physical properties, strength and deformability).

The evidence gathered during the excavation of exploratory tunnels, performed at the initial stage of the project, was complemented by interpretation of in situ investigations and the results of laboratory tests carried out for final design and the detailed design stage. Classification of sampled material in terms of lithological composition, foliation pattern and recurring calcite veins was confirmed, also at the sample scale. The geomechanical parameters are summarised in Table 2.

New high speed Milan–Genoa railway line • Innovative design solution for the crossing of the Sestri Voltaggio fault area

Formation	γ [kN/m ³]	ν [-]	E_{op} [GPa]	σ_c [MPa]	m_i [-]	GSI [-]
GR1	27	0.25 - 0.3	3 ÷ 7,8	30 ÷ 40	15 ÷ 20	45 ÷ 55
GR2a	27	0.25 - 0.3	1.5 ÷ 2.0	10 ÷ 12	20 ÷ 25	40 ÷ 45
GR2b	27	0.25 - 0.3	1.0 ÷ 1.5		15 ÷ 20	35 ÷ 40
GR3a	26	0.3	1.0 ÷ 1.2	5 ÷ 7	19	30 ÷ 35
GR3b	26	0.3			19	25 ÷ 30

Credit: Rocksoil S.p.A.

Table 2 Claystone schists

2.1 Argille a Palombini formation

From a geological point of view, the Argille a Palombini formation (aP) is categorised as a lithostratigraphic complex composed of micaceous carbonate schists of dark grey colour, containing a very strong pervasive foliation and an abundance of intrafolial quartz and albite-bearing veins. The spacing of schistosity planes ranges from a few millimetres to several centimetres and locally the rock mass is strongly foliated (Fig. 5a).

The aP contains diffused layers of very compact microcrystalline limestone, called “Palombini”, characterised by massive texture ranging in thickness from centimetre to decimetre scales and interbedded with phyllite (Fig. 5b). The calcareous intercalations are heterogeneously and discontinuously distributed and, therefore, their location is not predictable. Schists may also contain lenticular basaltic bodies, often very fractured, which can occur associated with banded jaspers.

The permeability essentially depends on the degree of rock mass fracturing: outside the fault zones hydraulic conductivity mainly varies between 1×10^{-7} and 1×10^{-8} m/s. Along the fault damage zones, it may increase up to 1×10^{-6} m/s, while in the core areas (fault gouge zone) the permeability does not increase, due to the presence of clay filling material. Compared to the average time required to install the primary inner lining in this size of tunnels, this rock mass can be considered essentially waterproof with a water seepage below 0.16 l/s collected over the length of 10m. Despite this, across fault zones the water flows can reach several litres per second, although it is often a temporary event [4].

The aP peculiarity identified during the investigation is the intrinsic variability of mechanical behaviour, mainly attributed to the foliated structure of the matrix and to the strongly fractured zones which significantly affect the rock mass stress-deformation response.

The geomechanical context became even more complex when considering additional elements that emerged from the investigations, both in terms of materials and rock properties, such as:

- ratio of average horizontal stress to vertical stress (K_0), predominantly greater than one up to 200÷250 m below ground level;
- high probability of squeezing behaviour when overburden is deeper than 250;
- presence of potentially swelling clay minerals.

3 The design and construction of tunnels

Evaluating potential risks and unforeseen events in construction and tunnelling is essential for decision-making and project planning. In tunnel construction, a significant portion of these risks and events is associated with unknown geotechnical condi-



Credit: Rocksoil S.p.A.

5a Terzo Valico dei Giovi: rocky outcrop



Credit: Rocksoil S.p.A.

5b Terzo Valico dei Giovi: sample collected from a borehole

New high speed Milan–Genoa railway line • Innovative design solution for the crossing of the Sestri Voltaggio fault area

tions. Performance is also influenced by human and organizational factors, effects which are not known in advance. All the above should be considered when modelling unknown potential risks and events during tunnel construction.

Underground structures are manmade objects constructed in heterogeneous and complex natural environments. For planning and designing of the structures it is thus crucial to describe the behaviour of the geological environment by parameters which can be used in the structural analysis and for planning and monitoring of the construction process.

The application of observational methods should lead to a fine-tuning of the design during the construction works. According to the Analysis, Design, Construction and Operation – Risk Sharing (A.DE.CO-RS) Approach, for full face tunnel excavation, it is necessary to establish a framework and plan for the design phase and for later construction of underground structures, divided into two chronologically separate stages [5].

Design stage consisting of:

- survey phase: referring to the geological, geomechanical and hydrogeological knowledge of the ground and to the analysis of the existing natural equilibriums;
- diagnosis phase: the analysis and theoretical forecasting of the behaviour of the ground in terms of deformation response, in the absence of stabilising operations, according to the stability conditions of the core-face;
- therapy phase: referring, firstly, to the definition of the methods of excavating and stabilising the ground to control the deformation response; and subsequently, to the numerical evaluation of the effectiveness of the solutions chosen; in this phase the section types are composed with their possible variability in intervention, depending on the actual deformation behaviour of the tunnel in the excavation phase, which will be measured during the operational phase (Table 3).

Geomechanical conditions	Overburden [m]		Designed section type				Predicted deformation response		Variability		
			Interventions						Interventions		
			SECTION TYPE	Primary lining	Final Lining		Primary lining	Final Lining			
					invert (th./D)	crown (th./D)		invert (th./D)	crown (th./D)		
from	to	Preconfinement & Presupport				[cm]	[cm]	Preconfinement & Presupport			
GR1 GSI=45÷55	0	300	B0L	2PN160/1.4m th. Shotcrete 20 cm	80/12Φ	60/15Φ	<5	-	2PN160/1.2÷1.5m th. Shotcrete 20÷25cm	9÷15Φ	12÷18Φ
GR1 GSI=45÷55 mixed core-face	300	500	B0V	HEB200/1.2m th. Shotcrete 30 cm	100/12Φ	60/15Φ	<6+8	-	HEB200/1.0÷1.5m th. Shotcrete 25÷35cm	9÷15Φ	12÷18Φ
				25 reinforcement contour overlapping 3m				-	25 reinforcement contour overlapping 3m		
GR1 GSI=45÷55	300	500	B/01	HEB180/1.2m th. Shotcrete 30 cm	90/12Φ	70/15Φ	<6+8	-	HEB180/1.0÷1.4m th. Shotcrete 25÷30cm	9÷15Φ	12÷18Φ
GR1 GSI=45÷55	500	600	B/02	HEB200/1.2m th. Shotcrete 30 cm	100/12Φ	80/15Φ	<6+8	-	HEB200/1.0÷1.4m th. Shotcrete 25÷35cm	9÷15Φ	12÷18Φ
GR1 GSI=45÷55 anisotropy	0	600	B1	2PN220/1.2m th. Shotcrete 30 cm	100/12Φ	70/15Φ	<6+8	<5	2PN220/1.0÷1.4m th. Shotcrete 30 cm	9÷15Φ	12÷18Φ
				25 Bolt Φ24/1.2x2m L=6.0m					25 Bolt Φ24/1.2x2m L=5.5+6.5m		
GR2 GSI=40÷45 mixed core-face	0	600	B2V	HEB240/1.0m th. Shotcrete 30 cm	100/5Φ	80/9Φ	<6+8	<5	HEB240/0.8÷1.2m th. Shotcrete 25÷35cm	3÷6Φ	7÷11Φ
				25 reinforcement contour overlapping 3m					25 reinforcement contour overlapping 3m		
GR2 GSI=40÷45	0	500	B2/1	HEB200/1.0m th. Shotcrete 30 cm	100/5Φ	80/9Φ	<6+8	<5	HEB200/0.8÷1.2m th. Shotcrete 25÷35cm	3÷6Φ	7÷11Φ
				60 GFRP cemented face overlap 9.0m					40÷80 GFRP cemented face overlapping 6÷12m		
GR2 GSI=40÷45	500	600	B2/2	HEB240/1.0m th. Shotcrete 30 cm	100/5Φ	90/9Φ	<6+8	<5	HEB240/0.8÷1.2m th. Shotcrete 25÷35cm	3÷6Φ	7÷11Φ
				60 GFRP cemented face overlapping 9.0m					40÷80 GFRP cemented face overlapping 6÷12m		
GR2 GSI=35÷40 anisotropy	0	500	B4/1	2PN240/1.2m th. Shotcrete 30 cm	100/5Φ	80/9Φ	<8+9	<7	2PN240/1.0÷1.4m th. Shotcrete 30 cm	3÷6Φ	7÷10Φ
				60 GFRP cemented face overlapping 9.0m 25 Bolt Φ24/1.2x2m L=6.0m					40÷80 GFRP cemented face overlapping 6÷12m 25 Bolt Φ24/1.2x2m L=5.5+6.5m		
GR2 GSI=35÷40 anisotropy	500	600	B4/2	2PN240/1.2m th. Shotcrete 30 cm	100/5Φ	90/9Φ	<8+9	<7	2PN240/1.0÷1.4m th. Shotcrete 30 cm	3÷6Φ	7÷10Φ
				70 GFRP cemented face overlapping 9.0m 25 Bolt Φ24/1.2x2m L=6.0m					55÷90 GFRP cemented face overlapping 6÷12m 25 Bolt Φ24/1.2x2m L=5.5+6.5m		
GR3 GSI=25÷30 interference	0	600	C2	HEB240/1.0m th. Shotcrete 30 cm	100/3Φ	90/9Φ	<10÷12	<10	HEB240/0.8÷1.2m th. Shotcrete 25÷35cm	1.5÷3Φ	5÷9Φ
				55 GFRP cemented face overlapping 9.0m 55 GFRP valved contour overlapping 9.0m					40÷80 GFRP cemented face overlapping 6÷12m 40÷70 GFRP valved contour overlapping 6÷12m		
GR3 GSI=30÷35 interference	0	600	C4	HEB240/1.0m th. Shotcrete 30 cm	100/3Φ	90/9Φ	<10÷12	<10	HEB240/0.8÷1.2m th. Shotcrete 25÷35cm	1.5÷3Φ	5÷9Φ
				70 GFRP cemented face overlapping 9.0m 70 GFRP valved contour overlapping 9.0m					55÷90 GFRP cemented face overlapping 6÷12m 55÷90 GFRP valved contour overlapping 6÷12m		

Table 3 Interventions variability for each section type

Credit: Rocksoil S.p.A.

New high speed Milan–Genoa railway line • Innovative design solution for the crossing of the Sestri Voltaggio fault area

Construction stage consisting of:

- operational phase: the actual construction of the tunnel, in which the stabilising instruments for controlling the deformation response are implemented.
- monitoring and final design adjustment phase: during the course of the work, referring to the measurement and experimental interpretation of the actual behaviour of the ground to excavation in terms of deformation response, for the finalisation and the balancing of the stabilising systems implemented between the core-face and the excavation perimeter, and for checking the chosen solutions by comparing actually measured deformations with the ones that are expected theoretically.

3.1 Conventional tunnel excavation risks

Risk is inherent in all engineering applications. The common practice area of mining and civil engineers, tunnel construction, is prone to several hazards originating from different sources. In the present paper, the authors focused their attention on underground workers who are at risk of serious and often fatal injuries. Some hazards are the same as those of construction on the surface, but they are amplified by working in a confined environment. Other hazards are unique to underground work. These include being struck by specialised machinery, electrocuted, buried by roof falls or cave-ins, and asphyxiated or injured by fires or explosions.

Control measures should be identified to eliminate or minimise, so far as is reasonably practicable, risks associated with tunnelling work. These mostly arise from working underground and can be identified during consultation and the risk assessment process [6].

The risks related to conventional tunnelling excavation methods identified for this project can be listed as follows:

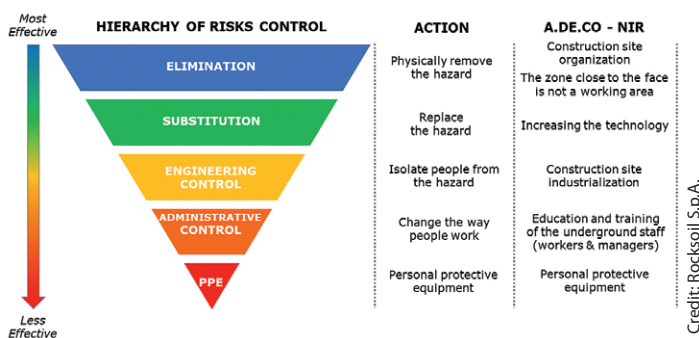
- Rock falls from crown and face
- Numbers of workers at face
- High water and mud inflow
- Hazardous gas inrush
- Falls from height
- Loss of light
- Manual operations, for example handling air tools, drill rods, support materials and cutters.

3.2 Hazard control in underground construction

Best practice (i.e. ISO 45001 Standard) involves establishing a process and determining controls to reduce risks using the following hierarchy:

- Hazard elimination: eliminate the hazard and adapt work to workers (integrating health, safety and ergonomics when planning a new construction site)
- Substitution: replacing dangerous or hazardous methods with less risky methods (increasing the use of technology)
- Engineering controls: implementing collective protective measures
- Administrative controls: giving appropriate instructions or training to workers
- Personal protective equipment (PPE): providing PPE and instructions and training for its use and maintenance

Every step of the underground excavation should be planned with safety in mind (Fig. 6). The normal surface safety concerns are also appropriate and often amplified for underground construction, including: workers must be safeguarded from falling from the work platforms used in the tunnelling process, from being struck by moving equipment and from the risk of electrocution, amongst many other hazards. However, there are also many additional hazards that workers must be protected from and guarded against.



6 Hierarchy of risk control

The contractor should ensure that suitable and sufficient tunnelling equipment for the type of work to be carried out is provided and is operated and maintained in accordance with the manufacturers' instructions. Furthermore, the contractor should reduce the risk to workers underground through the elimination or control of hazardous materials and processes.

4 The new solution

The risks related to underground excavation are exponentially increased when a tunnel must be exca-

New high speed Milan–Genoa railway line • Innovative design solution for the crossing of the Sestri Voltaggio fault area

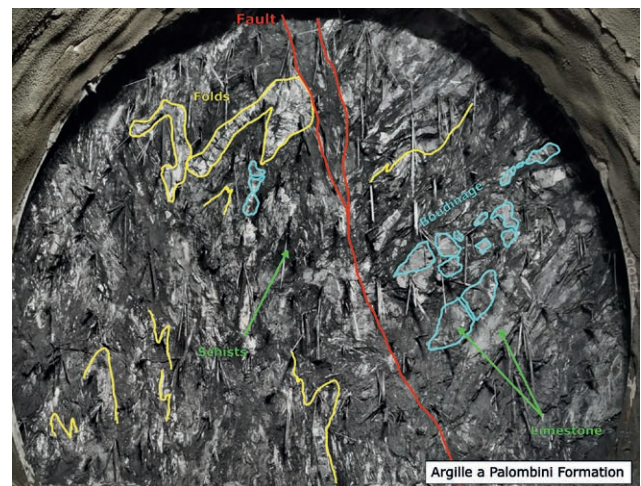
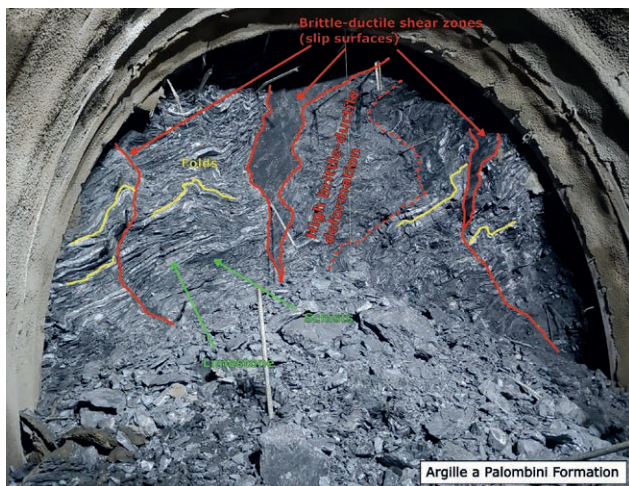
vated through difficult ground conditions. The crossing of the Sestri Voltaggio fault area necessitated the development of a new and innovative design solution, characterized by a high level of mechanization of work processes and the implementation of safe procedures for the installation of ground support and tunnel lining measures.

4.1 The evidence during excavation

The excavations of the clay lithologies within the ZSV (mainly within the Argille a Palombini, see Fig. 7), displayed a series of phenomena related to the tectonic nature of the mass (Fig. 2) which were not foreseeable and quantifiable during design development and field investigations.

The overstressing phenomena are a consequence of the tunnel excavation within nuclei of anticlinal or syncline folds (Fig. 8), sites of high stress of a tectonic nature which cannot be assessed a priori. The evidence collected during excavation could be summarised as follows:

- remarkable deformation phenomena linked to tension releases during the Argille a Palombini excavation, characterised by magnitude, line and direction not foreseeable at the design phase for the geology to be crossed;
- quick transition between rock mass and highly destructured ground mass (Fig. 7);
- high convergence rates;
- impossibility of predicting these deformation phenomena in advance.



Credit: Rocksoil S.p.A.

7 Examples of Argille a Palombini excavation face

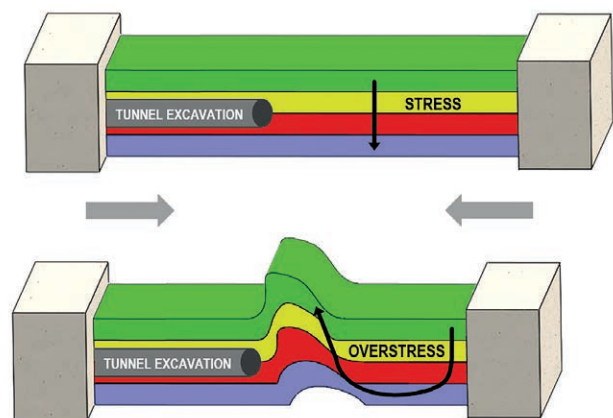
The consequences affected the stability of the first lining and the safety conditions of the workers during the tunnel excavation. The stability of the tunnel face and of the closest section of tunnel could be guaranteed only through the application of a massive steel arch profile equipped with an invert strut installed close to the excavation face, but this was not possible with the solutions considered in the project.

4.2 The design and installation of the new solution

The new design required the analysis of the phenomena from two different points of view. One related to the structural problem of the first lining and the other to the safety installation of the arch and the invert strut.

Back-analysis of the data recorded during the deformation phenomena underlined the necessity to change not only the steel profile which reinforced the first lining but the tunnel geometry also, moving from a reversed U-shaped section to a sub-circular one with an enlargement of the excavated section. Consequently, the first lining shotcrete thickness has been increased to 40 cm, the laying surface of the steel arch has been lowered and then the final lining underwent necessary modification. The shape of the excavation face had been planned as concave but the new design prescribes a deflection increase.

The health and safety regulations forbade operation in the area close to the excavation face, to satisfy this requirement it has been necessary to develop a solution which did not require the presence of workers in the proximity of the face. Each tunnel support steel arch



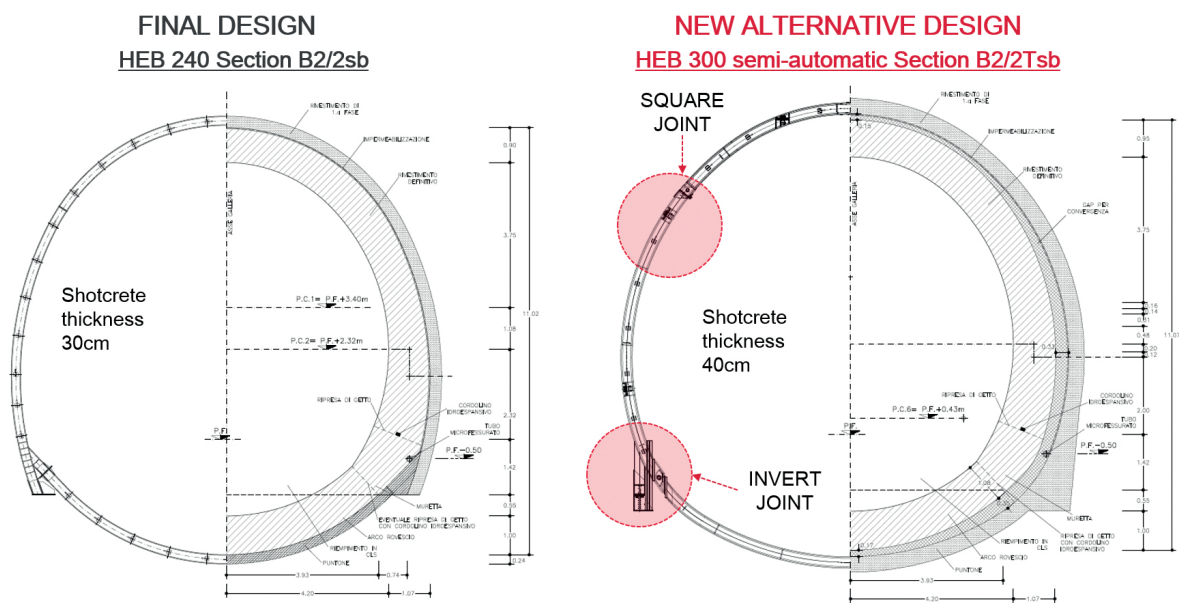
8 Tectonic nature overstressing phenomena

Credit: Rocksoil S.p.A.

New high speed Milan–Genoa railway line • Innovative design solution for the crossing of the Sestri Voltaggio fault area

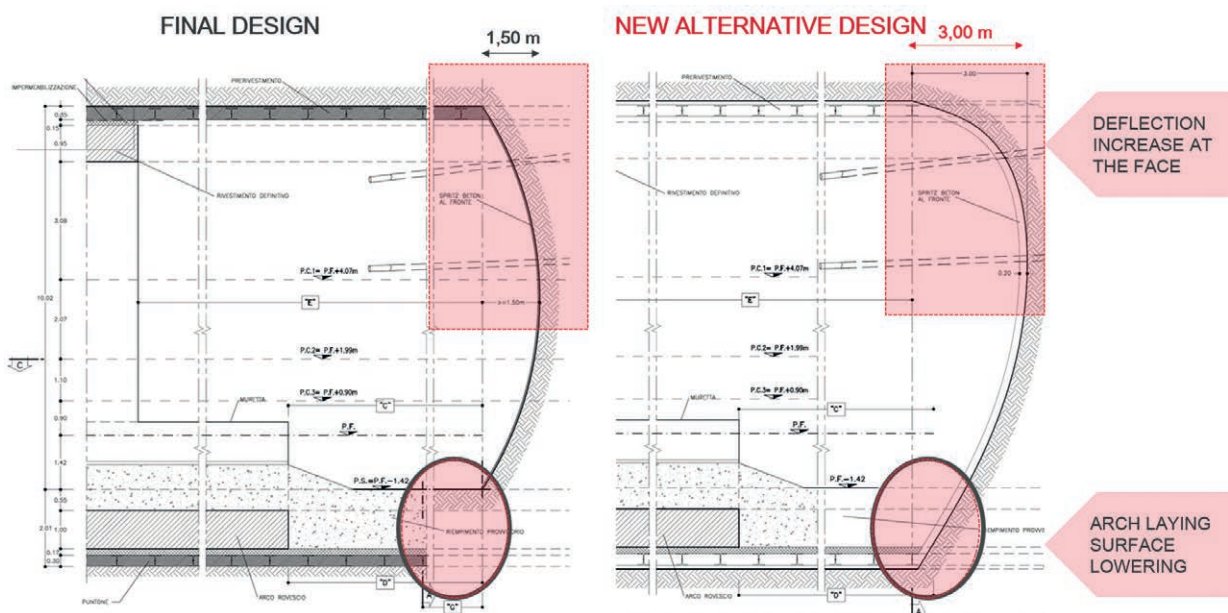
is made of three sections connected to each other with special joints and bent to follow the shape of the tunnel section it is installed in. Every installed steel arch (ring beam) is connected to the previously installed arch by means of steel elements called cross-braces. The evolution from a static steel arch installed manually to an automatic solution required the detailed design of a steel arch system which is able to automatically unfold all three elements forming a full arch, development of a smart arch-to-arch connection method and the design of an arch foot support system which is able to extend and adjust to the excavated tunnel floor and which enables the arch to connect it to the invert beam by using a newly developed square joint to form a fully closed ring beam tunnel support system.

Figure 9 shows the tunnel cross section with the initial detailed ring beam design (left) compared to the cross-section with the new solution (right). Figure 10 shows the same comparison in a long section of tunnel. Figures 11a, b and c illustrate the automatic steel arch positioning using a mechanized method, the arch unfolding and installation procedure and the installation of the invert member to form a full arch ring. The convergence monitoring records in Figure 12 compare the initial method (left) to the new method (right) and highlight the effectiveness of the new solution in reducing convergence measurements. The effect on the long-lasting stability of the tunnel with the two different steel ring beam installation methods is underlined by the graphs shown in Figure 13.



9 Comparison between the excavation section of the detailed design and the one related to the new solution.

Credit: Rocksoil S.p.A.



10 Comparison between the longitudinal section of the detailed design and the one related to the new solution.

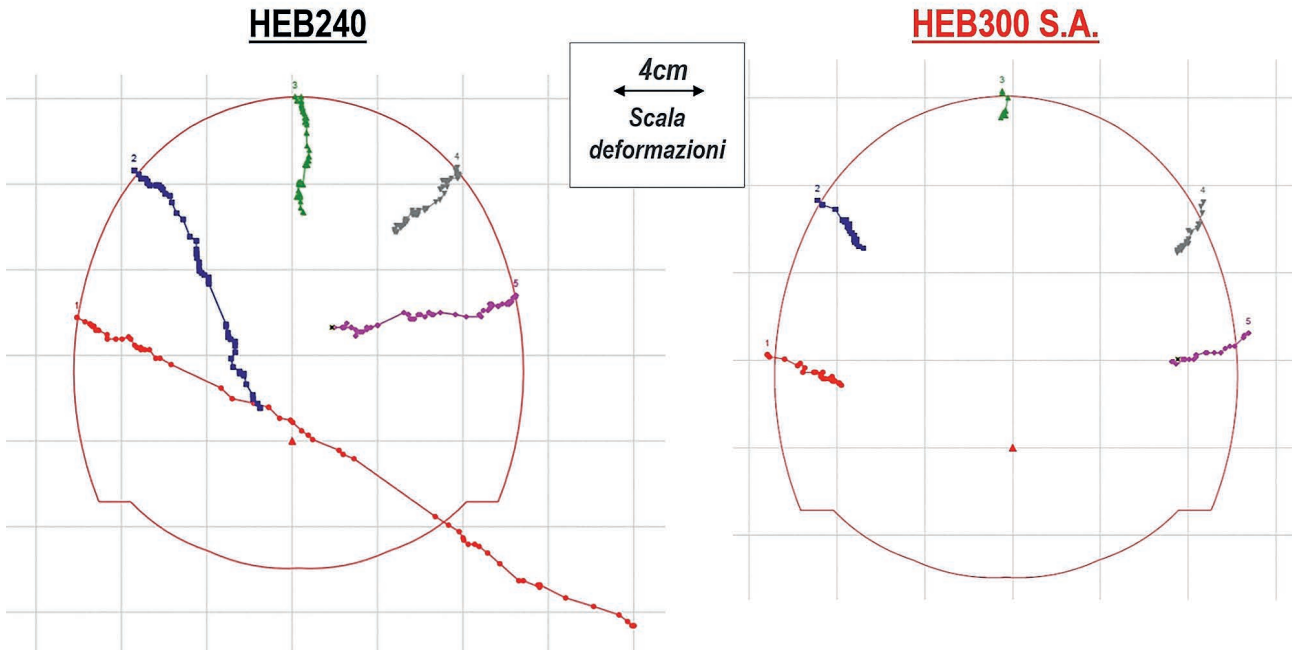
Credit: Rocksoil S.p.A.

New high speed Milan–Genoa railway line • Innovative design solution for the crossing of the Sestri Voltaggio fault area



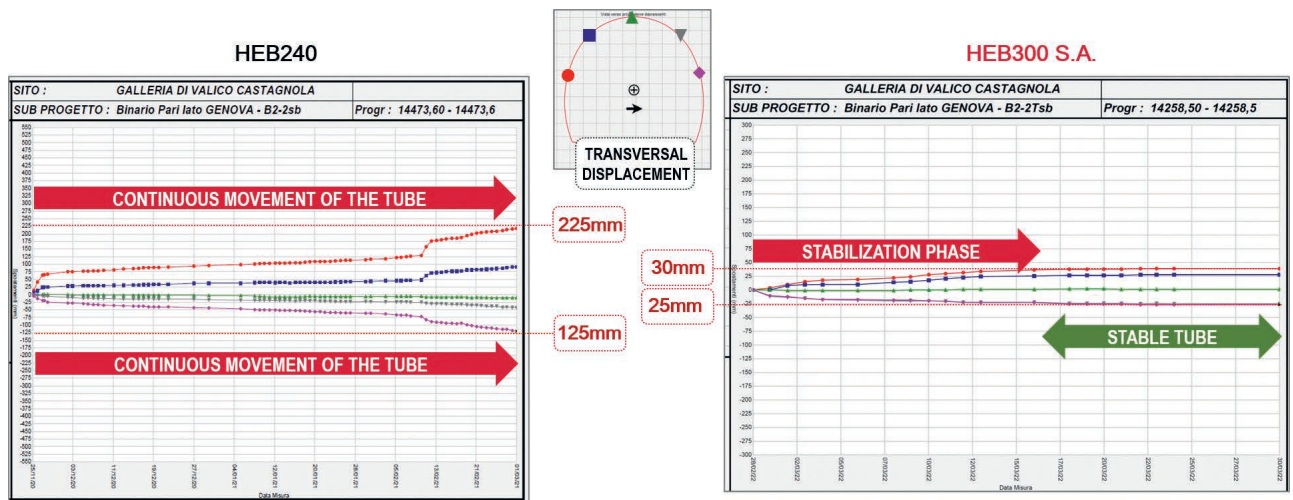
Credit: Rocksoil S.p.A.

11a, b, c Automatic steel arch installation procedure



Credit: Rocksoil S.p.A.

12 Convergence measurement comparison



Credit: Rocksoil S.p.A.

13 Long lasting stability of the tunnel comparison

5 Conclusion

Evaluating potential risks and unforeseen events in construction and tunneling is essential for decision-making and project planning. In tunnel construction, a significant portion of these risks and events is associated with unknown geotechnical conditions.

New high speed Milan–Genoa railway line • Innovative design solution for the crossing of the Sestri Voltaggio fault area

Excavations of the clay lithologies within the Sestri Voltaggio Zone (mainly within the Argille a Palombini) displayed a series of phenomena related to the tectonic nature of the mass which were not foreseeable or quantifiable during design development and field investigation. The consequences of the overstraining affected the stability of the first lining and the safety of the workers during the tunnel excavation. The unexpected and unforeseeable conditions required the analysis of the phenomena from two different points of view. One related to the structural problem of the first lining and the other related to the safety installation of the arch and the invert strut. The solution has been found in designing a new reinforcing element for the first lining. The arch is made up of three HEB300 steel profile sections joined to each other and bent to respect the excavation section. The automatic solution required a detailed design of the innovative automatic unfolding hinges, arch-to-arch connection device and the arch foot support system which is extendable and telescopic and made possible the invert connection. The effectiveness of the new solution in terms of convergence reduction and long-lasting tunnel stability has been proven by monitoring results..

References

- [1] P. Lunardi, G. Cassani, A. Bellocchio, N. Meistro (2019). Milan to Genoa high speed/capacity railway: The Italian section of the Rhine-Alpine corridor. In: Proceedings of ITA-AITES World Tunnel Congress WTC 2019, Naples, Italy, May 3–9, 2019. Tunnels and Underground Cities: Engineering and Innovation meet Archaeology, Architecture and Art – Peila, Viggiani & Celestino (Eds). © 2019 Taylor & Francis Group, London, pp. 3968-3978. ISBN 978-1-138-38865-9.
- [2] G. Capponi, L. Crispini, L. Cortesogno, L. Gaggero, M. Firpo, M. Piccazzo, R. Cabella, S. Nosengo, M.C. Bonci, G. Vannucci, M. Piazza, A. Ramella, N. Perilli, (2008). Note illustrative della carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000, foglio 213-230 "Genova".
- [3] H., Laubscher., G., Biella., R., Cassinis., R., Gelati., A., Lozej., S., Scarascia., Ignazio, E., Tabacco. (1992). The collisional knot in Liguria. International Journal of Earth Sciences, 81(2):275-289. doi: 10.1007/BF01828598
- [4] G. Lunardi, G. Cassani, A. Bellocchio, M. Frandino, M. Culotta, L. Baccolini (2017). High Speed Railway Milan - Genoa, Parametric analysis of rock stress-strain control during tunnel excavation in the "Argille a Palombini" formation. In: Proceedings of ITA-AITES World Tunnel Congress WTC 2017. Bergen, Norway, June 9–14, 2017.
- [5] P. Lunardi (2008). Design and construction of tunnels. Analysis of Controlled Deformation in Rock and Soils (ADECO-RS), 576 pp, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2008. ISBN 978-3-540-73874-9 e-ISBN 978-3-540-73875-6, DOI 10.1007/978-3-540-73875-6
- [6] P. Lunardi, G. Cassani, M. Gatti, A. Bellocchio, C.L. Zenti (2019). Life safety applied in full face excavation. In: Proceedings of ITA-AITES World Tunnel Congress WTC 2019, Naples, Italy, May 3–9, 2019. Tunnels and Underground Cities: Engineering and Innovation meet Archaeology, Architecture and Art – Peila, Viggiani & Celestino (Eds). © 2019 Taylor & Francis Group, London, pp. 4921-4931. ISBN 978-1-138-38865-9

PROJECT DATA

Region

Liguria and Piedmont, Italy

Client, project and project direction

Italian state railway company

Design, site supervision and overall construction management

Design and construction management COCIV Consortium, Site supervision ITALFERR

Execution

COCIV Consortium

Key data

Construction period: April 2012 – in progress
Start of operations: April 2012
Construction costs: EUR 8,462 billion in investment until 2023
Length: 93 km
Excavated cross-section: 75 m² ÷ 250 m² full face excavation

Special features

Long and deep tunnels, squeezing ground, tectonic, innovation in prelining

Davide Calderara, Dipl. Bau-Ing. HTL, SBB Infra, 1020 Renens

Patrick Senn, Leiter Infrastrukturbau Engineering & Design, Amberg Engineering, 8105 Regensdorf

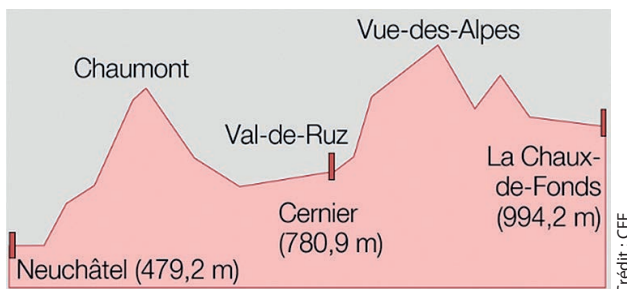
Projet Ligne Directe NE-CF

La nouvelle liaison ferroviaire Neuchâtel–La Chaux-de-Fonds

Le projet Ligne Directe NE-CF a pour objectif d'améliorer significativement le temps de parcours entre les villes de Neuchâtel et La Chaux-de-Fonds, situées respectivement dans le bas et le haut du canton de Neuchâtel. Il prévoit la réalisation de deux tunnels ferroviaires qui se distinguent par leur pente importante. Le coût d'investissement est évalué à approximativement 1.4 milliard de francs suisses.

1 Contexte

La ligne ferroviaire actuelle à voie unique qui relie les villes de Neuchâtel et La Chaux-de-Fonds franchit un dénivelé total de 560 m pour relier le bas et le haut du canton de Neuchâtel (fig. 1). La longueur du tracé est d'environ 30 km et présente une pente moyenne de 27‰.



Crédit : CFF

1 Schéma du profil longitudinal entre Neuchâtel et La Chaux-de-Fonds via le Val-de-Ruz



Crédit : CFF

2 Schéma de la future Ligne Directe NE-CF versus état existant

Avec un rebrassage nécessaire en gare de Chambrilien, le temps de trajet entre les deux villes est aujourd'hui d'un peu moins de 30 minutes (fig. 2). La ligne est exploitée avec des trains InterRegio et RegioExpress. Seul un très faible trafic marchandise circule sur une partie de cette ligne.

En 2016, la cadence est passée d'une offre asymétrique, avec deux trains à l'heure dont l'un desservant tous les arrêts, à une cadence symétrique à la demi-heure, permettant une correspondance complète avec l'offre de la ligne du Pied-du-Jura. Depuis, la fréquentation de la ligne a pratiquement doublé, passant de 3 500 passagers/jour environ à 7 000 environ aujourd'hui, avec une tendance à la hausse constante.

Malgré un assainissement effectué en 2021, le tracé et l'état de vétusté de la ligne, qui date de 1860, ne permettent pas un développement de l'offre apte à répondre aux besoins croissants de mobilité à terme ainsi qu'aux exigences sécuritaires actuelles. Pour être en mesure de répondre à l'offre prévue dans l'étape d'aménagement 2035 du programme de développement stratégique de l'infrastructure ferroviaire (PRODES) de la Confédération, la ligne actuelle doit être remplacée par une nouvelle liaison ferroviaire directe.

Le 21 juin 2019, dans le cadre de PRODES, les Chambres Fédérales ont approuvé le financement d'une liaison ferroviaire directe entre Neuchâtel et La Chaux-de-Fonds et l'aménagement d'une gare de croisement au Crêt-du-Loche. Cette nouvelle ligne permettra le cadencement au quart d'heure entre ces deux villes et celle du Locle. Suite à

l'inscription de ces mesures d'infrastructure dans l'étape d'aménagement 2035 de PRODES, l'Office Fédéral des Transports (OFT) a mandaté les CFF pour réaliser une étude préliminaire sur la base d'un avant-projet précédemment étudié par le canton de Neuchâtel en 2011.

En plus de ces nouvelles infrastructures, le démantèlement de la ligne existante entre Corcelles-Peseux et le raccordement à La Chaux-de-Fonds ainsi que le remplacement des fonctionnalités ferroviaires supprimées doivent être réalisés.

Das direkte NE-CF Bahnverbindungsprojekt

Die neue Bahnverbindung Neuchâtel–La Chaux-de-Fonds

Die Strassenverbindung zwischen den Städten Neuenburg und La Chaux-de-Fonds ist regelmässig durch den Pendlerverkehr überlastet. Das direkte NE-CF Bahnverbindungsprojekt wird diesen Druck lindern, indem es die Zugverbindung zwischen den beiden Städten erheblich verbessert und gleichzeitig den Mobilitätsanforderungen der Zukunft gerecht wird. La Chaux-de-Fonds liegt auf einer Höhe von fast 1000 m und kann als Bergstadt bezeichnet werden, während Neuchâtel am Seeufer liegt. Die grösste Herausforderung des Projektes besteht darin, den Zügen des Flachlandnetzes die Überwindung eines Höhenunterschieds von rund 560 Metern mit den im Fahrplan geforderten Geschwindigkeiten zu ermöglichen.

Il Progetto del collegamento ferroviario diretto NE-CF

Il nuovo collegamento ferroviario Neuchâtel–La Chaux-de-Fonds

La strada che collega le città svizzere Neuchâtel e La Chaux-de-Fonds è sistematicamente congestionata dal traffico pendolare. Il progetto del collegamento diretto NE-CF mitigherà questa criticità, migliorando notevolmente il collegamento ferroviario tra le due città e rimanendo al contempo all'altezza delle sfide di mobilità del futuro. La Chaux-de-Fonds si trova ad un'altitudine di quasi 1000 m e può essere considerata città montana, mentre Neuchâtel si trova sulla sponda del lago. La maggiore sfida del progetto risiede nel fatto che i treni che transitano nella rete della pianura possano superare, alle velocità necessarie per l'orario di marcia pianificato, un dislivello di ca. 560 m.

2 Description du projet

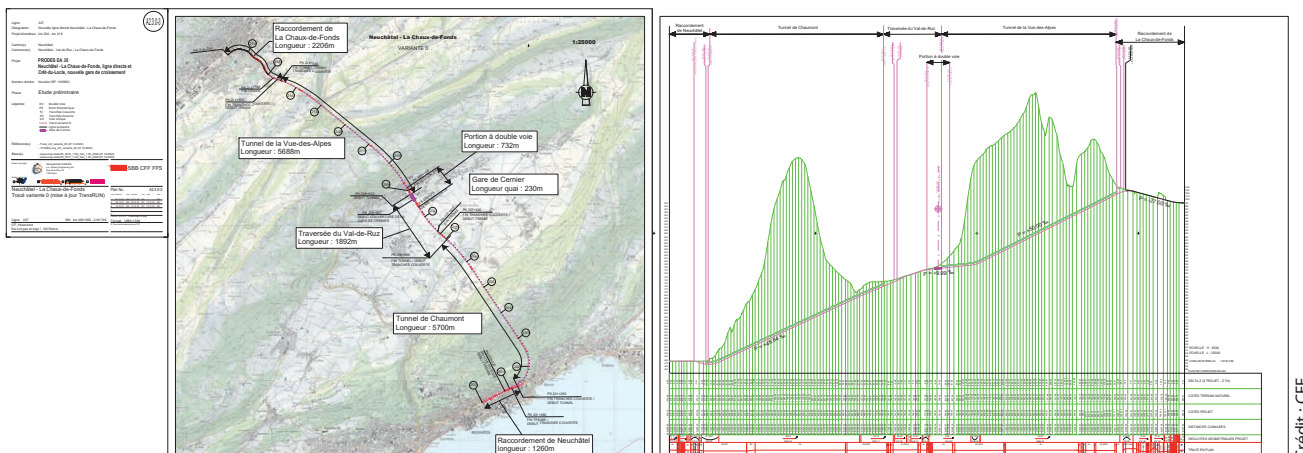
2.1 Tunnels

La nouvelle Ligne Directe Neuchâtel - La Chaux-de-Fonds à voie unique porte sur un tracé total d'environ 16.8 km, dont 14.2 km de nouveau tracé, avec un dénivelé à franchir de 560 m (fig. 3 et 4).

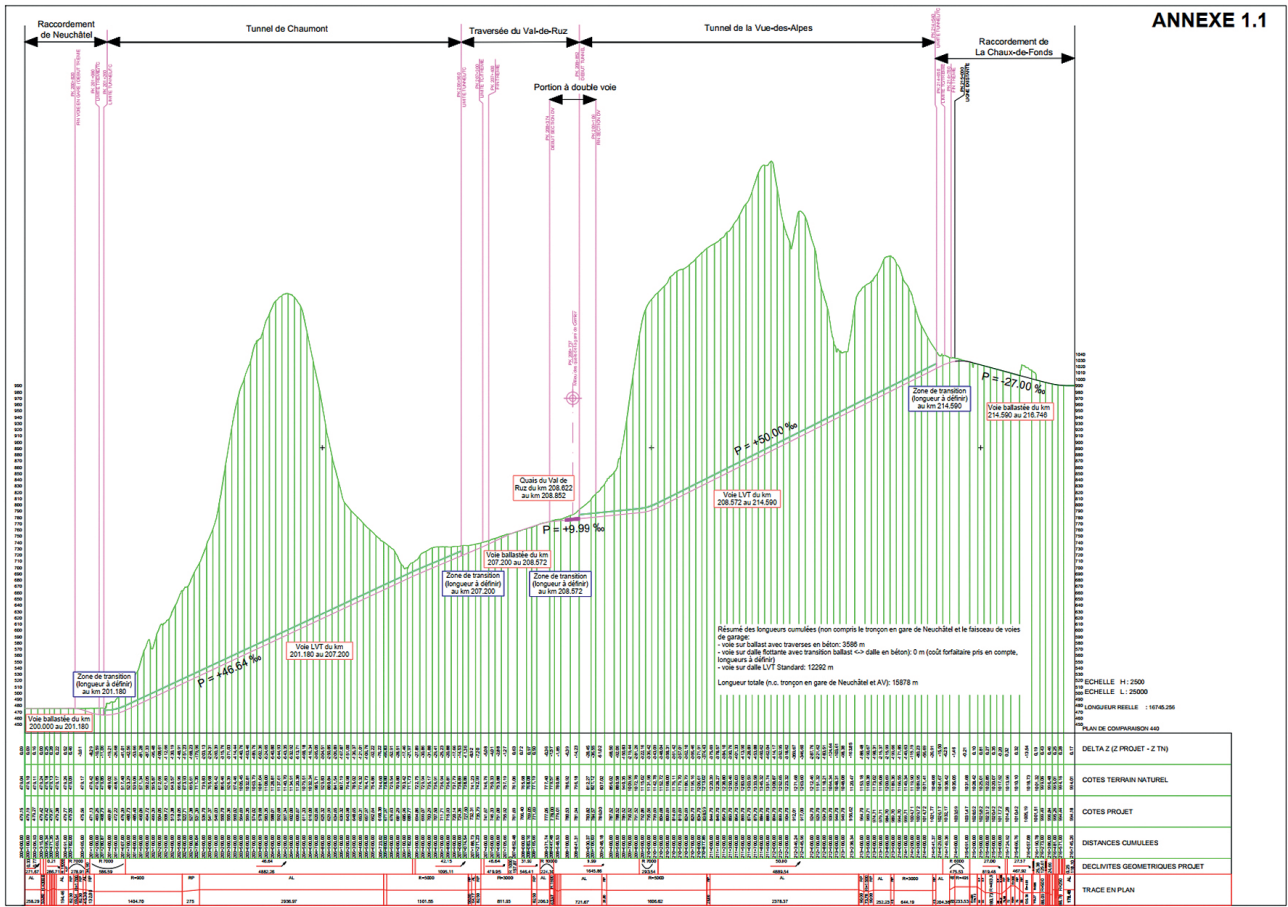
Majoritairement souterraine, elle nécessite la réalisation de deux tunnels conséquents : le tunnel de Chaumont, entre Neuchâtel et le Val-de-Ruz, et le tunnel de la Vue-des-Alpes entre Cernier et La Chaux-de-Fonds, d'une longueur respective de 5.6 km et 5.7 km.

Entre les deux tunnels se situe le secteur dit « Traversée du Val-de-Ruz », d'une longueur d'environ 1300 m, dont la réalisation est prévue à ciel ouvert. À son extrémité nord, juste avant la localité de Cernier, se trouvera la nouvelle gare du Val-de-Ruz, qui sera partiellement enterrée. Une plateforme intermodale sera réalisée au droit de la future gare de Cernier afin de permettre le rabattement des divers modes de transport à réorganiser autour de la nouvelle infrastructure.

Chaque tunnel ferroviaire, d'un diamètre d'excavation d'environ 9.4 m, est complété d'une galerie de service et de sauvetage d'un diamètre d'excavation d'environ 4.7m (fig. 5). Cette galerie est parallèle au tunnel principal, dont elle est distante d'environ 20 m et auquel elle est reliée par des rameaux de communication tous les 500 m afin de garantir le niveau de sécurité requis et un accès pour la maintenance de l'ouvrage souterrain. Ces éléments sont susceptibles d'évoluer dans le cadre des études en cours.



3 Plan de situation générale de la future Ligne Directe NE-CF



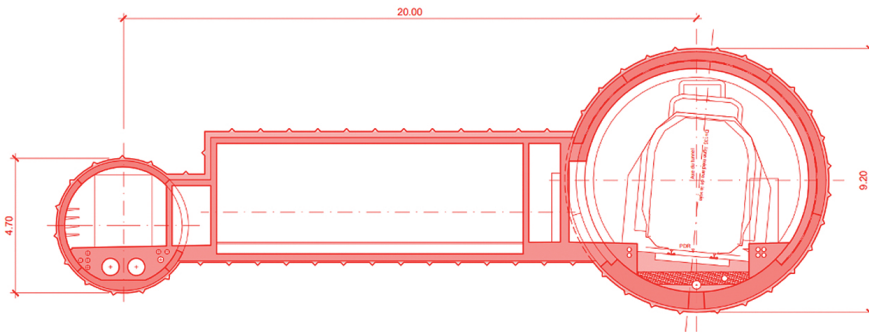
Crédit : CFF

4 Profil longitudinal de la future Ligne Directe NE-CF

Les tunnels seront construits selon le principe de la double coque, avec une étanchéité entre le soutènement et la voûte intérieure en béton coulé sur place. Dans les sections à fortes venues d'eau, une étanchéité complète pourrait s'avérer nécessaire.

Les tunnels seront équipés d'une voie sur dalle en béton et d'un rail de contact compact fixé en sommet de voûte. Dans le but d'harmoniser l'entretien, l'application de ces modes constructifs sur le secteur « traversée du Val-de-Ruz » reste à étudier.

Coupe type tunnels et galeries de sécurité, 1 :100



Galerie de service et de sauvetage :

- Diamètre d'excavation 4.70 m
- Positionnée à l'intérieur de la courbe
- Pressurisée

Tunnel ferroviaire :

- Diamètre d'excavation 9.20 m (à optimiser)
- Voie ferrée sur dalle béton
- Rail de courant (DSS)

Crédit : CFF

5 Profil standard du tunnel ferroviaire et de la galerie de service et de sauvetage

2.2 Géologie

La géologie du Jura neuchâtelois au droit des deux tunnels présente une grande diversité de formations et de nombreux défis, avec des alternances de calcaires, marnes, calcaires marneux et marnes calcaires qui constituent la majeure partie du terrain à traverser. Certaines marnes présentent en outre un potentiel de gonflement considérable. Le versant nord de la montagne de Chaumont est constitué de molasse tectonisée ou fortement fissurée, tandis que le Val-de-Ruz comporte de la moraine. La nature des terrains varie ainsi de dur et compact à mou et fracturé, présentant des propriétés similaires à celles de terrains meubles. L'équipe

de projet s'attend donc à ce que certains tronçons soient étanches et secs, et que d'autres se retrouvent dans des zones aquifères avec de l'eau partiellement sous pression. Par ailleurs, les formations calcaires de la région contiennent de nombreux karsts, et sous le Montperreux, il existe un risque important de rencontrer du Keuper contenant de l'anhydrite. Des sondages à grande profondeur ont été effectués et les résultats sont en cours d'analyse.

Malgré ces conditions de terrain variables, un percement mécanique s'impose en raison de la grande longueur des deux tunnels. Les réflexions en cours portent principalement sur des tunneliers à bouclier avec la possibilité de stabiliser le front de taille. Les avancements devraient être réalisés en majorité en mode ouvert, c'est-à-dire sans appui sur le front de taille, mais le passage en mode confiné est envisagé sur certains tronçons. Cela devrait être le cas dans les zones de portails et dans le tronçon le plus au nord du tunnel de Chaumont, où des formations molassiques tectonisées et peu stables, en combinaison avec d'éventuelles venues d'eau, nécessiteront de telles mesures. Certains tronçons courts à faible recouvrement pourraient éventuellement être excavés de manière conventionnelle.

Afin d'évacuer en toute sécurité les eaux du massif, et en particulier les eaux karstiques, tous les creusements seront effectués en direction ascendante, c'est-à-dire du sud vers le nord. Faute d'exutoire au portail de Neuchâtel, il ne sera pas possible d'évacuer les eaux du massif, en particulier les débits karstiques, ce qui nécessitera la réalisation d'une galerie d'évacuation descendant jusqu'aux rives du lac de Neuchâtel.

Les zones d'installations aux portails sud des deux tunnels, situées en milieu urbain pour le tunnel de Chaumont et dans le Val-de-Ruz pour celui de la Vue-des-Alpes, ne présentent pas, en termes de surfaces, d'environnement et de transports, des conditions favorables à la logistique d'un pareil chantier. Pour ces raisons, une étude est en cours afin de tester l'option de réaliser la galerie d'évacuation des eaux plus grande que nécessaire du point de vue hydraulique, à savoir de la dimensionner pour permettre le transit de camions et de l'utiliser également pour la logistique de construction pendant la durée des travaux. Un tel ouvrage permettrait de créer un accès facilité aux rives du lac et à d'autres secteurs présentant un potentiel de valorisation des matériaux d'excavation et pourrait être utilisé pour la livraison de voussoirs et des matériaux de construction en direction du front de taille.

2.3 Mise en oeuvre

Concernant l'excavation par tunneliers et le choix du concept d'avancement, une analyse de variantes sera menée pour comparer les deux solutions suivantes :

- la première, dite « parallèle », qui consiste à excaver simultanément les deux secteurs en tunnel, à l'aide de deux tunneliers par secteur, l'un au gabarit de la galerie ferroviaire et l'autre au gabarit de la galerie de service et de sauvetage, soit au total quatre tunneliers travaillant simultanément. Pour cette variante, il est nécessaire de réaliser deux installations de chantier, l'une à Neuchâtel et l'autre au Val-de-Ruz ;
- la seconde, dite « en série », qui consiste, en partant de Neuchâtel, à excaver le tunnel de Chaumont avant de s'attaquer à celui de La Vue-des-Alpes, ceci en réalisant simultanément la galerie ferroviaire et la galerie de sécurité. Pour cette variante, les matériaux peuvent être acheminés et évacués par les galeries vers le bas.

Dans les deux scénarios, la place d'installation principale serait située non pas en gare de Neuchâtel mais au bord du lac, accessible grâce à la galerie de décharge. Cette configuration permettrait de privilégier une évacuation de la quasi-totalité des matériaux d'excavation par voie lacustre plutôt que par camions à travers le Val-de-Ruz. La place d'installation au bord du lac étant également à proximité immédiate d'une entrée d'autoroute, cela permettrait d'éviter de charger trop lourdement le réseau des routes cantonales et communales.

En cas de réalisation des deux tunnels en série, les installations d'approvisionnement et d'évacuation resteraient plus longtemps en service sur les berges du bord du Lac de Neuchâtel, une zone bien connectée au réseau autoroutier et accessible par voie lacustre, ce qui déchargerait le Val-de-Ruz d'un important trafic. La durée des travaux serait en revanche prolongée. À l'inverse, dans le cas d'un creusement des tunnels en parallèle, les besoins pour les surfaces d'installation ainsi que la gestion des matériaux dans le Val-de-Ruz seraient considérablement accrus et le trafic routier beaucoup plus important – car le secteur n'est raccordé ni au rail, ni à des voies navigables. L'avantage d'un tel scénario réside dans le fait que la durée globale des travaux pourrait être raccourcie et la nouvelle ligne ferroviaire mise en service plus tôt.

En raison de la forte déclivité des pentes allant jusqu'à 50‰ dans les tunnels, le transport souterrain de voussoirs, de mortier et de béton devra être assuré en priorité par des véhicules sur pneus. Le transport des déblais, en revanche, peut être envisagé à l'aide de tapis roulants. En raison de surfaces disponibles limitées à proximité du portail en gare de Neuchâtel, les possibilités de stocks tampons pour les déblais et les matériaux sont restreintes, ce qui laisse à penser qu'une logistique agile et précise sera de première importance pour la réussite du chantier.

3 Matériel roulant

La contrainte d'un temps de parcours inférieur à 15 minutes pour relier les deux villes, avec un tracé de 16.8 km et un dénivelé supérieur à 560 m, nécessite un tracé de la ligne avec des pentes variant entre 46 et 50‰ sur plus de 4.5 km. Cela a pour conséquence que la nouvelle ligne ferroviaire ne peut pas être interopérable selon les Spécifications Techniques d'Interopérabilité (STI) européennes, car elles spécifient une pente maximale de 25‰ sur une section moyenne de 10 km et de 35‰ sur une section allant jusqu'à 6 km. Cependant, certains éléments des STI doivent néanmoins être pris en compte dans la conception de l'infrastructure, notamment les aspects liés à la sécurité.

Le projet de la Ligne Directe représente un défi unique en raison de cette combinaison de fortes pentes et de vitesses élevées nécessaires pour assurer le temps de parcours et la cadence voulue.

Dès le début des études préliminaires, il est clairement apparu que la capacité du matériel roulant à assurer une exploitation régulière et fiable dans de telles conditions n'allait pas de soi. C'est pour cette raison qu'un groupe de travail spécifiquement dédié aux études portant sur le matériel a été constitué.

Un panel de spécialistes de l'infrastructure et du matériel roulant a été réuni avec pour mission de répondre aux questions suivantes :

- Le matériel roulant standard actuel susceptible d'être engagé sur une ligne avec un tel profil longitudinal est-il capable d'affronter les pentes et d'atteindre les vitesses nécessaires à la tenue des temps de parcours ?
- Le cadre normatif actuel peut-il être respecté, notamment en ce qui concerne la chaîne de traction mais aussi les systèmes de freinage des trains ?
- Les coûts d'exploitation du matériel roulant seront-ils supportables ?
- Le cas échéant, de quelles adaptations le matériel roulant aurait-il besoin pour assurer l'offre horaire ?
- Les valeurs extrêmes et théoriques du tableau de freinage contenu dans les Dispositions d'Exécution de l'Ordonnance sur les Chemins de Fer (tableau de freinage 90 DE-OCF) sont-elles valables et peuvent-elles être appliquées ?

Les résultats de cette étude sont positifs et permettent d'envisager la mise en place d'un tracé avec une pente allant jusqu'à 50‰ avec des vitesses maximales de circulation en montée de 130 km/h et en descente de 105 km/h. Pour des raisons de fiabilité et de robustesse de l'offre, le matériel roulant devra être doté d'une chaîne de traction renforcée (trois bogies de traction au lieu des deux habituels) et d'une chaîne de freinage évitant une surchauffe du système en cas de freinages d'urgence répétés. Dans le cadre de la validation des valeurs extrêmes et théoriques du tableau de freinage 90 des DE-OCF, une campagne de mesure simulant les pentes a été menée et les résultats de celle-ci ont fait l'objet d'un rapport, lequel a été transmis à l'OFT pour validation. Les conclusions de ce rapport ont été acceptées par l'autorité de tutelle, ce qui a permis le lancement de la phase d'avant-projet.

4 Coûts et délais

Depuis la précédente étude réalisée en 2011, le projet a fait l'objet d'une actualisation récente des coûts afin de tenir compte de l'évolution du marché de la construction ainsi que de l'évolution technologique de l'infrastructure, tant pour sa construction que pour son exploitation.

Tous les coûts ont été évalués sur la base des plans et rapports réalisés par les services spécialisés. Un calcul des coûts de cycle de vie a également été réalisé.

Dans le cadre de processus CFF, les coûts ont été soumis pour validation au groupe d'experts interne et à un collège d'experts externes pour avis (principe de la « Second Opinion »). Les remarques issues de ces expertises ont été prises en compte.

Le coût total du projet est estimé à 1380 MCHF à $\pm 30\%$ (base de prix 12/2014). Les études d'avant-projet en cours devront affiner les prévisions pour aboutir à une estimation plus précise.

Concernant les délais, l'étude d'avant-projet permettra de définir le programme détaillé de la réalisation de la nouvelle infrastructure ferroviaire.

DONNÉES DE PROJET

Région

Canton de Neuchâtel, Suisse

Client

Office fédéral des transports - Division infrastructure, Section grands projets

Direction des études

CFF Infrastructure - Développement du réseau Région Ouest

Équipe en charge de l'étude

Interne CFF et Externe avec le groupement mandataire CASAG (Consortium Amberg, Systra, AJS et GESTE)

Données clés

Période de construction: 2031–2038
Début des opérations: Fin 2038
Frais de construction: CHF 1380 Mio.
Longueur: 16.8 km
Coupe transversale excavée: 66.5 m² et 17.3 m²

Davide Calderara, Dipl. Bau-Ing. HTL, SBB Infra, 1020 Renens

Patrick Senn, Leiter Infrastrukturbau Engineering & Design, Amberg Engineering, 8105 Regensdorf

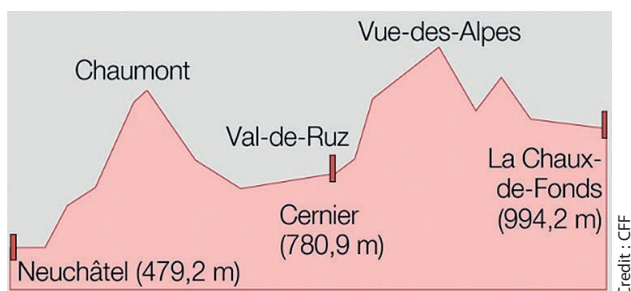
NE-CF Direct Rail Link Project

The new Neuchâtel–La Chaux-de-Fonds rail link

The Neuchâtel–La Chaux-de-Fonds (NE-CF) Direct Rail Link Project aims to significantly improve travel times between the Swiss towns of Neuchâtel and La Chaux-de-Fonds, in the lower and upper parts of the canton of Neuchâtel respectively. It involves the construction of two railway tunnels which are distinguished by their significant slope. The investment cost is estimated at approximately 1.4 billion Swiss francs.

1 Context

The current single-track railway line connecting the towns of Neuchâtel and La Chaux-de-Fonds crosses a total height difference of 560 m to link the lower and upper regions of the canton of Neuchâtel (Fig. 1). The route is approximately 30 km long and has an average gradient of 27‰.



1 Diagram of the longitudinal profile between Neuchâtel and La Chaux-de-Fonds via Val-de-Ruz

Credit: CFF

With a change of direction necessary at Chambrelieu station, the travel time between the two towns is just under 30 minutes today (Fig. 2). The rail service is operated using Inter-Regio and RegioExpress trains. Only a very small amount of freight traffic runs on one section of the route.

In 2016, the rail service changed from an asymmetrical schedule, with two trains per hour, one of which served all stops, to a symmetrical half-hourly timetable, allowing trains to fully connect with the Pied-du-Jura line. Since then, the number of passengers using the service has almost doubled, rising from around 3,500 a day to around 7,000 today – with a steady upward trend.



2 Diagram of the future NE-CF Direct Rail Link versus the current route

Credit: CFF

Despite undergoing renovation in 2021, the track and the dilapidated state of the railway line, which dates back to 1860, do not allow for the development of services that would meet the growing needs for mobility in the long term, as well as current safety requirements. In order to meet the service requirements set out in the 2035 planning phase of the Swiss Confederation's Strategic Rail Infrastructure Development Programme (PRODES), the current rail line needs to be replaced by a new direct rail link.

On 21 June 2019, as part of PRODES, the Swiss Federal Assembly approved funding for a direct rail link between Neuchâtel and La Chaux-de-Fonds and the construction of a junction station in Crêt-du-Loche. The new line will provide a quarter-hourly service between these two towns and Le Locle. Following the inclusion of these infrastructure measures in the 2035 planning stage of PRODES, the Federal Office

of Transport commissioned SBB to carry out a preliminary study based on a preliminary project previously studied by the canton of Neuchâtel in 2011.

In addition to the new infrastructure planned, the existing line between Corcelles-Peseux and the connection point in La Chaux-de-Fonds will have to be dismantled, and the rail operations that have been discontinued will have to be replaced.

Das direkte NE-CF Bahnverbindungsprojekt

Die neue Bahnverbindung Neuchâtel–La Chaux-de-Fonds

Die Strassenverbindung zwischen den Städten Neuenburg und La Chaux-de-Fonds ist regelmässig durch den Pendlerverkehr überlastet. Das direkte NE-CF Bahnverbindungsprojekt wird diesen Druck lindern, indem es die Zugverbindung zwischen den beiden Städten erheblich verbessert und gleichzeitig den Mobilitätsanforderungen der Zukunft gerecht wird. La Chaux-de-Fonds liegt auf einer Höhe von fast 1000 m und kann als Bergstadt bezeichnet werden, während Neuchâtel am Seeufer liegt. Die grösste Herausforderung des Projektes besteht darin, den Zügen des Flachlandnetzes die Überwindung eines Höhenunterschieds von rund 560 Metern mit den im Fahrplan geforderten Geschwindigkeiten zu ermöglichen.

Il Progetto del collegamento ferroviario diretto NE-CF

Il nuovo collegamento ferroviario Neuchâtel–La Chaux-de-Fonds

La strada che collega le città svizzere Neuchâtel e La Chaux-de-Fonds è sistematicamente congestionata dal traffico pendolare. Il progetto del collegamento diretto NE-CF mitigherà questa criticità, migliorando notevolmente il collegamento ferroviario tra le due città e rimanendo al contempo all'altezza delle sfide di mobilità del futuro. La Chaux-de-Fonds si trova ad un'altitudine di quasi 1000 m e può essere considerata città montana, mentre Neuchâtel si trova sulla sponda del lago. La maggiore sfida del progetto risiede nel fatto che i treni che transitano nella rete della pianura possano superare, alle velocità necessarie per l'orario di marcia pianificato, un dislivello di ca. 560 m.

2 Project description

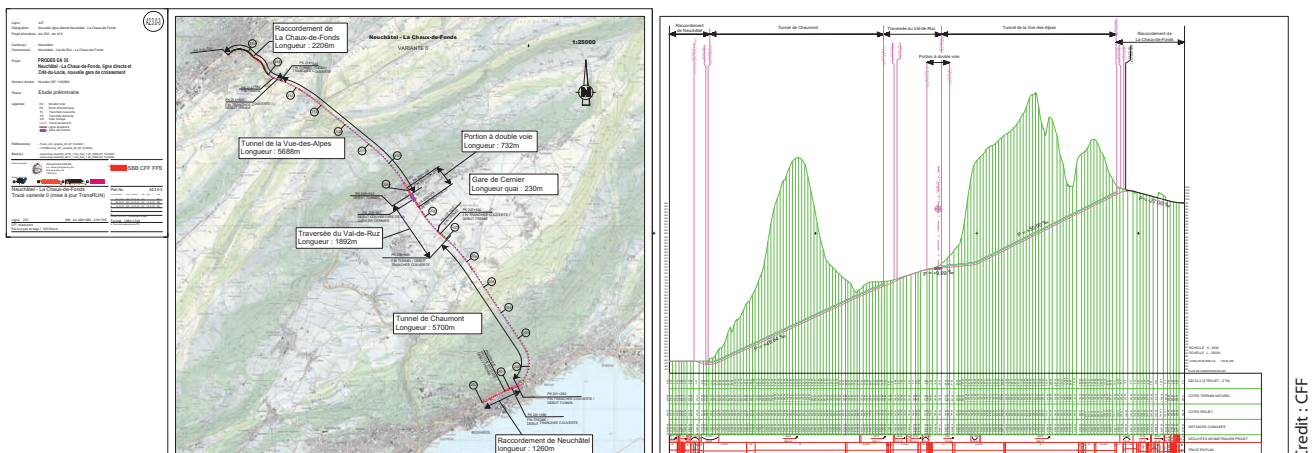
2.1 Tunnels

The new single-track Neuchâtel – La Chaux-de-Fonds Direct Link will cover a total route of around 16.8 km, including 14.2 km of new track, with a height difference of 560 m (Figs. 3 and 4).

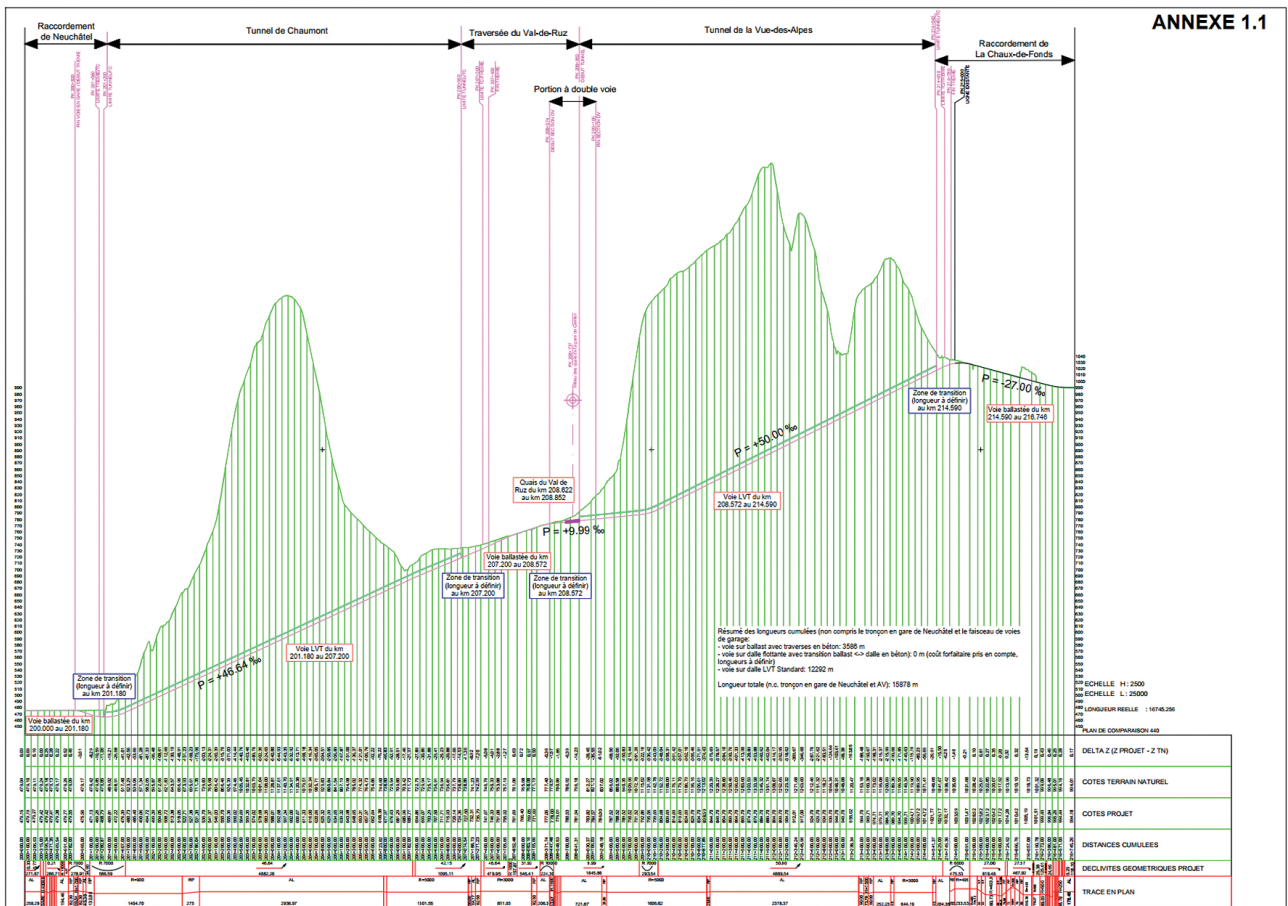
Mostly underground, it requires the construction of two major tunnels: the Chaumont Tunnel between Neuchâtel and Val-de-Ruz, and the Vue-des-Alpes Tunnel between Cernier and La Chaux-de-Fonds, 5.6 km and 5.7 km long respectively.

The Traversée du Val-de-Ruz (Val-de-Ruz Crossing) sector runs between the two tunnels, and is around 1,300 m long with open-cast construction, which is planned to be constructed above ground. At its northern end, just before the town of Cernier, the new underground Val-de-Ruz station will be constructed. An intermodal platform will be constructed at the future Cernier station to enable the various modes of transport to be reorganised around the new infrastructure.

Each railway tunnel, with an excavation diameter of around 9.4 m, will be supplemented by a service and emergency tunnel with an excavation diameter of around 4.7 m (Fig. 5). This tunnel will run parallel to the main tunnel – about 20 m away from it – and will be connected to it by cross-passages every 500 m to guarantee the required level of safety and access to maintain the underground structure. This information is subject to change as part of ongoing studies.



3 General location plan of the future NE–CF Direct Rail Link



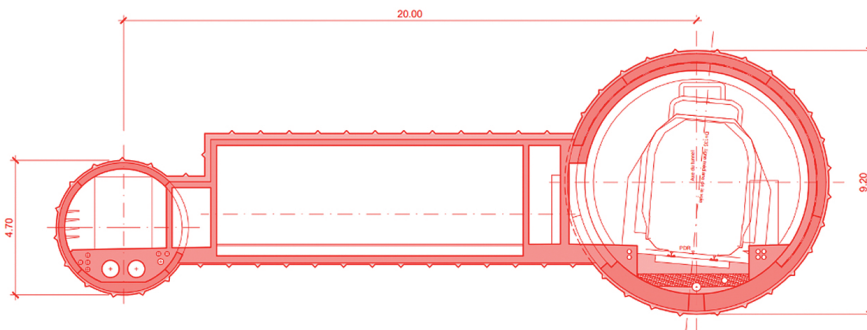
Credit : CFF

4 Longitudinal profile of the future NE-CF Direct Rail Link

The tunnels will be constructed using the double-shell principle, with a waterproof membrane between the temporary lining and the final cast-in-place concrete vault lining. In sections with heavy water ingress, a complete watertight seal may be necessary.

The tunnels will be equipped with tracks on a concrete slab and a compact contact rail fixed to the top of the vault. In order to harmonise maintenance, the application of these construction methods to the Val-de-Ruz Crossing” sector remains to be studied.

Coupe type tunnels et galeries de sécurité, 1 :100



Galerie de service et de sauvetage :

- Diamètre d'excavation 4.70 m
- Positionnée à l'intérieur de la courbe
- Pressurisée

Tunnel ferroviaire :

- Diamètre d'excavation 9.20 m (à optimiser)
- Voie ferrée sur dalle béton
- Rail de courant (DSS)

Credit : CFF

5 Standard profile of the railway tunnel and the service and rescue tunnel

2.2 Geology

The geology making up the Neuchâtel Jura mountain range in the vicinity of the two tunnels presents a wide variety of rock formations and numerous geological challenges, with alternating limestone layers, marl, marly limestone and calcareous marl making up most of the terrain to be crossed. Some marls also have considerable swelling potential. The northern slopes of Mont Chaumont are composed of tectonised or highly fissured molasse, while the Val-de-Ruz region is composed of moraine. The nature of the terrain varies from hard and compact to soft and fractured, with properties similar to those of loose soil. The project

team therefore expects some sections to be watertight and dry – and others to be in aquifer zones with water partially under pressure. In addition, the limestone formations in the region contain numerous karsts, and under the municipality of Montperreux, there is a significant risk of encountering the Keuper which contains anhydrite. Deep drilling tests have been carried out and the results are currently being analysed.

Despite these varying terrain conditions, mechanical tunnelling was necessary because of the considerable length of the two tunnels. Discussions are currently focusing on shield-type tunnel boring machines with the possibility of stabilising the face. The majority of advances should be carried out in open mode, i.e., without support at the face, but switching to a closed mode is planned for certain sections. This should be the case in the portal areas and in the northernmost section of the Chaumont Tunnel, where tectonised molassic formations with low stability, combined with possible water ingress, will require such measures. Some short sections with little overlap could potentially be excavated using conventional methods.

In order to safely drain the water from the massif, and in particular the karstic water, all excavations will be carried out in an upward direction, i.e., from south to north. Without an outlet at the Neuchâtel portal, it will not be possible to drain off the water from the massif, particularly the karstic water flows. This will require the construction of a descending drainage gallery to the shores of Lake Neuchâtel.

The site setup at the two tunnels' southern portals, which are located in an urban area for the Chaumont Tunnel and in the Val-de-Ruz for the Vue-des-Alpes Tunnel, do not present favourable conditions in terms of surface area, environment and transport for the logistics of such a construction site. For these reasons, a study is underway to test the option of constructing the drainage gallery larger than necessary from a hydraulic point of view, i.e., dimensioning it to allow the transit of lorries and to also use it for construction logistics during construction work. Such a structure would provide easy access to the lakeshore and other areas with potential for recycling excavated materials; it could also be used to deliver tunnel segments and construction materials to the face.

2.3 Implementation

As far as excavating with tunnel boring machines (TBMs) and choosing the tunnel advance concept are concerned, a variants analysis will be carried out to compare the following two solutions:

- The first option, known as 'parallel', involves excavating both tunnel sectors simultaneously using a total of four TBMs. Two TBMs are used for the required diameter of the railway tunnels, while the other two are for the diameter of the service and rescue tunnel. For this approach, two site installations are necessary, one in Neuchâtel and the other in Val-de-Ruz;
- The second, called 'serial', consists of excavating the Chaumont Tunnel from Neuchâtel before tackling the Vue-des-Alpes Tunnel, while simultaneously constructing the railway tunnel and the service and rescue tunnel. In this variant, the materials can be transported downwards through the tunnels.

In both scenarios, the main construction site would not be at Neuchâtel station, but on the lakeside, accessible via the landfill tunnel. This configuration would make it possible to dispose of almost all the excavated material via the lake rather than by lorry through Val-de-Ruz. As the lakeside site would also be in the immediate vicinity of a motorway junction, this would avoid placing an excessive burden on the network of nearby cantonal and communal roads.

If the two tunnels were constructed in series, the supply and disposal facilities would remain in service for a longer period of time on the shores of Lake Neuchâtel, an area that is well connected to the motorway network and accessible by lake, which would relieve the Val-de-Ruz of a lot of traffic. However, construction time would need to be extended. On the other hand, if the tunnels were excavated in parallel, the need for construction sites and the management of materials in Val-de-Ruz would increase considerably, and road traffic would be much heavier – because the area is not connected to either rail- or waterways. The advantage of such a scenario is that the overall duration of construction work could be shortened and the new railway line brought into service earlier.

Because of the steep gradients of up to 50‰ in the tunnels, underground transport of tunnel segments (tubbings), mortar and concrete will have to be carried out primarily by wheeled vehicles. Muck spoil, on the other hand, can be transported using conveyor belts. Because of the limited space available near the portal at Neuchâtel station, there is little scope for buffer stocks of excavated material, which suggests that agile and precise logistics will be vital to the project's success.

3 Rolling stock

The obligation of less than 15 minutes' travel time to link the two towns, with a route of 16.8 km and a difference in height of more than 560 m, requires the track to be laid with gradients varying between 46 and 50‰, over more than 4.5 km. This results in the new railway line not being interoperable according to the European Technical Specifications for Interoperability (TSI), as they specify a maximum gradient of 25‰ over an average section of 10 km and 35‰ over a section of up to 6 km. However, some elements of the TSI still need to be considered in the design of the infrastructure, especially safety-related aspects.

The Direct Rail Link project represents a unique challenge because of the combination of steep gradients and high speeds required to ensure the desired travel time and service frequency.

From the outset of the preliminary studies, it was clear that the capacity of the rolling stock to ensure regular and reliable operation in such conditions was not self-evident. A working group specifically dedicated to the rolling stock in question has therefore been set up.

A panel of infrastructure and rolling stock specialists was brought together to answer the following questions:

- Is the current standard rolling stock likely to be used on a railway line with this kind of longitudinal profile capable of coping with the gradients and achieving the speeds needed to keep up with travel times?
- Can the current standards be complied with, particularly with regard to the traction chain and train braking systems?
- Will the operating costs of the rolling stock be manageable?
- What adaptations, if any, would need to be made to the rolling stock to meet the planned service schedule?
- Are the extreme and theoretical values of the braking table contained in the Railways Ordinance's Implementing Provisions (braking table 90 DE-OCF) valid and can they be applied?

The results of this study are positive and make it possible to imagine a railway line with a gradient of up to 50‰ with maximum traffic speeds of 130 km/h uphill and 105 km/h downhill. To ensure the reliability and robustness of the service, the rolling stock will have to be fitted with a reinforced traction chain (three traction bogies instead of the usual two) and a braking chain that prevents the system from overheating in the event of repeated emergency braking. In order to validate the extreme and theoretical values of braking table 90 in the DE-OCF, a measurement campaign simulating the gradients was carried out and the results were reported to the OFT for validation. The report's conclusions were accepted by the supervisory authority, enabling the preliminary design phase to be launched.

4 Costs and deadlines

Since the previous study was carried out in 2011, the costs of the project have recently been updated to take account of changes in the construction market and technological developments in infrastructure, both for construction and operation.

All costs have been assessed on the basis of plans and reports produced by specialist departments. Life cycle costs were also calculated.

As part of SBB's process framework, the costs were submitted for validation to the internal group of experts and to a panel of external experts for their opinion (the "second opinion" principle). The comments made by these experts have been taken into account.

The total cost of the project is estimated to be 1,380 million Swiss francs at $\pm 30\%$ (12/2014 price base). The preliminary studies currently underway should refine the forecasts to arrive at a more accurate estimate.

As far as deadlines are concerned, the preliminary design study will define the detailed programme for constructing the new railway infrastructure.

KEY PROJECT DATA

Region

Canton Neuchâtel, Switzerland

Client

Federal Office of Transport – Infrastructure Division, Major Projects Section

Studies management

SBB Infrastructure – Network Development, Western Region

Team in charge of the study

Internal to SBB and external to the CASAG consortium (Consortium Amberg, Systra, AJS and GESTE)

Key data

Construction period:	2031–2038
Start of operations:	End of 2038
Construction costs:	CHF 1,380 million
Length:	16.8 km
Excavated cross section:	66.5 m ² and 17.3 m ²

Das Finale der 130 km langen Koralmbahn mit dem 33 km langen Koralmtunnel • Herausforderungen eines Grossprojektes in der Fertigstellungs- und Inbetriebnahmephase

Klaus Schneider, Dr., ÖBB-Infrastruktur AG, Graz/AT
Helmut Steiner, Dr., ÖBB-Infrastruktur AG, Graz/AT

Das Finale der 130 km langen Koralmbahn mit dem 33 km langen Koralmtunnel

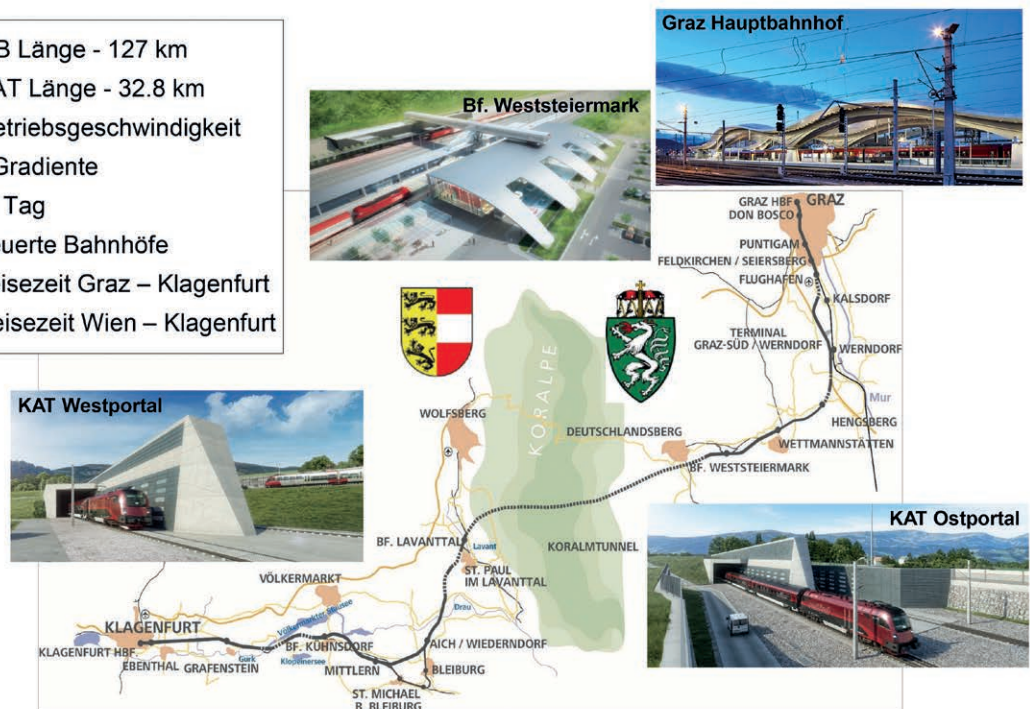
Herausforderungen eines Grossprojektes in der Fertigstellungs- und Inbetriebnahmephase

Die rund 130 km lange Koralmbahn (KAB) zwischen Graz und Klagenfurt zählt in ihrer Gesamtheit zu einem der grössten Eisenbahninfrastrukturprojekte in Europa. Sie ist wichtiger Bestandteil der Baltisch-Adriatischen Achse des EU-Kernnetzes. Der Koralmtunnel (KAT) mit einer Länge von rund 33 km stellt das Herz dieser Neubaustrecke dar. Auf dem Weg zu einer betriebsbereiten KAB standen und stehen zahlreiche Innovationen und Herausforderungen.

1 Übersicht

Die KAB ist eine zweigleisige elektrifizierte Neubaustrecke mit einer Länge von rund 130 km und einer Höchstgeschwindigkeit von 250 km/h zwischen den beiden österreichischen Landeshauptstädten Graz in der Steiermark und Klagenfurt in Kärnten und verbindet auf europäischer Ebene als östlichste Alpenquerung das Baltikum mit dem oberitalienischen Wirtschaftsraum.

- Koralmbahn / KAB Länge - 127 km
- Koralmtunnel / KAT Länge - 32.8 km
- 250 km/h max. Betriebsgeschwindigkeit
- < 1 % Neigung / Gradiente
- bis zu 250 Züge / Tag
- 23 neue und erneuerte Bahnhöfe
- 45 min. – min. Reisezeit Graz – Klagenfurt
- 2.5 Std. – min. Reisezeit Wien – Klagenfurt



Credit: ÖBB

1 Koralmbahn Graz-Klagenfurt/Übersichtsdarstellung

Das Projekt beinhaltet entlang dieser Strecke 23 neue oder modernisierte Bahnhöfe, 12 Tunnel mit einer Gesamtlänge von rund 50 km und über 100 Brücken und Kunstbauwerke. Das Herzstück stellt der zweiröhrig, eingleisige KAT mit einer Länge von rund 32.9 km und einer Überdeckung im Kernbereich von 1200 m dar [5].

Das Finale der 130 km langen Koralmbahn mit dem 33 km langen Koralmtunnel • Herausforderungen eines Grossprojektes in der Fertigstellungs- und Inbetriebnahmephase

La dernière étape du chemin de fer de Koralm, long de 130 km, comprenant le tunnel de Koralm, long de 33 km

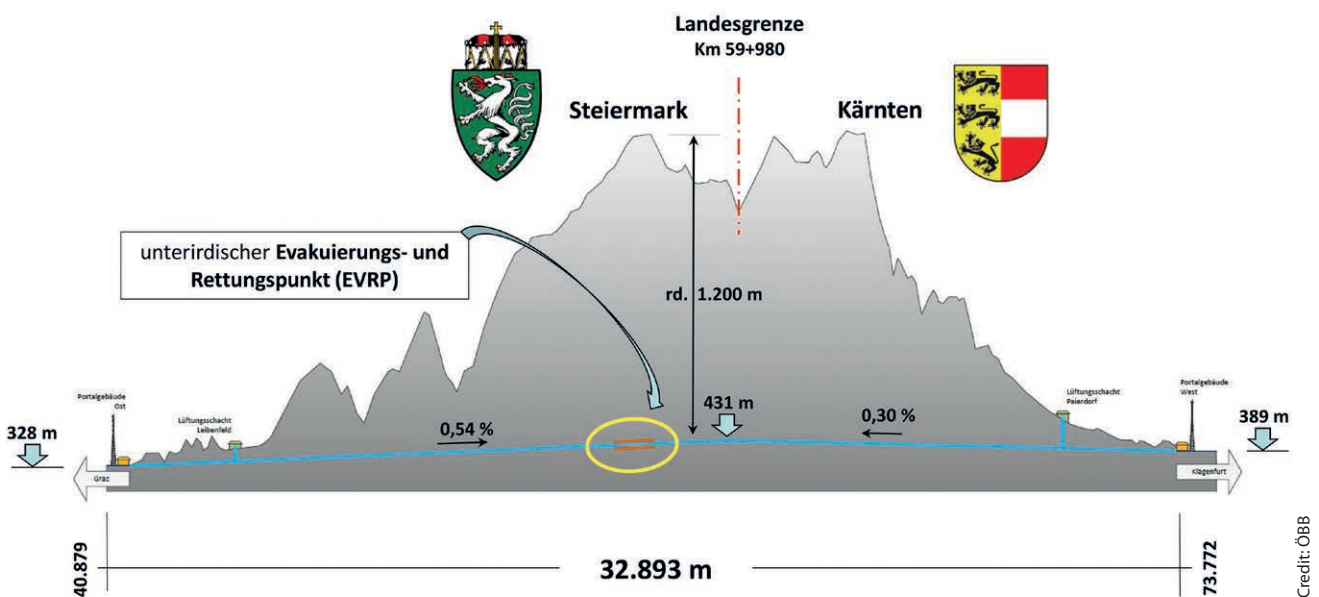
Défis rencontrés dans un grand projet pendant sa phase d'achèvement et de mise en service

Le chemin de fer de Koralm (KAB), d'une longueur d'environ 130 km, qui relie Graz à Klagenfurt, est l'un des plus grands projets d'infrastructure ferroviaire en Europe. Il s'agit d'une partie importante de l'axe Baltique-Adriatique du réseau central de l'UE. Le tunnel de Koralm (KAT), d'une longueur d'environ 33 kilomètres, est le cœur de cette nouvelle ligne ferroviaire. De nombreuses innovations et de nombreux défis ont été et continuent d'être relevés pour parvenir à un KAB opérationnel.

Il finale della Koralmbahn con la galleria del Koralm lunga 33 km

Sfide di un megaprogetto nella fase di completamento e di messa in funzione

La Koralmbahn (KAB) tra Graz e Klagenfurt, lunga circa 130 km, costituisce nella sua interezza uno dei più grandi progetti di infrastruttura ferroviaria d'Europa. È un importante componente dell'asse Baltico-Adriatico del network europeo. Il tunnel del Koralm (KAT), con una lunghezza di circa 33 km, rappresenta il cuore di questa linea di nuova costruzione. Nella strada verso una KAB pronta ad entrare in funzione ci sono state e continuano ad esserci numerose sfide ed innovazioni.



2 Koralmtunnel/Übersichtslängenschnitt

Lange und tief liegende Tunnel können nicht als Standardbauwerk gesehen werden. Es müssen oftmals individuelle Sonderlösungen gefunden werden. Insbesondere bei der Tunnelausstattung, Tunnelsicherheit, Telematik, Leit- und Sicherungstechnik müssen aktuelle Erfahrungen und Technologieentwicklungen beobachtet und in geeigneter Weise in das laufende Projekt integriert werden.

2 Rückblick

Der Projektstart für die Planung der KAB erfolgte im Jahr 1995. Ab 1997 waren die Jahre geprägt durch die Trassensuche, Grundlagenerhebungen und Vorerkundungen sowie den Dialog mit den Interessensvertretungen der Regionen, welche im Konsens abgeschlossen werden konnten. Darauf aufbauend wurden in den folgenden Jahren die Behördenverfahren (Umweltverträglichkeitsprüfungen, eisenbahnrechtliche Baugenehmigungen und weit über 100 weitere Verfahren anderer Materiangesetze) abgearbeitet. Das führte schlussendlich im Zeitraum 2000 bis 2007 abschnittsweise zu positiven eisenbahnrechtlichen Baubescheiden. Unmittelbar danach wurde im jeweiligen Abschnitt mit dem Bau begonnen. Dadurch konnte schon 2010 der erste Neubauabschnitt, als Zulaufstrecke zum KAT in der Steiermark, für den Regionalverkehr in Betrieb genommen

Das Finale der 130 km langen Koralmbahn mit dem 33 km langen Koralmtunnel • Herausforderungen eines Grossprojektes in der Fertigstellungs- und Inbetriebnahmephase



Credit: ÖBB

3 Koralmtunnel/Finaler Durchschlag

werden. Zwischen 2008 und 2022 wurde der Rohbau des KAT errichtet. Der erste Durchschlag zwischen den Rohbau-Baulosen Ost (KAT 2) und West (KAT 3) erfolgte in der Südröhre im Jahr 2018 und der finale Durchschlag am 17. Juni 2020.

Somit vergingen fast 20 Jahre zwischen den ersten Erkundungsmassnahmen 2002, dem Beginn der drei Haupt-Rohbaulose KAT 1/2008, KAT 2/2011 und KAT 3/2013 und dem finalen Tunneldurchschlag 2020.

3 Herausforderung Projektdauer

Projekte in diesen Dimensionen bringen eine Unzahl an technischen, rechtlichen, organisatorischen, verkehrspolitischen und strukturellen Herausforderungen mit sich. Eine Besonderheit stellt weiters die lange Projektdauer von fast 30 Jahren dar.

In diesem Zeitraum ändert sich eine Vielzahl von Projektgrundlagen wie Gesetze, Richtlinien, Regelwerke, Normen. Weiters erfolgen Bestelländerungen durch geänderte Zielsetzungen, verkehrspolitisch geänderte Rahmenbindungen sowie Erkenntnisse aus zwischenzeitig in Betrieb genommenen vergleichbaren Grossprojekten. Gerade Letzteres führt zur Notwendigkeit, technische Weiterentwicklungen massvoll und sinnvoll zuzulassen.

Die Erfordernis, ein baurechtlich genehmigtes Projekt gesetzeskonform und unverändert in Betrieb zu nehmen, ist im Gegensatz dazu eine unverrückbare Erfordernis. Das Management ist daher laufend mit dem Zielkonflikt konfrontiert, die Grundkonzeption des Projektes stabil und möglichst unverändert aufrecht zu belassen, erforderliche Innovationen und Verbesserungen zuzulassen, um am Ende doch ein genehmigungsfähiges Projekt in Betrieb zu nehmen.

Die unterschiedlichen Gesichtspunkte der Projektbeteiligten (Öffentlichkeit, Politik, Entscheidungsträger, Behörden etc.), die immer schneller werdenden Veränderungen im Projektumfeld und die technologischen Entwicklungen, gerade im IT-, Telematik-Bereich, machen diese Aufgabe sehr komplex. Demnach ist das Vorhaben zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme 20 bis 30 Jahre alt, muss aber zu diesem Zeitpunkt dem aktuellen Stand der Technik entsprechen. Weiters soll es so dimensioniert sein, dass eine Lebensdauer und Infrastrukturbeständigkeit von 150 bis 200 Jahre vorausschauend berücksichtigt wurde. Bei der KAB ist es bis dato gelungen, eine gute Balance zwischen all diesen laufenden Veränderungen und der Beibehaltung des verfahrensrechtlich genehmigten Projektes zu finden.

4 Herausforderung Kostenstabilität

Die Projektdauer und der unausweichliche Druck zu Bestell- bzw. Projektänderungen stellen auch in Bezug auf die Kostenstabilität eine Herausforderung dar. Diese stetigen Veränderungen stehen im Widerspruch zur Erwartungshaltung, bereits in einem frühen Projektstadium konkrete Kosten zu nennen, an denen der Projekterfolg auch noch Jahrzehnte danach gemessen wird. Durch den permanent vorhandenen Erwartungsdruck wie auch den ständigen Verteilwettbewerb um begrenzt vorhandene Ressourcen ist eine Kostenstabilität von besonderer Bedeutung, nachdem sie in der öffentlichen Wahrnehmung auch ein Indikator für eine stabile Projektumsetzung darstellt. Oft wird die Frage nach den Kosten auch nicht präzise bzw. unvollständig gestellt, z. B. betreffend Umfang, Valorisierung, Preisbasis. Auf den Punkt gebracht lautet die Frage jedoch fast immer: Was wird es gekostet haben, wenn das Projekt fertig ist?

Die wichtigsten Erfolgsfaktoren, um das Projekt fristgerecht, genehmigungsfähig (inhaltlich und technisch korrekt) und kostenstabil abzuschliessen, sind:

- aktives Projektmanagement,
- aktive Risikobewirtschaftung,
- aktive Kostenverfolgung,
- Vorausvalorisierung.

Bereits bei Projektstart und somit bei der Erstellung der ersten Kostenansätze/-schätzungen müssen die unbekannt Elemente eines Projektes in Form einer aktiven Risikobewirtschaftung unter Einbindung des gesamten Projektteams transparent abge-

Das Finale der 130 km langen Koralmbahn mit dem 33 km langen Koralmtunnel • Herausforderungen eines Grossprojektes in der Fertigstellungs- und Inbetriebnahmephase

schätzt werden. Aktiv bedeutet, dass diverse Arbeitsgruppen in den Veränderungsprozess des Projektes einwirken bzw. wenn erforderlich gegensteuern und die Risikoeinschätzungen laufend aktualisiert, eingetretene Veränderungen und Risiken verifiziert und zugeordnet werden.

Beim KAB-Projekt wurden die ersten abschnittswisen Kostenanschläge, auf valider Basis einer stabilen Trassenplanung und der ersten UVP-Verfahren, im Zeitraum 2004 bis 2006 erstellt. Unter konsequenter Einhaltung der beschriebenen Projektstrategie konnten die Kosten bis vor einem Jahr auf 1 % Genauigkeit stabil gehalten werden. Lediglich die aktuellen aussergewöhnlichen Inflationsentwicklungen und die pandemie- und krisenbedingten Sonderereignisse haben diese fast 20 Jahre anhaltende Kostenstabilität geringfügig verändert. Von rund 5.4 Mrd. Euro Anfang der 2000er auf rund 5.6 Mrd. im heurigen Jahr 2024.

Diese Kostenstabilität eines Infrastrukturprojektes mit diesen Dimensionen stellt auch international eine Sonderstellung dar und beweist den Erfolg einer konsequenten Risiko- und Kostenbewirtschaftung – trotz erheblicher Probleme bei den Tunnelvortrieben des KAT und der Pandemie/Inflation.

5 Herausforderung Innovationen bei der bahntechnischen Ausstattung

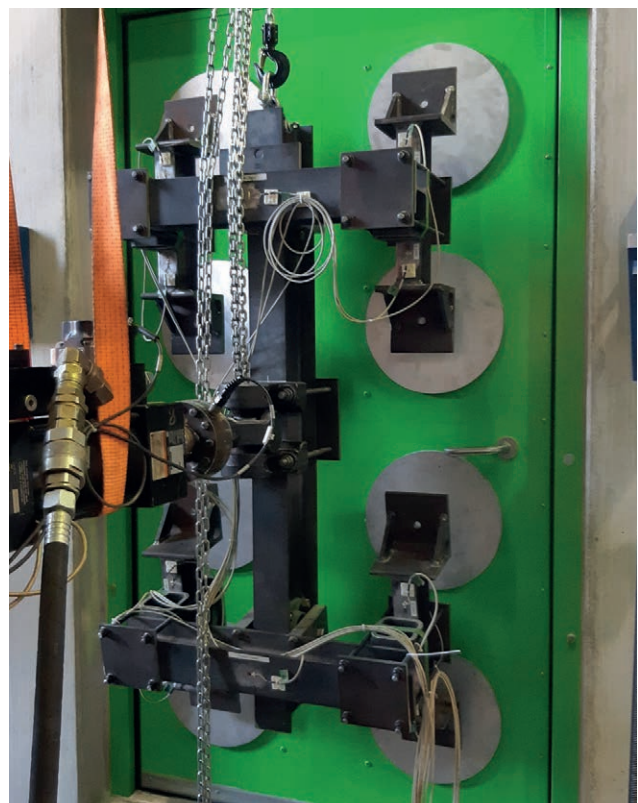
5.1 Druckeinwirkungen auf Einbauten im Fahrtunnel

Die beim laufenden Bahnbetrieb in einem schnell befahrenen Bahntunnel auftretenden Druckerscheinungen stellen eine grosse Herausforderung dar. Durch intensive Grundlagenforschung konnten sinnvolle Bemessungsansätze gefunden werden, die nun bei den unterschiedlichsten, im Tunnelquerschnitt verbauten Objekten konsequent bei der Dimensionierung zur Anwendung gebracht wurden [2, 6].

In diesem Zusammenhang sind vor allem Tunneltüren zu nennen, die in vielerlei Hinsicht eine entscheidende Rolle spielen. Sie sollen im Falle einer Entfluchtung als Notausgangstür dienen und daher leicht und einfach bedienbar wie auch zuverlässig sein. Sie stellen weiters im Ereignisfall einen Brandabschnitt zwischen dem Fahrtunnel und dem Querschlag dar und sollen über einen längeren Zeitraum von 30 bis 50 Jahre nicht ihre Gebrauchstauglichkeit (u. a. leichte Öffenbarkeit) verlieren. Auch der Aufwand hinsichtlich Wartung und Instandhaltung sollte so gering wie möglich ausfallen.



4 Dauerbelastungsprüfung Notausgangstüren



Credit: ÖBB

Unter Abwägungen aller erfassbaren Vor- und Nachteile wurde auch der Beschluss gefasst, dass bei allen Tunnelbauwerken der KAB Schiebetüren als Notausgangstür zur Anwendung gelangen [8].

Das Finale der 130 km langen Koralmbahn mit dem 33 km langen Koralmtunnel • Herausforderungen eines Grossprojektes in der Fertigstellungs- und Inbetriebnahmephase

5.2 Belüftung und Kühlung technischer Einrichtungen

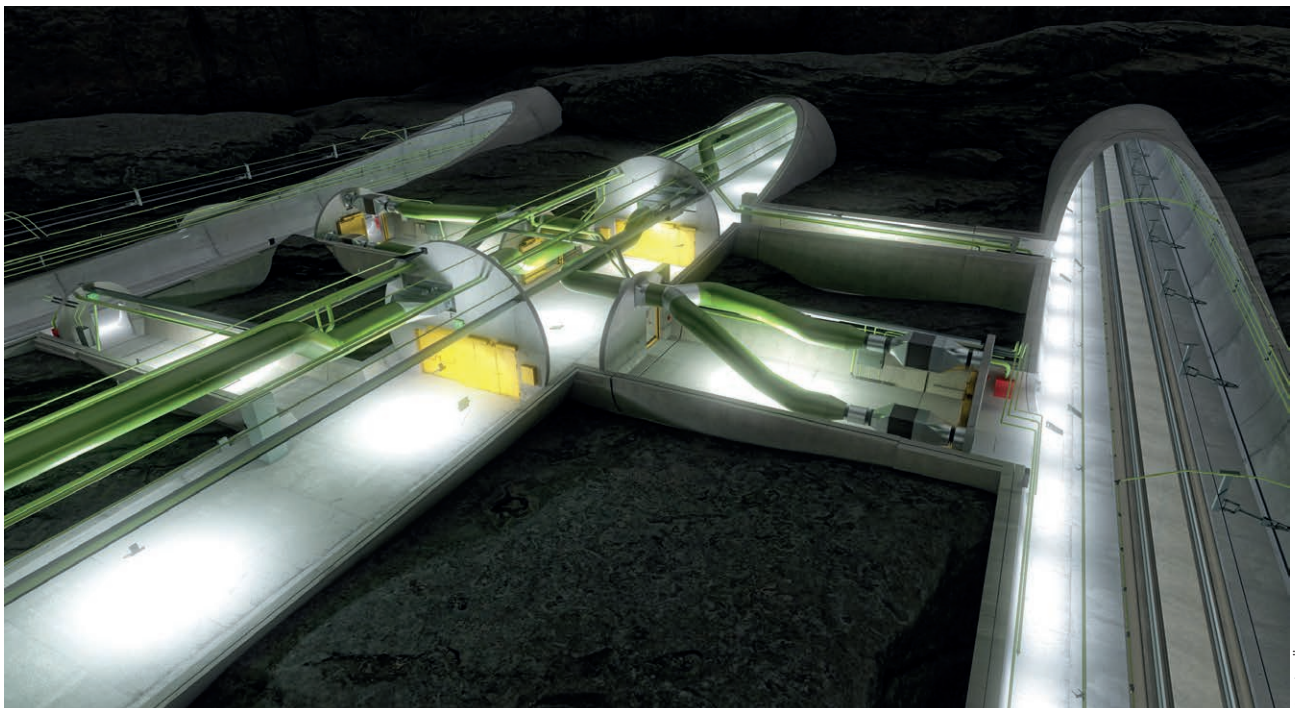
Entsprechend der strategischen Zielsetzung, die Fahrrohre des KAT weitestgehend von Einbauten frei zu halten, befindet sich der Grossteil der technischen Installationen in den Querschlägen in einzelnen abgeschlossenen Räumen. In der Regel kann von 5 baulich getrennten Räumen pro Querschlag ausgegangen werden, in denen vonseiten der 50-Hz-Energieversorgung von der übergeordneten Mittelspannung auf Niederspannung gewechselt wird und damit die für die Bahnbetriebsführung erforderlichen Telekom- und fernwirktechnischen Anlagen versorgt werden. Die entstehenden Verlustwärmern müssen gesichert in die Fahrtunnel ausgebracht und dann von dort durch den stattfindenden Bahnverkehr weiter verteilt und bis ins Freie abgeführt werden.

Unter Berücksichtigung vieler Einflussfaktoren, wie u. a. die Felstemperatur und deren Veränderung über die Zeit, die Temperaturverteilung in den Fahrrohren unter Berücksichtigung jahreszeitlich bedingter Temperaturganglinien an den Portalen und der Einbeziehung übergeordneter globaler Temperaturentwicklung, konnte ein Lüftungs-Kühlungskonzept für den gesamten Tunnel und die dort befindlichen technischen Einrichtungen entwickelt werden [1, 3, 7, 9].

Auch die in den technischen Anlagenräumen angestrebte sinnvolle Zieltemperatur – unter Berücksichtigung temperaturabhängiger Anlagenlebensdauer (Austauschzyklen) in Kombination mit dem damit verbundenen Energieaufwand wie auch Wartungs- und Instandhaltungserfordernissen und den damit verbundenen Kosten – wurde bei der Entscheidungsfindung im Rahmen von LifeCycle-Untersuchungen bzw. -Betrachtungen berücksichtigt [4].

5.3 Building Information Modeling/BIM

Auf Basis des bestehenden Rohbautunnels wurde nun die letzte Planungs- und Bauphase unter Anwendung der BIM-Methode umgesetzt. Einerseits als 3D-Planungstool, um so früh wie möglich bauliche Konflikte bzw. Kollisionen zu erkennen, und andererseits als Daten- und Informationsträger für den künftigen Erhalter, um die erforderlichen Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten zu erleichtern und zu optimieren [10].



Credit: ÖBB

5 Unterirdischer Evakuierungs- und Rettungspunkt/BIM-Modell

6 Umsetzung im Finale

6.1 Allgemein

Das Finale eines Projektes stellt immer eine grosse Herausforderung hinsichtlich des verbliebenen Projekt- bzw. Zeitbudgets dar und fordert unabhängig von der Projektgrösse alle Beteiligten. Bei einem Projekt mit einer Projektdauer von 30 Jahren dauert allerdings auch diese Phase nicht einige Wochen oder Monate, sondern erfordert finale Kraftanstrengungen über einige Jahre hinweg. Wenn in diesem sensiblen Zeitraum zusätzlich eine globale Pandemie stattfindet und internationale Konflikte losbrechen, die gerade in der Ausrüstungsphase zu Lieferengpässen führen können, wird diese ohnedies kritische

Das Finale der 130 km langen Koralmbahn mit dem 33 km langen Koralmtunnel • Herausforderungen eines Grossprojektes in der Fertigstellungs- und Inbetriebnahmephase

Projektphase zu einer besonderen Belastungsprobe für das gesamte Projektteam. Nur durch die Fortsetzung des geschilderten konsequenten Projekt- und Risikomanagements konnten auch diese Situationen durch Teamarbeit und gegenseitiges Vertrauen bewältigt werden.

6.2 Ablauf finale Projektphase

Parallel zu den letzten noch laufenden Rohbauarbeiten wurde 2020 mit der bahntechnischen Ausstattung begonnen. Am Beginn erfolgte die Errichtung der Festen Fahrbahn. Im Vorlauf bzw. parallel zu diesen Arbeiten wurden in Summe 13 000 elastisch gelagerte Gleistragplatten in Niederösterreich (NÖ) für den KAT produziert und anschliessend direkt mit Ganzzügen in die Steiermark und weiter in den Tunnel transportiert, verlegt, eingerichtet und mit selbstverdichtendem Beton (SCC) untergossen.



Credit: ÖBB

6 Elastisch gelagerte Gleistragplatten/Umschlag Strasse auf Schiene

Nach Fertigstellung des Fahrwegs wurden im Nachgang links und rechts davon die Banketten und Randwege wie auch alle damit in Verbindung stehenden Kabelwege und Schächte in den Fahrrohren errichtet bzw. betoniert.



Credit: ÖBB

7 Herstellung Feste Fahrbahn, Randweg, Bankett

Das Finale der 130 km langen Koralmbahn mit dem 33 km langen Koralmtunnel • Herausforderungen eines Grossprojektes in der Fertigstellungs- und Inbetriebnahmephase

Alle daran anschliessenden Arbeiten, wie z. B. der Antransport von Materialien wie auch Personen, konnten danach nur mehr gleisgebunden erfolgen. Das in den Querschlägen verbaute technische Equipment umfasst u. a. Anlagen zur Energieversorgung, reicht weiter über Telekomanlagen und Übertragungsmöglichkeiten aller anfallenden Daten in die Ferne (Fernwirkleittechnik) zu den ÖBB-Leitstellen bis hin zu diversen maschinellen Einrichtungen.



8 Unterirdischer Evakuierungs- und Rettungspunkt/Installationsarbeiten

6.3 Logistik

Im Gegensatz zum Tunnel-Rohbau sind in der Phase der Ausstattung unterschiedlichste Gewerke und Professionen teilweise gleichzeitig und auf engstem Raum oder aber über den ganzen Tunnel verteilt bei der Arbeit, um in den beiden Fahrtunneln, den 70 Querschlägen und der in Tunnelmitte befindlichen Nothaltestelle Installationen vorzunehmen. Der ziel- wie auch zeitgerechte Materialtransport, vom Materialeingang auf der Baustelleneinrichtungsfläche über den Weitertransport bis hin zu den diversen Einbaustellen im Tunnel, in Kombination mit der Eintaktung sinnvoller Arbeitsschritte bzw. Abläufe mit den jeweiligen Facharbeitern, erfordert eine vorausschauende und alle Gewerke umfassende detaillierte Logistikplanung. Über einen laufenden Soll-Ist-Leistungsvergleich ist es möglich, schnell und vor allem rechtzeitig Massnahmen zur Gegensteuerung zu ergreifen, um u. a. die bauvertraglich vereinbarten Termine einhalten zu können.

Eine spezielle Herausforderung hinsichtlich Logistik und Transport von Materialien wie auch Personen beim KAT stellt die Zugänglichkeit dar. Selbst bei längeren Tunnelprojekten ergaben sich durch Zwischenangriffe kürzere Ausrüstungs-Teilstrecken. Beim KAT hingegen kann das gesamte Tunnelsystem nur über die beiden Portale Ost bzw. West erreicht werden.

6.4 Inbetriebnahme, Inbetriebsetzung

Die abschliessende letzte Phase des Projektes in den Jahren 2024/2025 ist geprägt durch drei Haupttätigkeiten:

- Abnahmen und Test der technischen Anlagen (Sicherheit, Funktionsfähigkeit),
- Betriebsbewilligungen (Behördenverfahren),
- Betriebsaufnahmen und Schulungen.

Mit Ende 2024/Beginn 2025 wird ein umfassend ausgestatteter und in die Leit-, Steuerungssysteme der ÖBB eingebundener funktions-tüchtiger Tunnel zur Verfügung stehen. Mit Anfang April 2025 ist der Beginn der Mess-, Test- und Hochstastfahrten eingetaktet, die bis in den Sommer 2025 erfolgreich abgeschlossen sein sollten. Laufend mit der schrittweisen baulichen Fertigstellung wird die Übergabe an das spätere Instandhaltungspersonal durchgeführt. Die Schulung – „Vermittlung der Orts- und Streckenkenntnis“ – von mehr als 1000 Triebfahrzeugführern, Fahrdienstleitern, von Einsatz- und Sicherheitskräften und dem zukünftigen Erhaltungspersonal wird ebenfalls parallel in dieser Phase durchgeführt und ist bereits jetzt mit entsprechenden Fahrplänen und Zeitplänen minutiös hinterlegt.

Nach Abschluss all dieser Teilvorgänge werden die erforderlichen Unterlagen für das Betriebsbewilligungsverfahren der Eisenbahnbehörde zur Verfügung gestellt, um zeitgerecht einen Bescheid für den KAT bzw. die KAB zu erwirken. Die Inbetriebsetzung der gesamten KAB von Graz nach Klagenfurt einschließlich des KAT mit Güterzugsverkehren ist für Mitte Oktober 2025 vorgesehen, ab Mitte Dezember 2025 die Aufnahme von Personenzugsverkehren.

Das Finale der 130 km langen Koralmbahn mit dem 33 km langen Koralmtunnel • Herausforderungen eines Grossprojektes in der Fertigstellungs- und Inbetriebnahmephase

7 Zusammenfassung

Projekte dieser Grössenordnung bedürfen stabiler langfristiger Strategien und klarer Organisationsstrukturen mit kurzen Entscheidungswegen. Die eingangs beschriebenen konsequenten Projekt-, Risiko- und Kostenmanagements sind dabei wichtige Tools für eine erfolgreiche Projektumsetzung. Nicht zuletzt sind es aber die vielen Personen, die mit grosser Begeisterung und Hingabe an diesem gemeinsamen Ziel arbeiten und den Projekterfolg schlussendlich erst möglich machen.

Referenzen

- [1] Steiner H., Sturm P., Bacher M., Fruhwirt D.; Kühlung von Technischen Räumen in Eisenbahntunneln zur Erhöhung der Standzeiten und Minimierung der Wartung: Möglichkeiten der Optimierung am Beispiel Koralmtunnel; STUVA 2017; Forschung+Praxis 49
- [2] Kari H., Steiner H., Reiterer M.; Baudynamische Analysen bei der Entwicklung von Tunneltüren für die ÖBB: Simulationsberechnungen der Druck- und Sogbelastungen, Stossspektren, Eigenfrequenzen, Ermüdungsbemessung; STUVA 2017; Forschung+Praxis 49
- [3] Fruhwirt D., Bacher M., Sturm P., Steiner H.; Change in thermal conditions during construction and operation of a long railway tunnel – taking the koralmtunnel as an example; 9th Tunnel Safety and Ventilation 2018; IVT Heft 102
- [4] Scherz M., Fruhwirt D., Bacher M., Steiner H., Passer A., Kreiner H.; Influence of cross passage temperatures on the life cycle costs of technical equipment; Sustainable Built Environment D-A-CH Conference 2019
- [5] Schneider K., Egger J.; Die Koralmbahn – Ingenieurskunst aus Österreich; Swiss Tunnel Congress 2020
- [6] Reiterer M., Steiner H.; Bahntechnische Einbauten in schnellbefahrenen Eisenbahntunnel der ÖBB – Realitätsnahe Belastungsansätze in Theorie und Praxis, Laborversuche und In-situ-Messungen; STUVA 2021; Forschung+Praxis 56
- [7] Fruhwirt D., Sturm P., Steiner H.; Methodology for investigations on the tunnel climate in long railway tunnel – optimization of the design process für cross-passage cooling systems; 11th Tunnel Safety and Ventilation 2022; ITnA-Rep.105
- [8] Steiner H., Bacher M.; Egress-doors in ÖBB railway tunnels – basics, decisions, recommendations; 11th Tunnel Safety and Ventilation 2022; ITnA-Rep. 105
- [9] Fruhwirt D., Sturm P., Steiner H., Borchiellini R.; Development of a Methodology for Studying Tunnel Climate in Long Railway Tunnels and for Optimizing the Design Process of Cross-Passage Cooling Systems; Tunnel and Underground Space Technology 2023; No. 138
- [10] Niedermoser C., Mullitzer G., Steiner H.; Ausführungsplanung für die bahntechnische Ausstattung des Koralmtunnels mit BIM – kritische Betrachtungen und Grenzen: Rohbaumodelle, Teil- und Fachmodelle, Qualitätssicherung, regelbasierte Prüfung, Informationsmanagement; STUVA 2023; Forschung+Praxis 59

PROJEKTDATEN

Region

Österreich; Bundesländer Steiermark, Kärnten

Bauherr, Projekt- und Oberbauleitung

ÖBB-Infrastruktur AG, GB Projekte Neu-/Ausbau

Ausführung

Tunnelsystem zweiröhrig, eingleisig; Querschlagabstand rd. 500 m; unterirdischer Evakuierungs- und Rettungspunkt (ehemals Nothaltestelle) in Tunnelmitte

Kenndaten

Planungs-, Bauzeit KAB:	ca. 30 Jahre
Planungs-, Bauzeit KAT:	ca. 20 Jahre
Inbetriebnahme KAB:	Fahrplanwechsel 2025/2026
Baukosten KAB:	ca. EUR 5.6 Milliarden
Gesamtlänge KAB:	ca. 132 km
Gesamtlänge KAT:	ca. 32.9 km
Ausbruchquerschnitt KAT:	ca. 80 m ²

Besondere Merkmale

Zweigleisig elektrifizierte Hochleistungsstrecke; Flachbahn Gradienten < 1 ‰; 250 km/h Höchstgeschwindigkeit; min. Fahrzeit Wien–Klagenfurt 2.5 Stunden; min. Fahrzeit Graz–Klagenfurt statt derzeit 2.5 Stunden nur mehr 45 Minuten

The final stage of the 130-km-long Koralm Railway and the 33-km-long Koralm Tunnel Project • Challenges faced in a major project during its completion and commissioning phase

Klaus Schneider, Dr., ÖBB-Infrastruktur AG, Graz/AT
 Helmut Steiner, Dr., ÖBB-Infrastruktur AG, Graz/AT

The final stage of the 130-km-long Koralm Railway and the 33-km-long Koralm Tunnel Project

Challenges faced in a major project during its completion and commissioning phase

The approximately 130-km-long Koralm Railway (KAB), running between Graz and Klagenfurt, is one of the largest railway infrastructure projects in Europe. It is an important part of the Baltic–Adriatic axis of the EU core network. The Koralm Tunnel (KAT), with a length of around 33 kilometres, is the heart of this new railway line. Numerous innovations and challenges have been and continue to be faced towards achieving an operational KAB.

1 Overview

The KAB is a new double-track electrified railway with a length of around 130 km and a maximum train speed of 250 km/h, running between the two Austrian state capitals of Graz in Styria and Klagenfurt in Carinthia and connecting the Baltic region with the northern Italian economic area as the easternmost Alpine crossing in Europe.

- Koralmbahn / KAB length - 127 km
- Koralmtunnel / KAT length - 32.8 km
- 250 km/h max. operating speed
- < 1 % gradient
- up to 250 trains / day
- 23 new and renewed train stations
- 45 min. – min. travel time Graz – Klagenfurt
- 2.5 hr. – min. travel time Wien – Klagenfurt

Credit: ÖBB

1 Koralm Railway Graz–Klagenfurt/Overview

This project includes 23 new or modernised stations along the route, 12 tunnels with a total length of around 50 km, and over 100 bridges and engineering structures. The centrepiece is the twin-tube single-track KAT, which is around 32.9 km long and has an overburden in its core area of 1,200 m [5].

The final stage of the 130-km-long Koralm Railway and the 33-km-long Koralm Tunnel Project • Challenges faced in a major project during its completion and commissioning phase

La dernière étape du chemin de fer de Koralm, long de 130 km, comprenant le tunnel de Koralm, long de 33 km

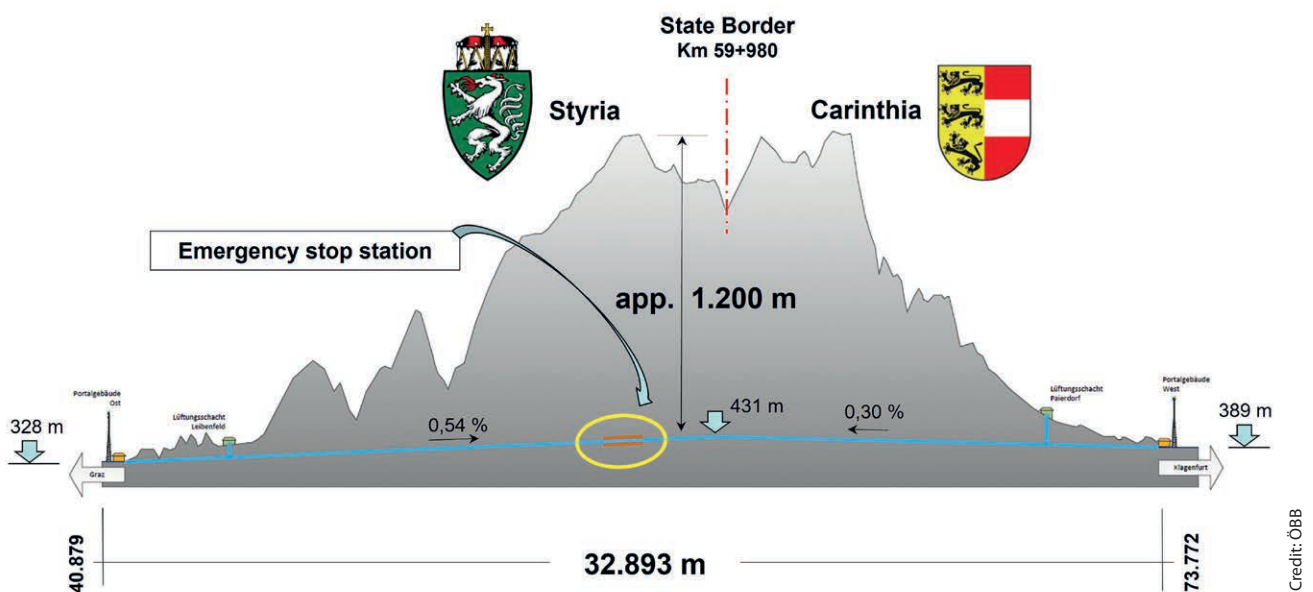
Défis rencontrés dans un grand projet pendant sa phase d'achèvement et de mise en service

Le chemin de fer de Koralm (KAB), d'une longueur d'environ 130 km, qui relie Graz à Klagenfurt, est l'un des plus grands projets d'infrastructure ferroviaire en Europe. Il s'agit d'une partie importante de l'axe Baltique-Adriatique du réseau central de l'UE. Le tunnel de Koralm (KAT), d'une longueur d'environ 33 kilomètres, est le cœur de cette nouvelle ligne ferroviaire. De nombreuses innovations et de nombreux défis ont été et continuent d'être relevés pour parvenir à un KAB opérationnel.

Il finale della Koralmbahn con la galleria del Koralm lunga 33 km

Sfide di un megaprogetto nella fase di completamento e di messa in funzione

La Koralmbahn (KAB) tra Graz e Klagenfurt, lunga circa 130 km, costituisce nella sua interezza uno dei più grandi progetti di infrastruttura ferroviaria d'Europa. È un importante componente dell'asse Baltico-Adriatico del network europeo. Il tunnel del Koralm (KAT), con una lunghezza di circa 33 km, rappresenta il cuore di questa linea di nuova costruzione. Nella strada verso una KAB pronta ad entrare in funzione ci sono state e continuano ad esserci numerose sfide ed innovazioni.



2 Koralm Tunnel/Overview of longitudinal section

Tunnels that are long and deep cannot be regarded as standard structures. Special customised technical solutions often need to be found when planning and constructing them. Current experience and technological developments must be monitored and integrated into the ongoing project in an appropriate manner, particularly with regard to tunnel equipment, tunnel safety, telematics, control and safety technology.

2 History

The KAB planning project was launched in 1995. From 1997 onwards, experts focused on searching for routes, working on basic surveys and preliminary investigations as well as engaging in dialogue with regional interest groups, all of which were concluded by consensus. Then, official administrative procedures (environmental impact assessments, planning permission under railway law and well over 100 other procedures under other laws) were processed in the years that followed. This ultimately led to positive building permits granted under railway law in stages between 2000 and 2007. Immediately afterwards, construction began in the respective confirmed section. As a result, the first new section to be constructed, as a feeder line to the KAT in Styria, was already able to be put into operation for regional transport as early as 2010. The KAT's shell was construc-

The final stage of the 130-km-long Koralm Railway and the 33-km-long Koralm Tunnel Project • Challenges faced in a major project during its completion and commissioning phase



Credit: ÖBB

3 Koralm Tunnel/Final breakthrough

ted between 2008 and 2022. The first breakthrough between the East (KAT 2) and West (KAT 3) shell construction lots took place in the southern tunnel in 2018 – with the final breakthrough on June 17, 2020.

This means that almost 20 years passed between the first exploratory measures taken in 2002, the start of the three main shell construction lots KAT 1 (2008), KAT 2 (2011) and KAT 3 (2013), and the final tunnel breakthrough in 2020.

3 The challenge of project duration

Projects on this scale bring with them a myriad of technical, legal, organisational, transport policy-related and structural challenges. Another special feature of this project is its almost 30-year-long project duration.

During this time period, a large number of project fundamentals such as laws, guidelines, regulations and standards have changed. In addition, order changes consistently occur due to amended objectives, changes in transport policy framework and findings from comparable major projects that have since been commissioned. These changes in particular make it necessary to allow further technical developments in a moderate and sensible manner.

In contrast, the requirement to commission a project that has been approved under construction law in accordance with legislation without any changes is an absolute necessity. Management is therefore constantly confronted with balancing conflicting goals like keeping the basic concept of the project stable and as unchanged as possible, allowing necessary innovations and improvements and ultimately putting a project into operation that is ready for approval.

Different points of view among those involved in the project (members of the public, politicians, decision-makers, authorities, etc.), the increasingly rapid changes in the project's environment and technological developments, especially in the IT and telecommunications sector, make this task very complex. Accordingly, when the project is commissioned, even though it has a 20 to 30 year lifespan, it must be state of the art at that time. Furthermore, it should be dimensioned in such a way that its service life and infrastructure durability should last between 150 and 200 years. To date, the KAB has managed to find a good balance between all of these ongoing changes while adhering to the procedurally approved project.

4 The challenge of cost stability

The duration of the project and the inevitable pressure to change orders and projects also pose a challenge in terms of cost stability. These constant changes are at odds with expectations that concrete costs will be specified at an early stage of the project, against which the success of the project will be measured for decades to come. Due to the permanent pressure of expectations and the constant competition for limited resources, cost stability is of particular importance, as it is also an indicator of stable project realisation in the eyes of the public. The question of costs is often not asked precisely or completely, e.g., regarding scope, valorisation or price basis. However, one question is almost always straight to the point: How much will the project cost when it is finished?

The most important success factors for completing the project on time, ready for approval (in terms of content and technical correctness) and at a stable cost are:

- Active project management;
- Active risk management;
- Active cost tracking;
- Preliminary valorisation.

The unknown elements of a project must be estimated transparently at the start of the project and, therefore, when the first cost estimates are drawn up, in the form of active risk management involving the entire project team. "Active" means having various working groups involved in the project's transformation process – or implementing countermeasures if necessary – and continuously updating risk assessments and verifying and allocating changes and risks that have occurred over time.

The final stage of the 130-km-long Koralm Railway and the 33-km-long Koralm Tunnel Project • Challenges faced in a major project during its completion and commissioning phase

In the case of the KAB project, the first section-by-section cost estimates were prepared between 2004 and 2006 on the valid basis of stable route planning and the first EIA resp. UVP (Environmental Impact Assessment / Umweltverträglichkeitsprüfung) procedures. By consistently adhering to the project strategy described above, costs were kept stable at 1% accuracy until a year ago. Only the current exceptional inflationary developments and the unique events caused by the pandemic and economic crisis have slightly altered this cost stability, which has lasted for almost 20 years. This figure will rise from around EUR 5.4 billion, estimated at the beginning of the 2000s, to around EUR 5.6 billion in 2024.

The cost stability of an infrastructure project of these dimensions also represents a special international status and proves the success of consistent risk and cost management approaches – despite considerable problems with the KAT's tunnel drive and the pandemic/inflation combination.

5 The challenge of innovations in railway equipment

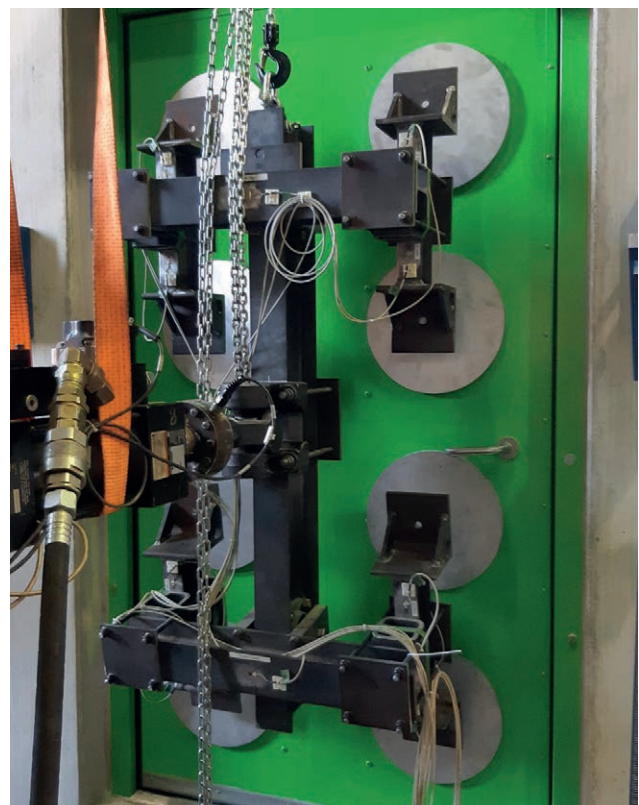
5.1 Pressure effects on installations in the tunnel

The pressure phenomena that occur during ongoing railway operations in a high-speed railway tunnel pose a major challenge to this project. As a result of intensive basic research, sensible design approaches were identified, which have now been consistently applied to dimensioning a wide variety of objects installed in the tunnel cross-section [2, 6].

In this context, tunnel doors in particular should be mentioned, as they play a decisive role in many aspects. They should serve as an emergency exit door in the event of an evacuation and therefore be easy, simple and reliable to operate. Furthermore, in the event of an incident they should form a fireproof zone between the tunnel itself, and the cross-passage and they should not lose their serviceability (e.g., ease of opening) over a longer period of 30 to 50 years. Maintenance and servicing costs should also be kept as low as possible.



4 Long-term loading test for emergency exit doors



Credit: ÖBB

Weighing up all the available advantages and disadvantages, the decision was also made to use sliding doors as emergency exit doors in all KAB tunnels [8].

5.2 Ventilating and cooling technical equipment

In accordance with the strategic objective of keeping the KAT running tunnels as free as possible from installations, the majority of the technical installations in the cross-passages are located in individual sealed-off rooms. As a general rule, one can assume five

The final stage of the 130-km-long Koralm Railway and the 33-km-long Koralm Tunnel Project • Challenges faced in a major project during its completion and commissioning phase

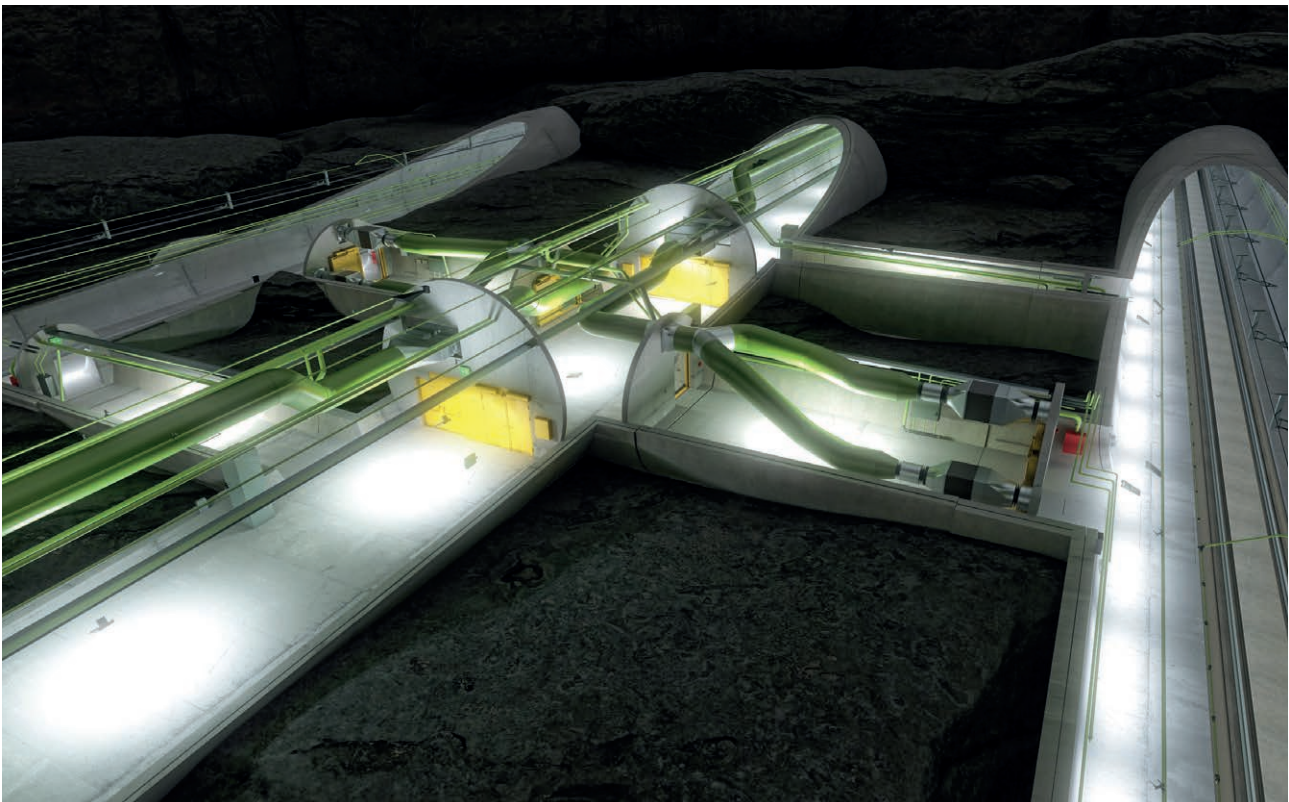
structurally separate rooms per cross-passage, in which the 50 Hz power supply switches from higher-level medium voltage to low voltage and thus supplies the telecommunications and telecontrol systems required for railway traffic. The resulting heat losses must be safely discharged into the carriageways and then further distributed from there by the rail transport taking place and discharged into the open air.

Taking into account numerous influencing factors, such as the rock temperature and its variations over time, the temperature distribution in the running tunnels considering seasonal temperature hydrographs at the portals and the inclusion of higher-level global temperature trends, a ventilation and cooling concept was developed for the entire tunnel and the technical equipment located there [1, 3, 7, 9].

The sensible target temperature desired in the technical equipment rooms – taking into account temperature-dependent system service life (replacement cycles) in combination with the associated energy consumption as well as maintenance and servicing requirements and the associated costs – was also considered in the decision-making process as part of life cycle analyses and assessments [4].

5.3 Building Information Modeling (BIM)

Based on the existing unfinished tunnel, the final planning and construction phase has now been realised using the BIM method. It serves both as a 3D planning tool to identify structural conflicts or collisions as early as possible and as a data and information carrier for the future maintenance provider to facilitate and optimise the necessary maintenance and repair work [10].



5 Underground evacuation and rescue point/BIM model

6 Final steps of implementation

6.1 General

The final stage of a project is always a major challenge in terms of the remaining project requirements or time budget and demands a great deal from everyone involved, regardless of the size of the project. However, in a project with a duration of 30 years, this phase does not last a few weeks or months, but requires a great deal of effort over several years. If a global pandemic and international conflict also happen to take place during this sensitive time period, which can lead to supply bottlenecks, especially during the equipment phase, this already critical project phase becomes a particularly stressful test for the entire project team. It was only by continuing to apply the consistent project and risk management approaches described above that these situations could also be overcome through teamwork and mutual trust.

The final stage of the 130-km-long Koralm Railway and the 33-km-long Koralm Tunnel Project • Challenges faced in a major project during its completion and commissioning phase

6.2 Process for the final project phase

In parallel to the last remaining structural tunnelling works, the railway technology and tunnel furnishing works began in 2020. At the beginning, the carriageway (slab track) was constructed. In advance of or parallel to this work, a total of 13,000 elastically supported track slabs were produced for the KAT in Lower Austria (NÖ) and then transported directly to Styria and further into the tunnel by block trains, where they were laid, installed and underpoured with self-compacting concrete.



Credit: ÖBB

6 *Elastically supported precast slabs/Road to rail transhipment*

After the carriageway was completed, the (escape) walkways and verges to the left and right of it, as well as all associated cable ducts and shafts in the carriageways, were subsequently constructed or concreted.



Credit: ÖBB

7 *Constructing slab track, emergency walkway, verge*

The final stage of the 130-km-long Koralm Railway and the 33-km-long Koralm Tunnel Project • Challenges faced in a major project during its completion and commissioning phase

All subsequent work, such as transporting materials and people, was only possible on the track. The technical equipment installed in the cross-passages includes power supply systems, telecoms systems and remote data transmission options (telecontrol technology) to the Austrian Federal Railways (ÖBB) control centres, as well as various mechanical equipment.



Credit: ÖBB

8 Underground evacuation and rescue point/Installation work

6.3 Logistics

In contrast to the structural tunnelling works, a wide variety of trades and professions are involved in the installation phase – sometimes working together at the same time and in a very confined space and sometimes distributed throughout the tunnel – in order to carry out installations in the two tunnel tubes, the 70 cross-passages and the emergency stop point in the centre of the tunnel. Punctually transporting materials to their destination, from receiving the materials on the construction site to transporting them onwards to the various installation sites in the tunnel, in combination with scheduling sensible work steps and processes with the respective skilled workers, requires foresight and detailed logistics planning across all trades. An ongoing target-performance comparison makes it possible to implement countermeasures quickly and, above all, in good time in order to meet the deadlines agreed upon in the construction contract, among other aspects.

Accessibility also poses a particular challenge in terms of logistics and transporting materials and people in the KAT. Even longer tunnelling projects have resulted in shorter equipping sections. With the KAT, on the other hand, the entire tunnel system can only be reached via the eastern and western portals.

6.4 Commissioning and initial operation

The final phase of the project in 2024/2025 is characterised by three main activities:

- Approval and testing of technical systems (safety, functionality);
- Operating licences (official procedures);
- Start-ups and training courses.

By the end of 2024/beginning of 2025, a fully equipped and functional tunnel integrated into the ÖBB control systems will be operational. Test runs involving measurements, general tests and high-speed operations are scheduled to start at the beginning of April 2025 and should be successfully completed by summer 2025. Handover to the subsequent maintenance personnel is being carried out as construction is gradually completed. More than 1,000 train drivers, dispatchers, emergency and safety personnel and future maintenance staff are also being trained in parallel during this phase which has already been meticulously documented with corresponding timetables and schedules.

Once all of these sub-processes have been completed, the necessary documents for the operating licence procedure will be made available to the railway authority in order to obtain a final decision for KAT and KAB respectively in good time. Commissioning the entire KAB from Graz to Klagenfurt, including the KAT with freight train services, is planned for mid-October 2025, with passenger train services starting in mid-December 2025.

The final stage of the 130-km-long Koralm Railway and the 33-km-long Koralm Tunnel Project • Challenges faced in a major project during its completion and commissioning phase

7 Summary

Projects of this size require stable long-term strategies and clear organisational structures with quick decision-making processes. The consistent project, risk and cost management methods described above are important tools for successfully realising such projects. Last but not least, the dedication and enthusiasm of the many people who have worked towards this project's common goal are what has made its success possible in the first place.

References

- [1] Steiner H., Sturm P., Bacher M., Fruhwirt D.; Cooling of technical rooms in railway tunnels to increase service life and minimise maintenance: Optimisation options using the Koralm Tunnel as an example; STUVA 2017; Research+Practice 49
- [2] Kari H., Steiner H., Reiterer M.; Structural dynamic analyses in the development of tunnel doors for ÖBB: Simulation calculations of pressure and suction loads, impact spectra, natural frequencies, fatigue design; STUVA 2017; Research+Practice 49
- [3] Fruhwirt D., Bacher M., Sturm P., Steiner H.; Change in thermal conditions during construction and operation of a long railway tunnel - taking the Koralm Tunnel as a example; 9th Tunnel Safety and Ventilation 2018; IVT Booklet 102
- [4] Scherz M., Fruhwirt D., Bacher M., Steiner H., Passer A., Kreiner H.; Influence of cross passage temperatures on the life cycle costs of technical equipment; Sustainable Built Environment D-A-CH Conference 2019
- [5] Schneider K., Egger J.; The Koralm Railway – Engineering Art from Austria; Swiss Tunnel Congress 2020
- [6] Reiterer M., Steiner H.; Railway installations in high-speed railway tunnels operated by ÖBB – Realistic load applications in theory and practice, laboratory tests and in-situ measurements; STUVA 2021; Research+Practice 56
- [7] Fruhwirt D., Sturm P., Steiner H.; Methodology for investigations on the tunnel climate in long railway tunnel – optimization of the design process für cross-passage cooling systems; 11th Tunnel Safety and Ventilation 2022; ITnA-Rep.105
- [8] Steiner H., Bacher M.; Egress-doors in ÖBB railway tunnels – basics, decisions, recommendations; 11th Tunnel Safety and Ventilation 2022; ITnA-Rep. 105
- [9] Fruhwirt D., Sturm P., Steiner H., Borchiellini R.; Development of a Methodology for Studying Tunnel Climate in Long Railway Tunnels and for Optimizing the Design Process of Cross-Passage Cooling Systems; Tunnel and Underground Space Technology 2023; No. 138
- [10] Niedermoser C., Mullitzer G., Steiner H.; Implementation planning for the railway equipment in the Koralm Tunnel with BIM – critical considerations and limitations: Shell models, partial and specialised models, quality assurance, rule-based testing, information management; STUVA 2023; Research+Practice 59

PROJECT DATA

Region

Austria; Federal States of Styria, Carinthia

Client, project and project direction

ÖBB-Infrastruktur AG, Projects New/Expansion Division

Implementation

Tunnel with twin tubes, single-track; cross-passage spacing approx. 500 m; underground evacuation and rescue point (former emergency stop) in the centre of the tunnel

Characteristics

Planning and construction time of the KAB:	approx. 30 years
Planning and construction time of the KAT:	approx. 20 years
KAB commissioning:	Timetable change in 2025/2026
KAB construction costs:	approx. EUR 5.6 billion
Total length of the KAB:	approx. 132 km
Total length of the KAT:	approx. 32.9 km
KAT excavation cross section:	approx. 80 m ²

Special features

Double-track electrified high-speed rail line; flat-track gradient <1%; 250 km/h top speed; min. travel time between Vienna and Klagenfurt 2.5 hours; min. travel time between Graz and Klagenfurt only 45 minutes instead of the current 2.5 hours

Götz Schackenberg, Dipl.-Ing. TU, Bundesamt für Strassen ASTRA, Filiale Zofingen, CH-4800 Zofingen

Rheintunnel Basel

Multimodales Logistikkonzept

Im Rahmen des Strassenentwicklungsprogramms (STEP) soll die bestehende Osttangente in Basel durch den Rheintunnel entlastet und die täglichen Staus eliminiert werden. Das Kernstück des Rheintunnels sind zwei mit einer Tunnelbohrmaschine aufgefahrene Tunnelröhren. Die Materialbewirtschaftung bedingt die Planung und den Betrieb eines multimodalen Logistikkonzeptes im Rheinhafen Birsfelden.

1 Rheintunnel Basel

1.1 Projektübersicht, Linienführung

Der künftige Rheintunnel führt vom Tunnelportal Muttenz/Birsfelden unter dem Rhein hindurch bis zum Badischen Bahnhof. Dort schliesst er an die Autobahnverbindungen nach Deutschland und Frankreich an. Vom Ausland kommend ermöglichen die Tunnelabschnitte Wiese und Klybeck die Fahrt in die Schweiz. Zwischen der Verzweigung Hagnau und Birsfelden wird der bestehende Abschnitt um je einen Fahrstreifen ausgebaut.

Der Rheintunnel besteht aus zwei separaten Röhren mit je zwei Fahrstreifen. Die Tunnelabschnitte Klybeck und Wiese sind einstreifig mit Pannenstreifen konzipiert.

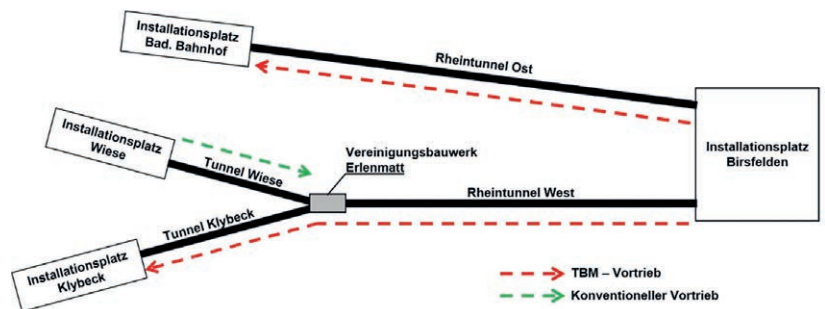
1.2 Vortriebskonzept Rheintunnel

Der Rheintunnel West ist 3.6 km und der Rheintunnel Ost 3.8 km lang. Beide Tunnel unterqueren den Rhein in einer Tiefe von mindestens 18 m ab Flussgrund. Die Tunnel werden mit einer Tunnelbohrmaschine (Multi-Mode-TBM, Aussendurchmesser 13 m) ab dem Tunnelportal Birsfelden/Muttenz aufgefahren. Der Vortrieb der beiden Tunnelröhren erfolgt seriell. Zuerst wird die Röhre West vom bergmännischen Portal Birsfelden nach Klybeck aufgefahren. Danach wird die TBM demontiert und beim Portal in Birsfelden erneut aufgebaut, um dann die Röhre Ost aufzufahren. Der Vortrieb ab dem Tunnelportal Wiese erfolgt konventionell mit maschinenunterstütztem Vor-



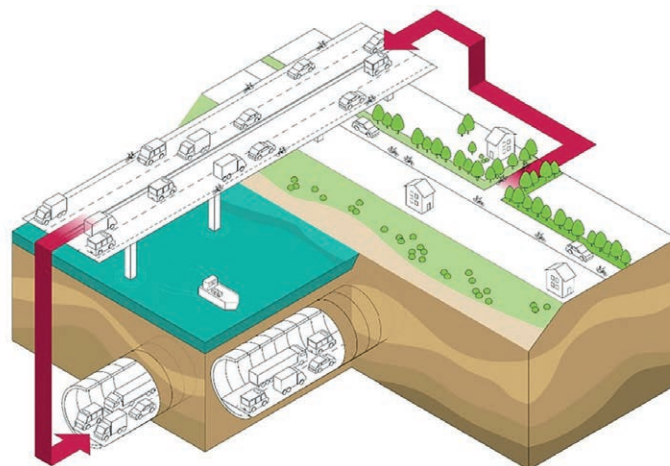
Quelle: Bundesamt für Strassen ASTRA

1 Situation Rheintunnel



Quelle: Bundesamt für Strassen ASTRA

2 Schema Vortriebskonzept Rheintunnel



Quelle: Kanton Basel-Stadt

3 Reduzierter Flächenverbrauch durch Tunnellösung

Tunnel du Rhin, Bâle

Solution logistique multimodale

Le projet du tunnel du Rhin devrait générer 5.3 millions de tonnes de matériaux d'excavation. La plupart de ces matériaux seront produits sur le site d'installation principal de Birsfelden. En outre, les matériaux de construction, les voussoirs et les éléments de canalisation doivent être livrés sur le site d'installation principal. Le projet général du tunnel du Rhin prévoyait une installation de chargement temporaire et un site de décharge construits spécifiquement pour le projet. Pour des raisons environnementales, une solution logistique multimodale a été développée dans le projet d'exécution, en utilisant l'infrastructure portuaire existante.

Tunnel del Reno di Basilea

Concetto logistico multimodale

Nel progetto del tunnel del Reno si devono smaltire 5.3 Mio di tonnellate di materiale di scavo e di demolizione. Il materiale viene prodotto principalmente nel sito di installazione principale a Birsfelden. Oltre a ciò devono essere trasportati nel sito principale materiali da costruzione ed elementi dei conci prefabbricati e del tunnel di servizio. Nel progetto generale del tunnel del Reno sono stati previsti un impianto temporaneo di carico per il materiale di scavo e una discarica. Nel progetto di pubblicazione è stato sviluppato, per fattori ambientali, un concetto logistico multimodale che utilizza le infrastrutture presenti nel porto di Basilea.

trieb im Fels (Teilschnittmaschine) sowie mittels Bagger und Hydraulikhammer respektive Rippergeräten im Lockergestein. Die Übergänge und Verbindungen zur bestehenden Autobahninfrastruktur werden im Tagbau realisiert.

1.3 Umweltthemen

Das Projekt Rheintunnel verläuft grösstenteils unterirdisch, sodass insgesamt nur wenige Personen durch Luft- und Lärmimmissionen aus dem Verkehr betroffen sind. Durch die mehrheitlich unterirdische Lage ist der Verbrauch von zusätzlichen Flächen minimal. Es sind keine Landwirtschafts- und keine Fruchtfolgeflächen betroffen.

Die grössten Herausforderungen für die Umwelt stellen sich im Gebiet Hardwald. Hier verläuft die Hafentunnel heute am Rand der Grundwasserschutzzone S2. Wegen dem zusätzlichen Fahrstreifen der Nationalstrasse muss die Hafentunnel in die Schutzzone hinein verschoben werden. Zur Gewährleistung des Grundwasserschutzes wird das Trasse neu vollständig abgedichtet. Mit diesen Massnahmen und weil die ganze Strecke über dem Grundwasserspiegel verläuft, wird der Eingriff in die Grundwasserschutzzone als genehmigungsfähig beurteilt. Für die beschriebene Verlegung der Hafentunnel sind zudem permanente Rodungen und Eingriffe in schützenswerte Lebensräume erforderlich. Mit Aufforstungen und durch ökologische Ersatzmassnahmen im Projektperimeter werden die Eingriffe kompensiert.

Die neu entstandenen Oberflächen über den Einhausungen und auf den Dächern der Tunnelzentralen werden begrünt. Die Tunnelzentralen werden als Beitrag für eine nachhaltige Stromproduktion teilweise mit Fotovoltaikanlagen belegt. Als weitere Massnahme zugunsten der Nachhaltigkeit ist geplant, in der nächsten Planungsphase Detailprojekt die energetische Nutzung der Abwärme aus Grundwasser und Tunnelluft zu prüfen.

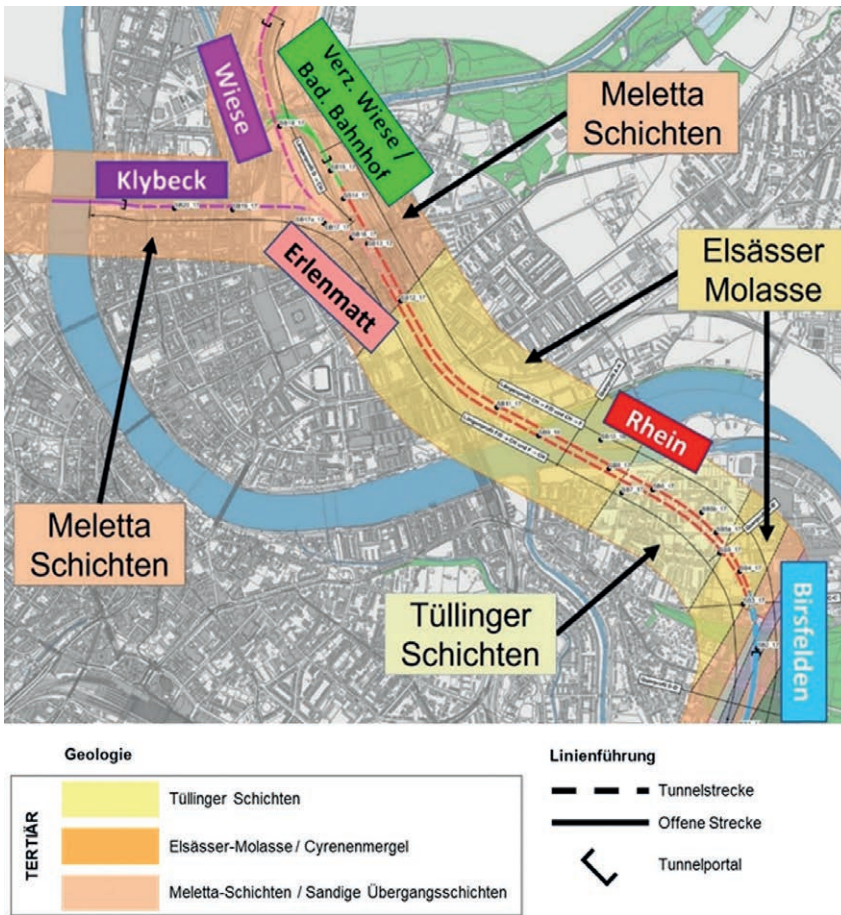
2 Grundlagen Logistikkonzept

2.1 Logistikkonzept im Generellen Projekt

Im Generellen Projekt wurde der Abtransport des Tunnelausbruchmaterials per Bahn in Deponien beim Rafzerfeld oder alternativ per Lastwagen über die Nationalstrasse direkt auf eine projekteigene Deponie beim Südportal des Belchentunnels geprüft. Für den Abtransport per Bahn wurde eine temporäre Verladeanlage mit einem zusätzlichen Gleis beim Auhafen Muttenz entwickelt. Diese Verladeanlage hätte in der Grundwasserschutzzone S2 gebaut werden müssen. Bei der Vorprüfung dieser Variante zeigte sich, dass die erforderliche Standortgebundenheit nicht nachgewiesen werden konnte und somit die Genehmigungsfähigkeit infrage gestellt war. Die Variante mit einer projekteigenen Deponie hätte grössere Rodungen im Bereich des Südportals Tunnel Belchen zur Folge gehabt, was bezüglich Genehmigungsfähigkeit ebenfalls als kritisch beurteilt wurde. Diese Einschätzungen erforderten in der Phase Ausführungsprojekt die Entwicklung eines neuen Lösungsansatzes.

2.2 Geologie

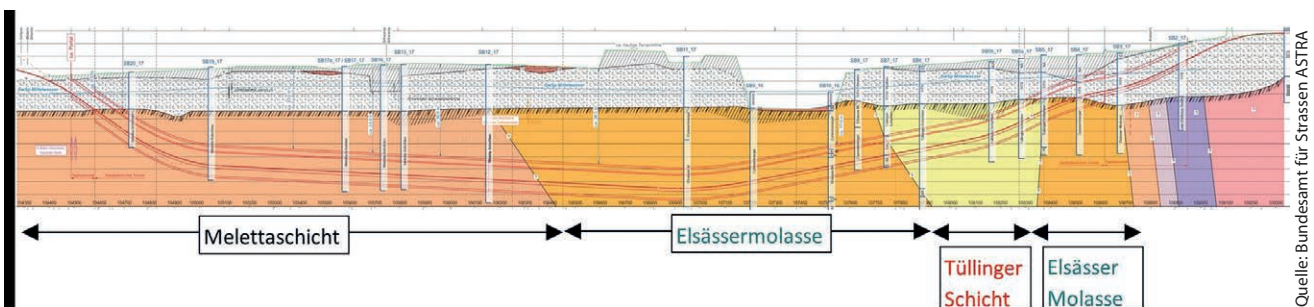
Die Geologie in Basel gehört zur Formation des Oberrheingrabens, eines im Tertiär entstandenen Grabenbruchs, der mit Gesteinen der Molasse aufgefüllt wurde. Erst nach der Bildung des Grabens hat sich der heutige Flussverlauf des Rheins gebildet.



Quelle: Bundesamt für Strassen ASTRA

4 Projektsituation mit Prognose Geologie

Die Deckschicht besteht aus Auffüllungen mit stark variierenden Mächtigkeiten von ca. 1 m bis 10 m. Darunter befindet sich eine 20 m bis 24 m mächtige Lockergesteinschicht. Diese besteht aus grösstenteils sehr dicht bis dicht gelagertem sandig-kiesigem Niederterrassenschotter, lokal auch Talauenschotter. Das Lockergestein ist wasserführend. Der Wasserspiegel befindet sich ca. 5 m bis 15 m unterhalb der Geländeoberkante. Unter dem Lockergestein folgt der felsige Untergrund der Molasse. Es wird zwischen den Melettaschichten (Septarienton), der Elsässermolasse/Cyrenenmergel und den Tüllingerschichten unterschieden. Die Elsässermolasse ist vorwiegend sandig, während die Cyrenenmergel tonig sind. Die Melettaschichten und die Elsässermolasse/Cyrenenmergel sind kompakte Tonsteine/Mergel, die teilweise sandige Lagen und Linsen aufweisen, die mit Wasser gefüllt sein können. Die Oberfläche dieser Felsformationen kann bis in eine Tiefe von 2 m deutlich angewittert sein. Die Konsistenz dieser Schichten ist fest, im verwitterten Bereich weich bis halbfest. Die Tüllingerschichten bestehen aus kalkigen Fazies. Es muss mit lokalen Verkarstungen und wasserführenden Bereichen gerechnet werden.



Quelle: Bundesamt für Strassen ASTRA

5 Längsschnitt Rheintunnel West mit Prognose Geologie

2.3 Anfallendes Ausbruch-/Aushubmaterial

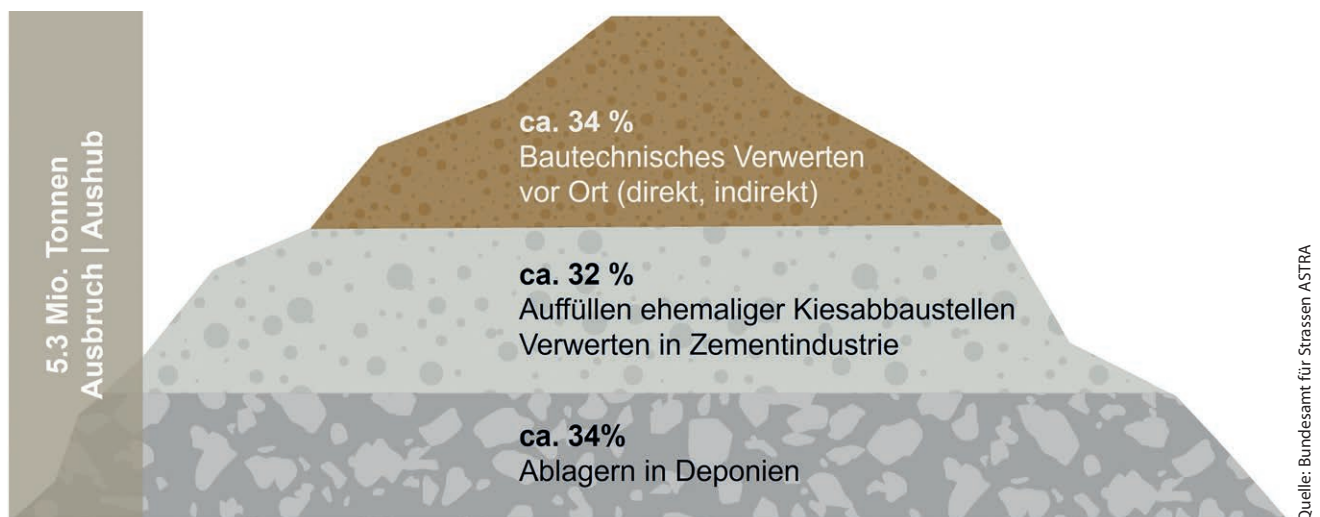
Knapp 90 % der gesamten Abtransportmenge (ca. 5.3 Mio. Tonnen) fallen beim Hauptinstallationsplatz Birsfelden an. Grösstenteils ist es Ausbruchmaterial aus den Tunnelvortrieben. Aufgrund des Tunnelvortriebs von Birsfelden nach Kleinbasel wird zuerst die Lockergesteinsstrecke mit dem Niederterrassenschotter durchörtert. Anschliessend werden die Elsässermolasse/Cyrenenmergel, die Tüllingerschichten, die Melettaschicht und am Schluss wieder der Niederterrassenschotter aufgefahren. Das Ausbruchmaterial aus der Weströhre wird etwa 1.5 Jahre nach dem Baubeginn während ca. 20 Monaten in Birsfelden anfallen. Das Ausbruchmaterial aus der Oströhre wird etwa vier Jahre nach Baubeginn während den ca. 14 Monaten Vortrieb in Birsfelden zu bewirtschaften sein. Zusätzlich fällt auch Aushub für die Baugruben der Tagbautunnel, Stützbauwerke und Kunstbauten an. 10 % des Materialvolumens werden direkt vom Anfallort bei den weiteren Installationsplätzen oder direkt von den Brücken- und Tagbautunnelbaustellen abtransportiert.

Die beiden Haupttröhren des Rheintunnels werden mit einer Multi-Mode-Tunnelvortriebsmaschine aufgeföhren, die über einen Umbau entweder als Flüssigkeitsschild (Hydro) oder als Erddruckschild (EPB) geföhren werden kann. Es gelangen dabei drei unterschiedliche Vortriebsmethoden zur Anwendung.

Der Vortrieb im Flüssigkeits- respektive Mixschildvortrieb ist im Bereich der Lockergesteine vorgesehen. Ein Wasser-Bentonit-Gemisch am Bohrkopf wird unter Druck gesetzt, um den Boden zu stützen. Der Boden wird durch die Maschine gelöst, über den Flüssigkeitskreislauf zur Separieranlage geföhrt und dort von der Stützflüssigkeit getrennt. Kies und Grobsand werden über Siebe, Feinsand und Feinanteile über Kammerfilterpressen oder Zentrifugen aussortiert. Die Kies- und Grobsandfraktionen können gewaschen und als Kies-Sand wiederverwendet werden. Die Feinanteile müssen in Deponien entsorgt werden. Mit zunehmendem Abtauchen der TBM werden die Kies-Sand-Fraktionen immer weniger und der Anteil des zu deponierenden Felsmaterials nimmt zu.

In Abschnitten, wo der Fels trocken und die Ortsbrust stabil ist, kann der Erddruckschild offen wie eine Hartgesteins-TBM geföhren werden. Der Bohrkopf löst die Felschips, die gut per Förderband aus dem Tunnel und dann per Bahn oder Schiff abtransportiert werden können. Diese Vortriebsart weist die höchste Leistung auf und ist damit massgebend für die Auslegung des Logistikkonzeptes.

In Abschnitten, wo sandigere und damit durchlässigere Felsformationen mit Grundwasser erwartet werden, erfolgt der Vortrieb im geschlossenen Modus. Das Wasser aus dem Fels sowie zugemischte Konditionierungsmittel versetzen den abgebauten Fels in einen pastösen Zustand, was die Stützung der Ortsbrust und den Abtransport per Förderband ermöglicht. Durch die verschiedenen Konditionierungsmittel gilt der Ausbruch als verschmutzt und muss entsprechend deponiert werden.



6 Aushub/Ausbruch

Gemäss aktuellem Planungsstand im Ausführungsprojekt werden ca. 66 % des anfallenden Materials im Sinne der Abfallverordnung (VVEA) verwertet. Rund 34 % werden entweder im Projekt Rheintunnel oder bei Drittprojekten in der Region Basel bautechnisch wiederverwertet. Rund 32 % sind für das Auffüllen von ehemaligen Materialabbaustellen oder als Rohstoff in der Zementindustrie vorgesehen.

Weitere 34 % des Ausbruchmaterials müssen aufgrund der Vortriebsmethode in Deponien entsorgt werden. Das Ziel des ASTRA ist es, eine möglichst grosse Menge des Ausbruchmaterials als Bau- oder Rohstoff wiederzuverwenden beziehungsweise gemäss VVEA zu verwerten. Es wird davon ausgegangen, dass bis zur Realisierung des Rheintunnels einige Bodenaufbereitungsanlagen in der Region Basel in Betrieb sein werden. Für die Entsorgung wird erwartet, dass bis zum Baubeginn der im Ausland latent vorhandene Bedarf an Bau- und Schüttmaterial zeitlich und örtlich konkretisiert werden kann. Um eine möglichst hohe Flexibilität bei den Verwertungsorten beziehungsweise Abnahmestellen zu haben, ist ein multimodales Transportkonzept im Rheinhafen Birsfelden geplant.

2.4 Eigenschaften Ausbruchmaterial

Die Materialeigenschaften der Ausbruch- und Aushubmaterialien ergeben sich aus dem Baugrund und den vorgesehenen Baumethoden. Darauf abgestimmt wurden projektspezifisch zwölf Materialkategorien gebildet. Die bautechnische Materialklassierung nach SIA 199, welche die Verwertbarkeit beschreibt, wurde den Kategorien der Materialeigenschaften zugeordnet.

Materialherkunft	Kategorie Materialeigenschaften	Materialklasse bautechnisch nach SIA 199	Charakteristika	Verwertbarkeit
Baugrube	B1	MK3	Trockener Aushub: künstliche Auffüllungen	nein
	B2	MK2	Trockener Aushub: Niederterrassenschotter	ja
	B3	MK4	Trockener Aushub: Felsabbau Tongesteine und Mergel	nein
	B4	MK4	Trockener Aushub: Felsabbau, verkarstete Kalke und Dolomitgesteine	ja
Tunnel TBM-Vortrieb	T1	MK2	Mix-Shield-Vortrieb im Lockergestein: Slurry/Brei, gut getrennt in Kies und Pressschlamm durch Separation	ja (Kies)
	T1/T2	MK2	Mix-Shield-Vortrieb mit gemischter Ortsbrust: Niederterrassenschotter und Fels	teilweise (Kies)
	T2	MK4	Mix-Schild-Vortrieb im Fels: Slurry/Brei, gut getrennt in Felsmaterial und Pressschlamm durch Separation	nein
	T3	MK4	EPB-Schildvortrieb offen: Felschips, Schlammanteil < 10 %	ja
	T4	MK4	EPB-Schildvortrieb geschlossen: Erdbrei versetzt mit Konditionierungsmitteln, z. B. Tensiden	nein
Konventioneller Tunnelbau	K1	MK2	Ausbruch mit Bagger im Niederterrassenschotter	ja
	K1/K2	MK2	Ausbruch mit Bagger bei gemischter Ortsbrust: Niederterrassenschotter und Fels	ja
	K2	MK4	Ausbruch mit Teilschnittmaschine im Fels (Tongestein)	ja

Quelle: Bundesamt für Strassen ASTRA

Tabelle 1 Eigenschaften Ausbruchmaterial

Sämtliches nach dem Ausbruch sowie teilweiser Separation trocken anfallendes Material kann per Bahn oder per Schiff abtransportiert werden.

Der anfallende Schlamm wird mit Mulden per Lastwagen zur Austrocknung und Entsorgung in Deponien geführt.

Für die Auslegung der Abtransporte mit Bahn und Schiff sowie der Zwischendepots im Hafen Birsfelden wurden die Materialkategorien T2, T3 und K2 berücksichtigt.

Zurzeit fehlt noch die Erfahrung, ob die Materialkategorie T4 per Bahn und Schiff abtransportiert und bei Deponien erfolgreich entladen werden kann. Deshalb wird im aktuellen Planungsstand von einem Abtransport mit Lastwagen ausgegangen.

3 Multimodales Transportkonzept

Beim Hafen Birsfelden besteht die Möglichkeit, das anfallende Material auf die Transportmittel Bahn, Schiff und Lastwagen zu verladen und abzutransportieren. Dieser flexible Ansatz wird als multimodales Transportkonzept bezeichnet. Es kann auf der bestehenden Infrastruktur der Schweizerischen Rheinhäfen für den Umschlag auf Bahn und Schiff aufgebaut werden. Das Material wird vom Hauptinstallationsplatz Birsfelden über ein Förderbandsystem und ein Zwischenlager zur bestehenden Infrastruktur geführt, verladen und abtransportiert. Weiter ist der Hafen Birsfelden über den Zubringer Birsfelden direkt an die Nationalstrasse N2 angeschlossen, was den Abtransport auf der Strasse ermöglicht, ohne Gebiete mit empfindlicher Nutzung zu beeinträchtigen.



8 Multimodales Transportkonzept

3.1 Antransporte

Für den Bau der Tunnel werden vorgefertigte Betonelemente eingesetzt. In erster Linie sind das die Tübbinge für die Sicherung des Ausbruchs beim Vortrieb mit der Tunnelbohrmaschine sowie die Elemente für den Werkleitungskanal. Bei der Auslegung der Logistik wurde berücksichtigt, dass diese Elemente per Bahn antransportiert werden können. Sie werden beim Hafen auf Lastwagen umgeschlagen und zum nahe liegenden Depot auf dem Hauptinstallationsplatz Birsfelden gebracht.

Der Antransport des restlichen Baumaterials erfolgt in der Regel auf der Strasse. Es wäre aber auch möglich, die Zuschlagstoffe für die Betonproduktion per Bahn oder Schiff anzutransportieren.

Ein Teil des anfallenden Ausbruch- und Aushubmaterials kann für Hinterfüllungen im Rahmen des Projektes direkt verwertet werden. Durch die innerstädtische Lage und den beschränkt verfügbaren Platz für Zwischenlager ist die direkte Verwertung aber erschwert, sodass die Abwicklung mehrheitlich über die Baustoffindustrie erfolgen wird. Dies bedingt einen Abtransport des Materials zum Zeitpunkt, wenn es anfällt, und einen Antransport, wenn es später wieder gebraucht wird. Für die Auffüllung der Tunnelsohle, die laufend mit dem Vortrieb erfolgt, ist eine direkte Verwertung des Materials auf der Baustelle mit Zwischenlagerung auf dem Installationsplatz gewährleistet.

3.2 Abtransporte

Für den Abtransport von sauberem und trockenem Ausbruchmaterial aus dem Vortrieb im offenen Erddruckmodus der beiden Tunnelröhren Ost und West ist sowohl ein Verlad auf die Bahn wie auch auf das Schiff möglich. Die gleichen Transportwege sind zudem für das Ausbruchmaterial aus dem Mixschildvortrieb im Fels sowie für Felsmaterial aus dem konventionellen Ausbruch der Querverbindungen, der untertägigen Zentralen und der SOS-Nischen vorgesehen. Ebenfalls geeignet für den Bahn- und/oder Schifftransport ist der Felsabbau von Dolomit aus dem Abschnitt Tagbautunnel Hagnau. Diese Ausbruchvolumina fallen sowohl beim Hauptinstallationsplatz Birsfelden als auch bei den Nebeninstallationsplätzen im Raum Kleinbasel und Hagnau an.

Für die restlichen Ausbruch- und Aushubmaterialien ist ein Lastwagentransport notwendig. In der nächsten Planungsphase ist abschliessend zu klären, ob Ausbruchmaterial aus dem geschlossenen Erddruckmodus (breiig-pastöses Material mit Bodenkonditionierungsmittel) per Bahn und/oder Schiff transportierbar und in Deponien einbaubar ist.

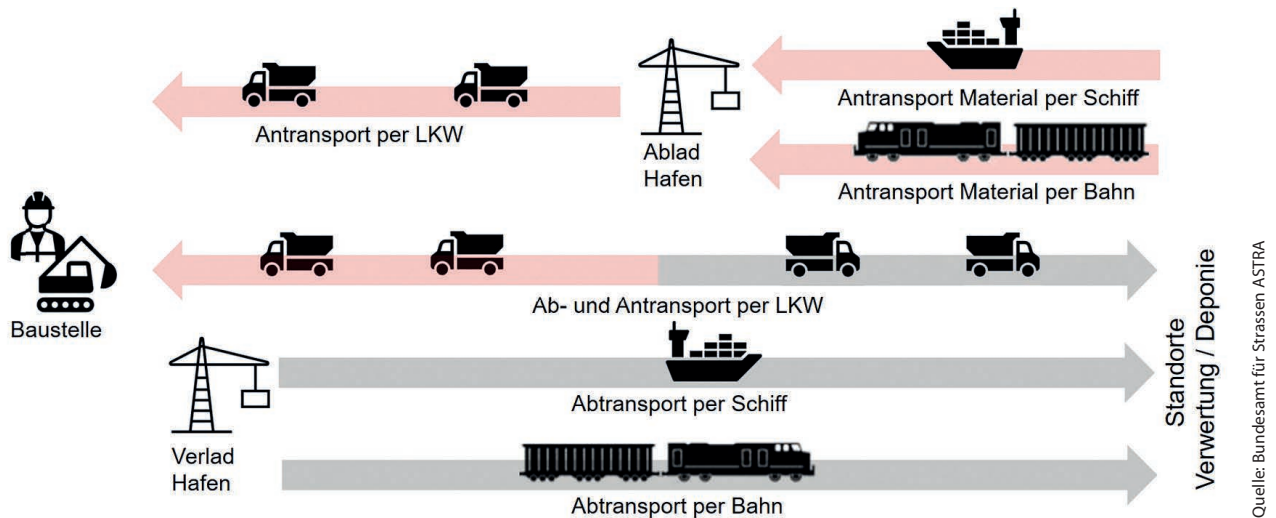
4 Benötigte Partner für Umsetzung Logistikkonzept

Das ASTRA kann den Rheintunnel Basel und insbesondere das multimodale Logistikkonzept nicht ohne Unterstützung der Standortkantone (Kanton Basel-Stadt, Kanton Basel-Landschaft), der Standortgemeinden (Gemeinde Birsfelden, Gemeinde MuttENZ),

der Schweizerischen Rheinhäfen, der zuständigen Fachbehörden (BAV, BAFU) sowie der Eisenbahnunternehmen (SBB, DB/BEV) realisieren. Es müssen die logistischen Rahmenbedingungen für die Durchführung der Transporte geklärt und die notwendigen Bewilligungen für den Export des Materials beschafft werden.

5 Ausblick auf nächste Planungsphasen

Das ASTRA strebt die Umsetzung des multimodalen Logistikkonzeptes an. Es basiert auf einer direkten Verwertung der bautechnisch geeigneten oder aufbereitbaren Materialien im Ausland, im schweizerischen Mittelland und im Raum Basel. Das Material wird per Schiff ins Ausland, per Eisenbahn ins Mittelland und per Lastwagen in die Region Basel transportiert.



9 Multimodales Logistikkonzept

Im Ausland besteht eine Nachfrage für Schüttmaterial, welches im Dammbau und für Hinterfüllungen eingesetzt wird. Im schweizerischen Mittelland besteht ein hoher Bedarf für das Auffüllen von ehemaligen Kiesabbaustellen. In der Region Basel wird das Material für Hinterfüllungen und als Zusatzstoff in der Zementindustrie verwertet werden.

Die benötigten Materialmengen und die exakten Einsatzorte werden in den nächsten Planungsphasen Detailprojekt und Unternehmerausschreibungen konkretisiert werden.

Referenzen

[1] AP Dossier, Beilage i1.1 UVB Stufe 3

Götz Schackenberg, Dipl.-Ing. TU, Federal Roads Office FEDRO, Zofingen Branch, CH-4800 Zofingen

Rhine Tunnel, Basel

Multi-modal logistics concept

As part of Switzerland's Road Development Programme (STEP), plans are being made to relieve congestion and eliminate daily traffic jams in the current eastern bypass in Basel via the Rhine Tunnel. The centrepiece of the Rhine Tunnel is two tunnels that will be excavated using a tunnel boring machine. Materials management requires planning and operating a multi-modal logistics concept at the Rhine Harbour Birsfelden.

1 Rhine Tunnel, Basel

1.1 Project overview, geometrical alignment

The future Rhine Tunnel will run from the Muttenz/Birsfelden tunnel portal under the Rhine as far as the Badischer Railway Station. From there, it will connect to motorway junctions towards Germany and France. The Wiese and Klybeck tunnel sections will make it possible to travel to Switzerland from other countries. Between the Hagnau and Birsfelden junctions, the existing section will be widened by one lane each way.

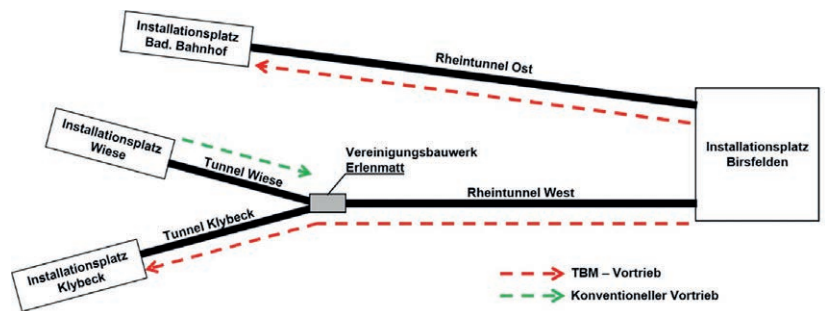
The Rhine Tunnel will consist of two separate tubes – each with two lanes. The Klybeck and Wiese tunnel sections have been designed as single lane roads with emergency lanes.

1.2 The Rhine Tunnel's excavation concept

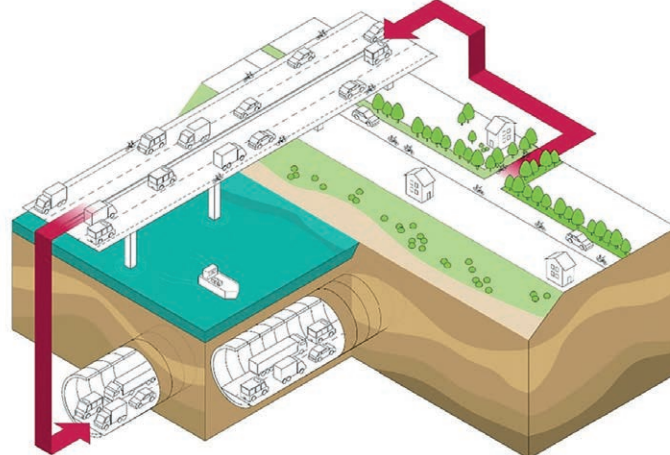
The western Rhine Tunnel is 3.6 km long and the eastern Rhine Tunnel is 3.8 km long. Both tunnels will cross under the Rhine at a depth of at least 18 m from the river bed. The tunnels will be excavated using a tunnel boring machine (multi-mode TBM, outer diameter 13 m) starting at the Birsfelden/Muttenz tunnel portal. The two tunnel tubes will be excavated in series. First, the western tunnel will be excavated from the Birsfelden cavern to Klybeck. The TBM will then be dismantled and reassembled at the portal in Birsfelden in order to excavate the eastern tunnel. Excavation from the Wiese tunnel portal will be carried



1 Rhine Tunnel situation



2 Schematic of the Rhine Tunnel's excavation concept



3 Reduced use of space thanks to the tunnel concept

Credit: Federal Roads Office FEDRO

Credit: Federal Roads Office FEDRO

Credit: Canton Basel-Stadt

Tunnel du Rhin, Bâle

Solution logistique multimodale

Le projet du tunnel du Rhin devrait générer 5.3 millions de tonnes de matériaux d'excavation. La plupart de ces matériaux seront produits sur le site d'installation principal de Birsfelden. En outre, les matériaux de construction, les voussoirs et les éléments de canalisation doivent être livrés sur le site d'installation principal. Le projet général du tunnel du Rhin prévoyait une installation de chargement temporaire et un site de décharge construits spécifiquement pour le projet. Pour des raisons environnementales, une solution logistique multimodale a été développée dans le projet d'exécution, en utilisant l'infrastructure portuaire existante.

Tunnel del Reno di Basilea

Concetto logistico multimodale

Nel progetto del tunnel del Reno si devono smaltire 5.3 Mio di tonnellate di materiale di scavo e di demolizione. Il materiale viene prodotto principalmente nel sito di installazione principale a Birsfelden. Oltre a ciò devono essere trasportati nel sito principale materiali da costruzione ed elementi dei conci prefabbricati e del tunnel di servizio. Nel progetto generale del tunnel del Reno sono stati previsti un impianto temporaneo di carico per il materiale di scavo e una discarica. Nel progetto di pubblicazione è stato sviluppato, per fattori ambientali, un concetto logistico multimodale che utilizza le infrastrutture presenti nel porto di Basilea.

out conventionally with machine-assisted excavation in rock (roadheader) and with excavators and hydraulic hammers or rippers in loose rock. The passages and connections to existing motorway infrastructure will be built using open-cut construction.

1.3 Environmental topics

The Rhine Tunnel project will be predominately carried out underground. This means, overall, only a few people will be affected by air and noise pollution from construction traffic. As the majority of the construction facilities will be located underground, the use of additional space will be minimal. No agricultural or crop rotation areas will be affected.

The biggest challenges for the surrounding environment will arise in the Hardwald region. This is where the harbour railway currently runs along the perimeter of Groundwater Protection Zone S2. Due to the additional lane planned for the national road, the harbour railway will need to be moved into the protection zone. The route will be completely waterproofed to ensure groundwater protection. Given these measures and the fact that the entire route will run above the groundwater table, the encroachment into the Groundwater Protection Zone has been deemed approvable. Relocating the harbour railway as described above also requires permanent clearing and intervention in habitats worthy of protection. Reforestation and ecological replacement measures within the project perimeter will compensate for the environmental impact of the project.

New surfaces above the tunnel enclosures and on the tunnel control centre roofs will be greened. The tunnel control centres will be partially covered with photovoltaic panels as a contribution to sustainable electricity production. Another measure in favour of sustainability planned for the next planning phase of this detailed project is to examine the energy use of heat from groundwater and air from the tunnel.

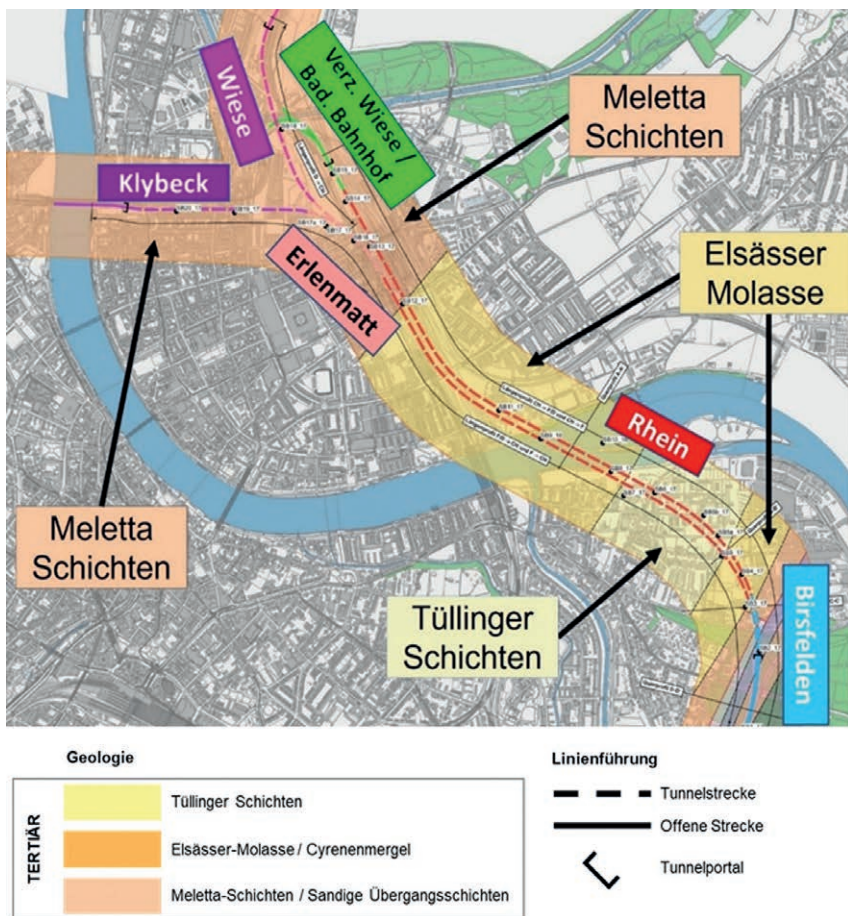
2 Logistics concept basics

2.1 Logistics concept in the general project

Within the general project, an assessment was made regarding removing tunnel excavation material by rail to landfill sites near Rafzerfeld, or alternatively, by lorry via the national road directly to a project-owned landfill site at the south portal of the Belchen tunnel. A temporary loading plant with an additional track at the MuttENZ Auhafen harbour was developed for material transport by rail. This loading plant should have been built in Groundwater Protection Zone S2. However, the preliminary assessment of this variant showed that the required site-specificity was not demonstrated and, therefore, its suitability for authorisation was called into question. The variant involving the project's own landfill would have resulted in major land clearing in the Belchen Tunnel south portal area, which was also viewed critically in terms of approvability. These assessments required developing a new solution approach in the Detailed Design Phase.

2.2 Geology

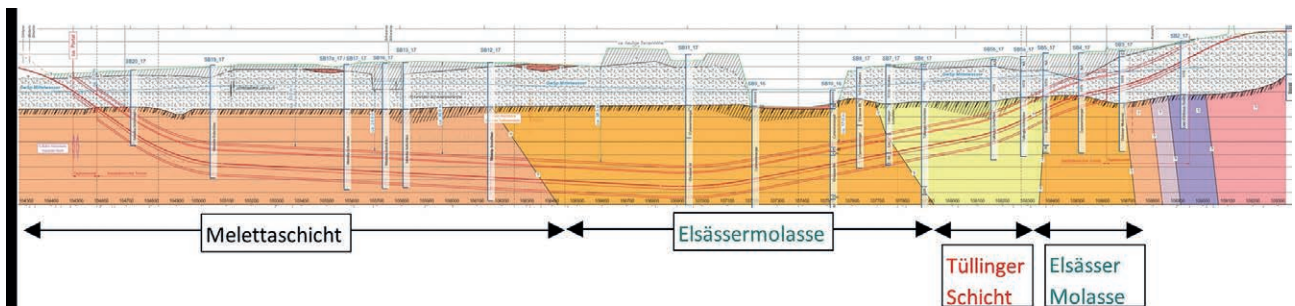
The geology in Basel forms part of the Upper Rhine Rift Valley, which was created in the Tertiary period and is filled with molasse rocks. The Rhine's present course was only formed after the rift valley was created.



Credit: Federal Roads Office FEDRO

4 Project situation with geological forecast

The top layer of the valley consists of backfill with widely varying thicknesses of approx. 1 m to 10 m. A 20-m to 24-m-thick layer of loose rock is located underneath. This layer mostly comprises very dense to densely bedded sandy-gravelly low-terrace ballast, as well as localised valley floodplain ballast. The loose rock contains water and the water level is approximately 5 m to 15 m below ground level. The loose rock is followed by rocky subsoil from the molasse. A distinction exists between the Meletta layers (septarian clay), the Alsatian molasse/Cyrene marl and the Tüllinger layers. The Alsace molasse is predominantly sandy, while the Cyrene marls are clayey. The Meletta layers and the Alsace molasse/Cyrene marls are compact mud-stones/marls, some of which have sandy layers and lenses that are sometimes filled with water. The surface of these rock formations can be clearly weathered down to a depth of 2 metres. The consistency of the surface layers is firm and soft to semi-solid in the weathered areas. The Tüllinger layers consist of calcareous facies. Localised karstification and water-bearing areas should be expected.



Credit: Federal Roads Office FEDRO

5 Longitudinal section of the western Rhine Tunnel with geological forecast

2.3 Accumulated excavation material

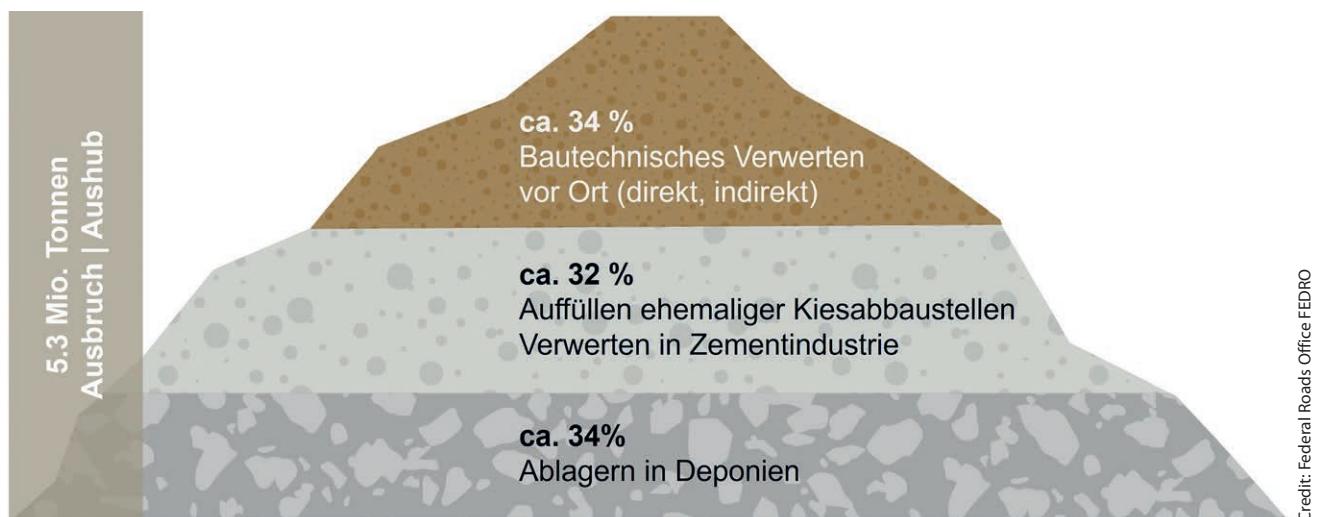
Almost 90% of the total volume of material to be removed (approx. 5.3 million tonnes) will come from the main installation site in Birsfelden. Most of it will be excavated material from the tunnel drives. As a result of the tunnelling process from Birsfelden to Kleinbasel, the section of loose rock with low-terrace ballast will be excavated first. This part of construction will be followed by the Alsace molasse/Cyrene marls, the Tüllinger layers, the Meletta layer and, finally, the low-terrace ballast. The excavated material from the western tunnel will accumulate in Birsfelden for around 20 months, approximately 1.5 years after the start of construction. The excavated material from the eastern tunnel will have to be processed in Birsfelden about four years after the start of construction during the approx. 14 months of tunnelling. Additionally, excavated material is also generated for the construction pits, the open cut-and-cover tunnels, support structures and civil engineering works. 10% of the material volume will be transported directly from the point of origin at the other installation sites or directly from the bridge and cut-and-cover tunnel construction sites.

The Rhine Tunnel's two main tubes will be excavated using a multi-mode tunnel boring machine, which can either be operated as a slurry shield (Hydro) or as an earth pressure balance (EPB) shield via a conversion process. Three different tunnelling methods will be used.

Tunnelling using slurry or mixed shield mode is planned in the loose rock area. A water-bentonite mixture at the cutterhead will be pressurized to support the ground level. The soil will be loosened by the machine, conveyed to the separation plant via the slurry circulation system and separated from the slurry there. Gravel and coarse sand will be sorted out via sieves – fine sand and fine particles via chamber filter presses or centrifuges. The gravel and coarse sand fractions can be washed and reused as gravel-sand. The fine particles must be disposed of in landfills. As the TBM descends, the gravel-sand fractions will become progressively smaller and the proportion of rock material to be disposed of will increase.

In sections where the rock is dry and the tunnel face is stable, the EPB shield can be driven open in the same way as a TBM working in hard rock. The cutterhead will loosen the rock chips, which can be easily removed from the tunnel by conveyor belt and then transported away by rail or ship. This type of tunnelling exhibits the highest output rate and is therefore decisive for designing the logistics concept.

In sections where sandier and therefore more permeable rock formations with groundwater are expected, tunnelling will be carried out in closed mode. The water from the rock mixed with added conditioning agents (additives) will turn the excavated rock into a paste-like state, which will enable the tunnel face to be supported and transported away by conveyor belt. Due to the various conditioning agents, this kind of excavated material is considered contaminated and must be disposed of accordingly.



6 Excavation

According to the current planning status in the implementation project, approx. 66% of the material produced will be recycled in accordance with the Swiss Waste Ordinance (VVEA). Around 34% will either be recycled in the Rhine Tunnel project or in third-party projects in the Basel region. About 32% is destined for filling former material extraction sites or as raw material in the cement industry.

A further 34% of the excavated material must be disposed of in landfills due to the tunnelling method. FEDRO's goal is to reuse as much of the excavated material as possible as construction material or raw material or to recycle it in accordance with the VVEA. It is assumed that several soil treatment plants will be in operation in the Basel region by the time the Rhine Tunnel is completed. It is expected that the latent demand for construction and fill material abroad can be concretised in terms of time and location by the start of construction. A multi-modal transport concept is planned for the Rhine Harbour Birsfelden in order to maximise flexibility in terms of recycling locations and collection points. .

2.4 Properties of the excavated material

The properties of the excavated materials have been determined by the subsoil and the intended construction methods. Twelve project-specific material categories were created on this basis. The structural material classification according to SIA 199, which describes usability, was assigned to the categories of material properties.

Material origin	Material properties category	Material class according to SIA 199	Characteristics	Usability
Building pit	B1	MC3	Dry excavation: artificial backfill	No
	B2	MC2	Dry excavation: low-terrace ballast	Yes
	B3	MC4	Dry excavation: rock excavation of clay and marl	No
	B4	MC4	Dry excavation: rock excavation of karstified limestones and dolomites	Yes
Tunnelling via tunnel boring machines in the tunnel	T1	MC2	Mix-shield tunnelling in loose rock: slurry, well separated into gravel and filter press waste by means of separation	Yes (Gravel)
	T1/T2	MC2	Mixed-shield tunnelling with a mixed tunnel face: low-terrace ballast and rock	Partially (Gravel)
	T2	MC4	Mix-shield tunnelling in rock: slurry, well separated into rock material and filter press waste by means of separation	No
	T3	MC4	Open EPB (Earth Pressure Balance) shield tunnelling: rock chips, mud content <10%	Yes
	T4	MC4	Closed EPB shield tunnelling: soil slurry mixed with conditioning agents, e.g., surfactants	No
Conventional tunnelling	C1	MC2	Excavation with an excavator in low-terrace ballast	Yes
	C1/C2	MC2	Excavation with an excavator with a mixed tunnel face: low-terrace ballast and rock	Yes
	C2	MC4	Excavation with roadheader in rock (clay rock)	Yes

Credit: Federal Roads Office FEDRO

Table 1 Properties of excavated material

All material that is dry after excavation and partial separation can be transported away by rail or ship.

The sludge produced is transported by truck in skips for drying out and disposed in landfills.

The material categories T2, T3 and C2 were taken into account for designing transport by rail and ship and the interim storage facilities at the Rhine Harbour Birsfelden.

At present, there is still a lack of experience as to whether material category T4 can be transported by rail and ship and successfully unloaded at landfill sites. For this reason, the current planning status assumes removal by lorry.

3 Multi-modal transport concept

At the Rhine Harbour Birsfelden, the material can be loaded onto and removed by rail, ship or lorry. This flexible approach is known as a multi-modal transport concept. The system can be built on the existing infrastructure of the Swiss Rhine Harbours for transshipment by rail and ship. The material is transported from the main installation site in Birsfelden via a conveyor belt system and an interim storage facility to the existing infrastructure, loaded and transported away. Furthermore, the Birsfelden Harbour is directly connected to the N2 national road via the Birsfelden feeder road, which enables transportation by road without affecting areas with sensitive properties.



Credit: Federal Roads Office FEDRO

8 Multi-modal transport concept

3.1 Transport to the site

Prefabricated concrete elements will be used to construct the tunnels. These primarily include the segments (tubbings) used to secure excavation during tunnelling with the tunnel boring machine and the elements for the culvert. When designing the required logistics, the fact that these elements can be transported by rail was taken into account. They will be transferred to lorries at the harbour and taken to the nearby landfill at the main installation site in Birsfelden.

The remaining construction material is usually transported by road. However, it would also be possible to transport the aggregates for concrete production by rail or ship.

Some of the excavated material can be directly utilised for backfilling as part of the project. However, the inner-city location and the limited space available for interim storage make direct recycling difficult, meaning that the majority of waste will be processed via the construction materials industry. This means that the material has to be removed when it is produced and transported when it is needed again later. The material for backfilling the tunnel floor, which is carried out continuously as the tunnel is excavated, is utilised directly on the construction site with intermediate storage at the installation site.

3.2 Transport from the site

Both rail and ship loading is possible for removing clean and dry excavated material from the excavation processes using the earth pressure balance TBMs in open mode in the eastern and western tunnel tubes. The same transport routes are also planned for excavated material from the mixed shield tunnelling in rock process and for rock material from the conventional excavation of the cross-passages, the underground control centres and the SOS niches. Dolomite rock excavation from the Hagnau cut-and-cover tunnel section is also suitable for transportation by rail and/or ship. These excavation quantities will occur both at the main installation site in Birsfelden and at the secondary installation sites in the Kleinbasel and Hagnau regions.

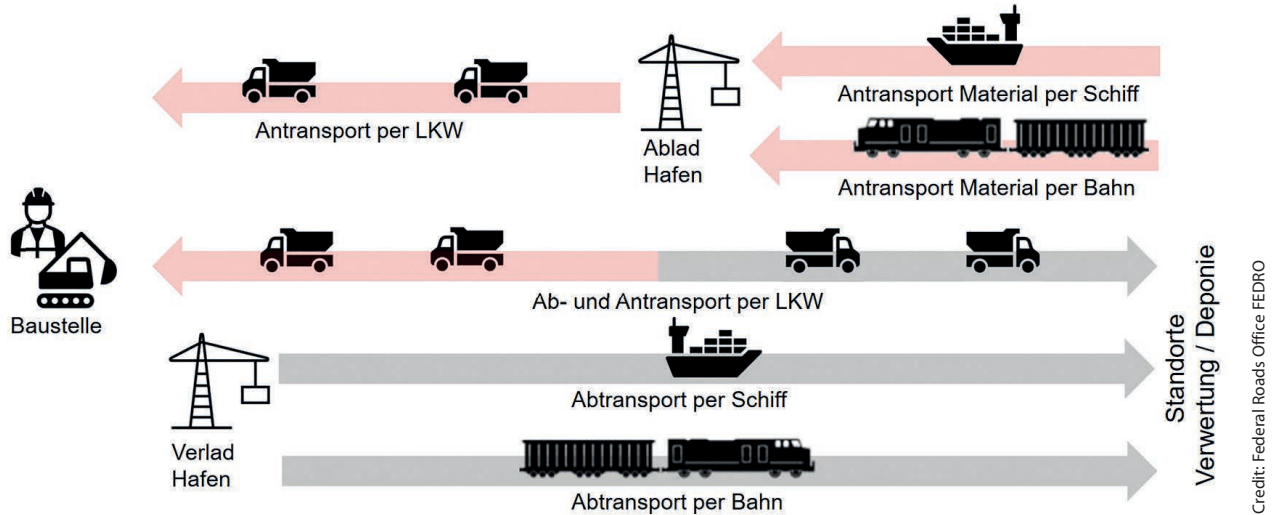
Lorry transport is required for the remaining excavated materials. In the next planning phase, it must be conclusively clarified whether excavated material from the earth pressure balance TBMs in closed mode (pulpy-pasty material with soil conditioning agent) can be transported by rail and/or ship and incorporated into landfills.

4 Partners required for realising the logistics concept

FEDRO cannot realise the Rhine Tunnel in Basel, and in particular the multi-modal logistics concept, without the support of the local cantons (Basel-Stadt, Basel-Landschaft), the local municipalities (Birsfelden, Muttenz), the Swiss Rhine Harbours, the responsible authorities (FOT, FOEN) and the railway companies involved (SBB, DB/BEV). The logistical framework conditions for carrying out the transportation must be clarified and the necessary authorisations for exporting the material must be obtained.

5 Outlook for the next planning phases

FEDRO is working hard to implement the multi-modal logistics concept. It is based on the direct utilisation of materials suitable for construction or processing abroad, in the Swiss Plateau and in the Basel area. The material will be transported abroad by ship, by rail to the Swiss Plateau and by lorry to the Basel region.



9 Multi-modal logistics concept

There is demand abroad for fill material, which can be used in dam construction and for backfilling. In the Swiss Plateau, there is a high demand for backfilling former gravel extraction sites. In the Basel region, the material will be used for backfilling and as an additive in the cement industry.

The quantities of materials required and their exact locations will be finalised in the next planning phases of the detailed project and contractor tenders.

References

[1] AP File, Attachment i1.1 EIA Level 3

FCC, La molasse, une ressource sous-exploitée

Jérémy VOIRON, Dipl. Ing. Mines d'Alès, Chef de Groupe, WSP BG Ingénieurs Conseils SA, Genève/CH
Étienne GARIN, Dipl. Ing. civil EPFL, Expert, WSP BG Ingénieurs Conseils SA, Lausanne/CH
Benoît CHAMPEAU, Dipl. Ing. Institut Géologique A. de Lapparent, Responsable Laboratoire / Études, MS, Veyre-Monton/FR
Laury BARNES DAVIN, Dipl. PhD Materials, Directrice Scientifique et R&D, Vicat, L'Isle-d'Abeau/FR
Éric BUREAU, Responsable Marché Valorisation Matière, Circulère, L'Isle-d'Abeau/FR
Matthias BÜRKI, Dipl. ZHAW School Management and Law, Directeur usine adjoint / Responsable QEP, Ciment Vigier SA, Péry/CH
Julie PHAN, Dipl. Ing. HEI, Directrice, Vigier Béton Romandie, Lausanne/CH
Bertrand FAYOT, Dipl. Ing. civil EPFL, Directeur Général Adjoint, Induni et Cie SA, Lancy/CH

FCC, La molasse, une ressource sous-exploitée

Le CERN, dans le cadre du projet FCC (Future Circular Collider), prévoit de construire un tube circulaire d'une circonférence d'environ 91 km à l'horizon 2033–2040 excavé principalement dans la molasse dans un contexte binational France Suisse.

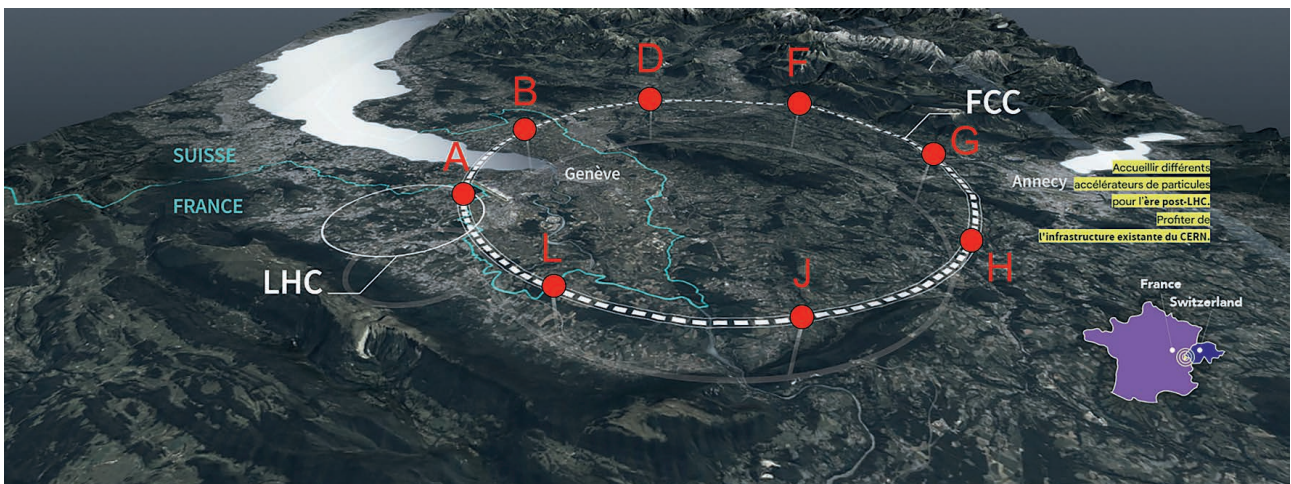
1 Introduction

Le projet FCC (« Future Circular Collider », fig. 1) prévoit la construction d'un tube circulaire d'une circonférence d'environ 91 km à l'horizon 2033–2040 dans un contexte binational France–Suisse.

Le volume de matériaux à excaver est estimé à environ 6.5 millions de m³ en place. Les formations géologiques concernées sont essentiellement de trois types : la molasse rouge du Chattien inférieur, les formations morainiques sus-jacentes et les formations calcaires. La répartition de ces volumes sera affinée en fonction des résultats de la campagne de reconnaissance des sols et des études prévues dans les prochaines années.

La valorisation des matériaux molassiques issus des excavations est difficile, car ces matériaux ne possèdent pas de propriétés intrinsèques permettant leur réutilisation directe en tant que matière première ou secondaire dans un processus industriel. Par ailleurs, les méthodes d'excavation, la sédimentation en bancs et les lentilles d'épaisseurs variables impliquent la prise en charge d'un matériau brut constitué de marnes et de grès mélangés, plus ou moins « pâteux » suivant la quantité d'eau ajoutée lors du processus d'extraction.

Le groupement binational et pluridisciplinaire composé de Vicat (France), Circulère (France), Sigma Béton (France), Granulats Vicat (France), Ciments Vigier SA (Suisse), Vigier Béton Romandie SA (Suisse), MS (France), Induni & Cie SA (Suisse), PRA Ingénieurs Conseils SA (Suisse) et piloté par WSP BG Ingénieurs Conseils SA (Suisse) a donc proposé un processus de traitement permettant de séparer la molasse en fractions granulométriques ou pétrographiques (sables fins, limons et argiles) valorisables indépendamment.



1 Tracé actuellement envisagé pour le FCC

FCC: Die Molasse, eine unzureichend genutzte Ressource

Lösungsvorschläge für das Recycling von Molasse als Antwort auf die Herausforderung, die das CERN im Rahmen seines Wettbewerbs „Mining the Future“ gestellt hat: Das Ziel dieses Artikels ist es, die vorgeschlagenen Behandlungsmethoden und Prozesse für das Recycling dieser Molasse unter Berücksichtigung der Bedingungen, unter denen das Projekt durchgeführt werden soll, vorzustellen. Es werden auch mögliche Verwendungszwecke für Molasse-Materialien, wie Betonsand, Korrektursand, kohlenstoffarmer Zement, Lehmton usw., beschrieben.

FCC: La molassa, una risorsa sottosfruttata

Proposte di soluzioni per il riciclo della molassa come risposta alla sfida lanciata dal CERN nell'ambito del suo concorso "Mining the future". Il proposito di quest'articolo è quello di presentare i metodi di trattamento ed i processi proposti per il riciclo della molassa in considerazione delle condizioni in base alle quali il progetto deve essere attuato. Verranno anche descritti possibili scopi di impiego dei materiali molassici come sabbia di calcestruzzo, sabbia di correzione, cemento a basso tenore di carbonio, calcestruzzo in terra cruda etc.

2 Tri et séparation des matériaux

2.1 Analyse en ligne

Les matériaux molassiques provenant des fronts d'excavation seront réceptionnés sur une plateforme intermédiaire de tri et de stockage équipée d'installations spécifiques. Des développements innovants doivent être envisagés, notamment dans la caractérisation en continu des matériaux d'excavation, pour effectuer un pré-tri efficace sur le site : l'enjeu est de mettre en place une chaîne logistique qui puisse suivre le flux de production des chantiers d'excavation sans nécessiter de grandes surfaces de stockage temporaire des matériaux d'excavation. Les matériaux passeront donc par une série d'analyseurs en ligne installés sur le convoyeur d'alimentation de la station de traitement pour permettre une identification immédiate de leurs composants pétrographiques utiles à leur affectation à une filière de valorisation spécifique.

Notre consortium expérimente notamment deux technologies différentes d'analyse en ligne basées sur l'intelligence artificielle associée à l'analyse proche infrarouge (NIR) et hyper-spectrale, qui pourraient rendre l'analyse en ligne plus facile d'accès qu'avec la PGNA (« Prompt Gamma Neutron Activation Analysis ») puisqu'aucune source de neutrons ne serait nécessaire. Optimisées par l'intelligence artificielle, ces solutions éviteraient les phases de calibration longues et coûteuses, et réduiraient ainsi drastiquement les besoins de stockage avant traitement.

2.2 Séparation des matériaux

La séparation des matériaux molassiques sera effectuée dans une installation de séparation des matériaux du même type que celle présentée en [figure 2](#).

Le procédé de séparation des matériaux molassiques commencera par un tri granulométrique des matériaux incluant un système de lavage à l'eau en circuit fermé.

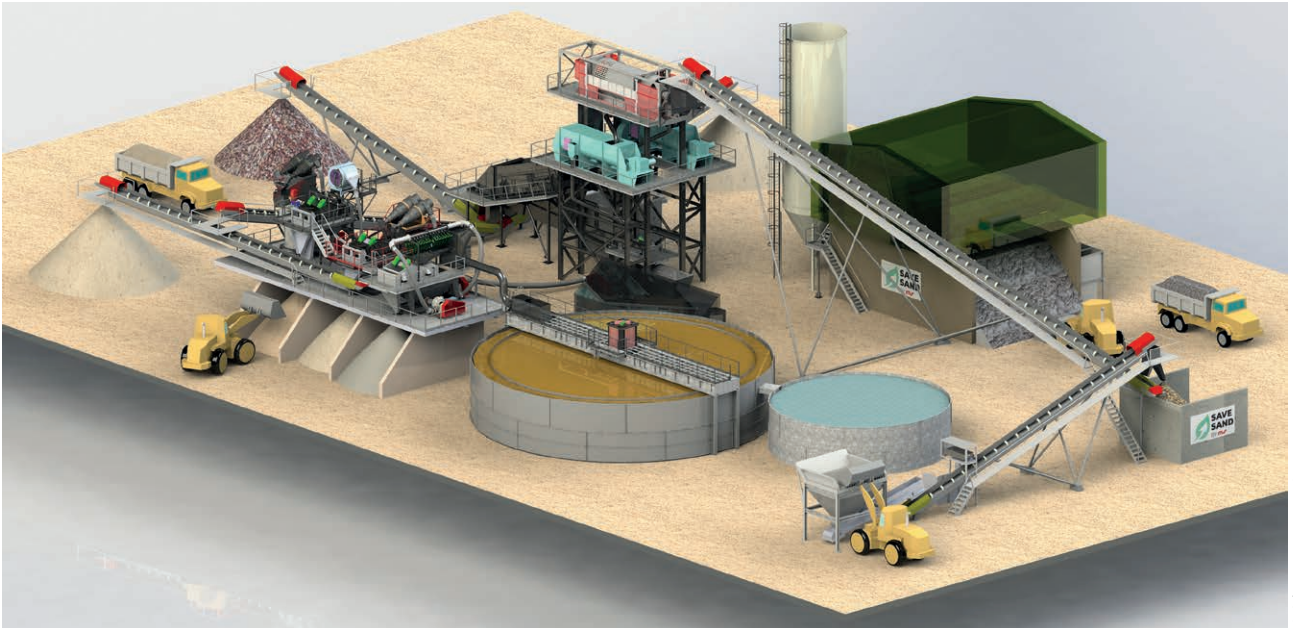
La première étape consistera à mélanger et concasser les agrégats d'argile pour diluer la totalité des amas argileux. Plusieurs types d'installations pourront être testés afin d'optimiser ce procédé, comme le « débourbeur trommel », le « logwasher », le « turbowasher », etc.

Les fractions de 20 mm, 4 mm et 2 mm seront obtenues par criblage sous eau et la séparation à la fraction de 500 µm via un tamiseur cyclonique (équipement breveté).

L'alimentation tangentielle du tamiseur cyclonique ainsi que la maille des grilles de criblage permettent de réaliser une séparation granulométrique des particules sableuses entre 500 µm et 1 mm (adaptable selon les réglages).

La fraction des extra-fines < 63 µm sera séparée de la fraction sableuse via des hydro-cyclones : l'alimentation tangentielle de la pulpe dans le cône de l'hydrocyclone permet la création d'un vortex dans le corps du cyclone. Les éléments grossiers sont propulsés en périphérie par la force centrifuge et sont concentrés au niveau de la buse « underflow ». Tandis que les extra-fines et la majeure partie de l'eau sont entraînées à travers le vortex au centre du cyclone vers la buse « overflow » du cyclone.

Les fractions sableuses de 2 à 4 mm, de 500 µm à 2 mm et de 63 à 500 µm seront recomposées en ligne et à la demande pour respecter des fuseaux granulométriques objectifs grâce à un système de pesage sur convoyeur piloté par l'automate.



2 Vue isométrique 3D de l'usine de séparation des matériaux envisagée

La fraction inférieure à 15 μm (argiles) sera séparée de la fraction de 15 à 63 μm (silts, limons) via des micro-hydrocyclones. La fraction de 15 à 63 μm sera essorée via un ou desessoreurs dédiés.

Une station de traitement des eaux (décanteur) recevra les eaux chargées en fines (particules de 0 à 15 μm) du processus de lavage avec un double objectif : clarifier l'eau pour pouvoir la recycler et concentrer les boues.

Une phase de floculation permettra de mélanger les eaux chargées en fines avec un polymère organique (floculant) afin de former des amas de particules (flocs). Ce polymère, caractérisé par sa tension électrique superficielle, agira sur la tension superficielle des fines pour les rassembler et former des « flocs » qui pourront alors avoir une vitesse de décantation acceptable de l'ordre de 20 à 40 m/h. Enfin, l'eau clarifiée et recyclée débordera par le haut du décanteur et la boue concentrée sera évacuée par le fond.

Les hydrocarbures potentiellement présents dans les matériaux d'excavation molassiques, comme les C5-C10 ou les C10-C40 [1] seront principalement concentrés dans l'eau recyclée. Ces derniers pourraient être éliminés par l'installation de déshuileurs ou l'utilisation d'autres traitements complémentaires.



3 Illustration d'un filtre presse

Les boues provenant du décanteur seront transférées vers un silo tampon de stockage, puis envoyées vers des filtres presses pour les déshydrater. Ces derniers seront constitués d'un ensemble de plateaux (chambrés ou membranés) entre un bloc fixe et un bloc mobile contrôlé par un vérin hydraulique. Les chambres étanches ainsi créées seront recouvertes de toiles de filtration. Des pompes à boue permettront de remplir les filtres de presse de boue, de monter en pression (jusqu'à 8 bars) et de déshydrater les boues. Les plateaux membranés seront, dans un deuxième temps, remplis d'eau (jusqu'à 16 bars) pour compléter la déshydratation des boues.

Ce procédé de filtration illustré en figure 3 permettra d'obtenir une déshydratation optimale des extra-fines (0-15 μm). L'eau claire (filtrats) sera drainée vers un réservoir de collecte et mélangée aux eaux clarifiées par le décanteur. Ainsi, comme présenté également en figure 4, le procédé proposé consistera à séparer les matériaux d'excavation molassiques en 7 fractions granulométriques afin de classer les matériaux et de multiplier les possibilités d'utilisation des produits :

Crédit: Entreprise MS

FCC, La molasse, une ressource sous-exploitée

- 20 mm : blocs de grès ;
- 4 à 20 mm : graviers et gravillons ;
- 2 à 4 mm : sables grossiers ;
- 500 µm à 2 mm : sables moyens ;
- 63 à 500 µm : sables fins ;
- 15 à 63 µm : particules de limon ou silt ;
- < 15 µm : particules d'argiles en majeure partie.

Les tests effectués sur les échantillons de molasse collectés sur le chantier du CERN HL-LHC Point 1 [2] permettent d'envisager les fractions granulaires suivantes :

- 15 à 20 % de granulats de plus de 4 mm qui pourraient être broyés pour produire un sable grossier ;
- 10 à 15 % de particules sableuses de 63 µm à 4 mm qui pourraient être séparées et mélangées pour produire des sables spécifiques comme du sable à béton, du sable de pose, du sable de filtration, etc. ;
- 10 à 15 % de particules limoneuses qui pourraient être utilisées en tant que correcteurs de granulométrie pour les sables grossiers ;
- 36 à 48 % de particules d'argile qui pourraient être utilisées pour produire du ciment bas carbone.

3 Valorisation et réutilisation de la molasse

3.1 Valorisation de la fraction argileuse

3.1.1 Valorisation en ciment bas carbone

La séparation des particules d'argile et des particules limoneuses permettra d'effectuer un traitement thermique des argiles pour les activer. En effet, certains minéraux argileux peuvent, à une température comprise entre 700 et 850°C, acquérir des propriétés pouzzolaniques.

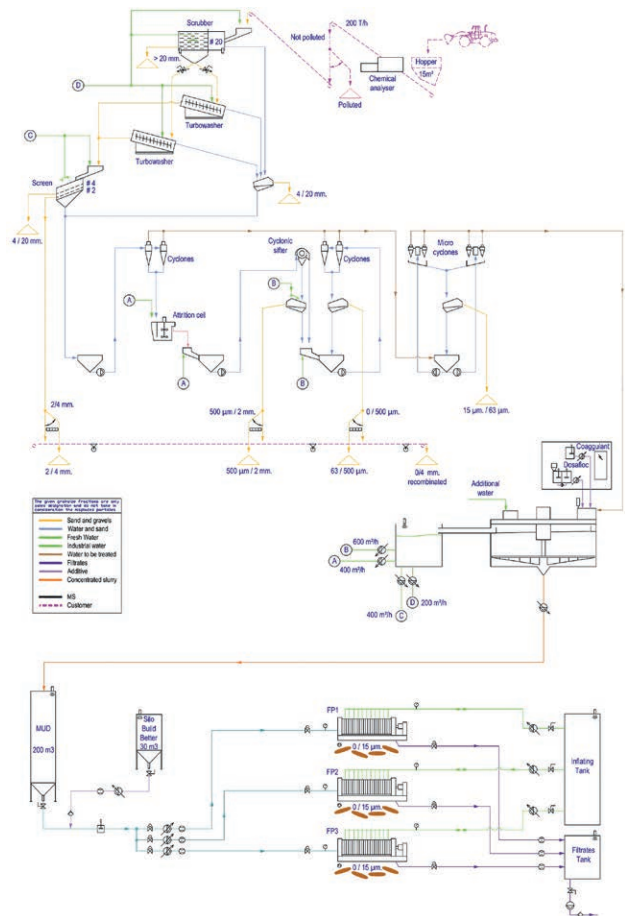
Les ciments d'argile calcinée sont dits « bas carbone » car la calcination de l'argile activée a lieu à une température inférieure à celle de la clinkérisation et ne conduit donc pas à une réaction de décarbonatation (produisant du CO₂), mais à un déshydroxylation (produisant de l'eau). L'impact environnemental d'un tel produit est donc particulièrement intéressant.

La technologie d'activation des argiles existe, et cette industrialisation est le résultat de 10 ans de R&D avec des brevets déposés dans le domaine des argiles activées. Les tests réalisés sur les échantillons de molasse excavée lors du projet du CERN HL-LHC Point 1 [2] démontrent leur potentiel d'activation en laboratoire. L'hydro-cyclonage a montré un enrichissement efficace de la fraction argileuse, avec une plus grande quantité d'argile dans la fraction des 0 à 15 µm.

À 28 jours, l'activation thermique optimisée démontre une réactivité modérée de la molasse. Il est notamment mis en évidence dans la figure 5, que plus la fraction est fine, meilleure est la résistance obtenue.

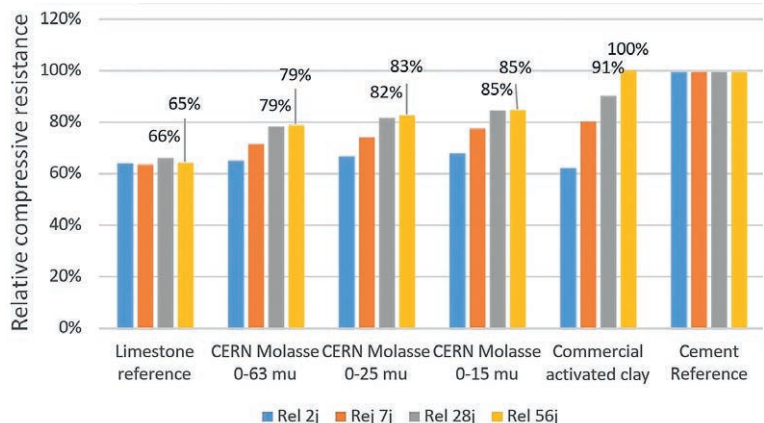
Du fait d'une réactivité plus faible et d'émissions géogènes de CO₂ plus élevées en raison de la teneur en CaO ou MgO, l'intérêt pour ce matériau par rapport à d'autres produits commerciaux similaires est modeste.

Toutefois, il pourrait représenter une ressource aisément disponible pendant des décennies et qui permettrait l'approvisionnement en ciment



4 Diagramme définissant le process de séparation envisagé

Crédit: Entreprise MS



5 Diagramme de résistance relative à la compression des argiles activées

Crédit: Entreprise Vigier

bas carbone d'une grande région transfrontalière. Ce nouveau ciment permettra d'économiser environ 75 tonnes de CO₂ par tonne par rapport à un ciment classique, évitant ainsi l'émission d'au moins 235 000 tonnes sur 10 ans dans les volumes considérés.

L'unité d'activation thermique comprendra un traitement de pointe des émissions de gaz et sera alimentée par des déchets de combustibles solides alternatifs, évitant ainsi la mise en décharge ou l'incinération. Le procédé de calcination devra être validé à grande échelle dans une installation de calcination des argiles, comme présenté en [figure 6](#).



Crédit: FLSmidth

6 Vue isométrique 3D d'une usine de calcination flash dédiée aux argiles

3.1.2 Valorisation en béton de terre crue

Les argiles non activables et les limons présents dans la molasse pourront être utilisés pour fabriquer des bétons de terre crue par l'ajout de liants hydrauliques et/ou non hydrauliques et éventuellement de fibres végétales. Ces bétons, dont la résistance peut atteindre plus de 25 MPa, ont un faible impact carbone et présentent une inertie favorable au confort thermique d'été (maintien d'une température intérieure adaptée même en période de fortes chaleurs).

Ces bétons, traditionnellement appelés « pisé », « adobe » ou « torchis », peuvent être coulés en place ou transformés en blocs de terre crue dans une usine de préfabrication. Ils peuvent également être projetés ou injectés dans des systèmes de construction isolés.

La région Auvergne-Rhône-Alpes réalisée est une région dans laquelle une partie de l'habitat traditionnel a été réalisé en pisé et les savoir-faire ont été conservés et associés aux techniques modernes, en particulier dans le cadre des Grands Ateliers de L'Isle-d'Abeau (38, France) ou des travaux de recherche de l'ENTPE de Lyon (69, France).

Ce nouveau marché compte également plusieurs promoteurs dans la région lémanique, allant des start-up produisant des blocs de terre crue, aux architectes ou entreprises de construction érigeant de véritables bâtiments ou murs de soutènement avec ce matériau.

Bien que la construction en terre ait été pratiquée dans des zones restreintes pendant des siècles, les nouvelles technologies de stabilisation et de traitement de l'argile permettent de l'appliquer à une gamme plus large et notamment pour la production de bétons de terre crue. Ces nouvelles méthodes de production assurent également une meilleure durabilité des bétons obtenus.

3.2 Valorisation de la fraction sableuse

Les blocs de grès présentent une faible résistance mécanique. Leur potentiel d'utilisation étant très faible, ils seront concassés pour générer des particules de sable. Il sera ainsi obtenu un sable grossier qui pourra être mélangé au sable fin naturel lavé de la

FCC, La molasse, une ressource sous-exploitée

molasse. Le mélange des deux sables pourrait constituer un sable à béton de 0 à 4 mm. Le processus de concassage générera 3% de grains fins de 0 à 1 mm qui pourront être introduits comme additifs dans le sable fin correcteur.

Le mélange de sable pourrait maximiser le potentiel de réutilisation de cette fraction. Les différents sous-produits seront mélangés avec un système PLC (système automatique développé par MS) dans des proportions ajustables pour créer un sable recombéné.

En fonction des spécifications requises pour le sable, toute la fraction de sable déficitaire (appelée « sable maître ») sera mélangée à une partie de la fraction de sable excédentaire (appelée « sable esclave ») par une goulotte à deux ou trois voies munies de volets de répartition. Ces clapets pourront être actionnés automatiquement en fonction des informations fournies par les capteurs de pesage intégrés au convoyeur. À l'issue de ce processus, il sera obtenu un sable dont la granulométrie sera adaptée à celle d'un sable du commerce.

Les grès de la région lémanique sont principalement composés de quartz (40 à 70%), de calcite (20 à 45%) et de feldspaths (5 à 10%), ce qui est une pétrographie adaptée à la production d'un sable conforme aux normes. Les essais menés sur la fraction fine montrent qu'un mélange avec le sable concassé plus grossier permet d'obtenir une granulométrie adaptée aux sables à béton (FM = 2,5 - 2,7 ; SE (10) > 80). Les valeurs de MB < 0,9 mettent en évidence un sable propre.

La fraction sableuse représentera environ la moitié du volume de produits molassiques valorisés. Le marché régional pourrait absorber ces quantités parce que la production envisagée représentera moins de 20% de la consommation annuelle estimée et qu'il s'agira d'un matériau très recherché qui, autrement, devrait être prélevé directement dans le milieu naturel.

3.3 Valorisation de la molasse polluée aux hydrocarbures

Les matériaux fortement pollués aux hydrocarbures seront évacués vers des cimenteries situées à proximité du projet pour y être valorisés [1]. L'expérience acquise lors du Projet du CERN HL-LHC Point 1 a montré que la priorité devra être donnée à cette solution rentable.

Si les quantités de molasse fortement polluée devaient dépasser la capacité d'absorption des cimenteries, la réduction de la concentration en hydrocarbures en dessous des seuils réglementaires par bioremédiation et donc par injection de micro-organismes (bactéries) pourrait être envisagée. Néanmoins, ce procédé, bien qu'intéressant, impliquerait l'occupation de grandes surfaces pendant une longue période.

Enfin, si les concentrations d'hydrocarbures des matériaux potentiellement pollués pouvaient être réduites à un niveau convenant à la réutilisation de la matière molassique et à sa transformation en ressource pour l'industrie de la construction, ces matériaux pourraient être réintégrés dans le cycle de vie des matières molassiques non polluées décrit plus haut.

Désignation	Part [pour 1 m³]	Quantité estimée [m³ en place]	Filières de valorisation envisagées pour les molasses issues du FCC CERN
Blocs de grès et graviers 4/20 mm	0.15	975 000	Concassés pour générer des grains de sable, et mélangés au sable fin naturel lavé de la molasse pour constituer un sable à béton 0/4 mm
Sables concassés 0,5/4 mm	0.03	195 000	Recombinés en 0/4 mm : secteur des matériaux granulaires (sable à béton, sable correcteur, sable de filtration, remblai de tranchées, etc.)
Fines 63/500 µm	0.12	780 000	
Limons 15/63 µm	0.12	780 000	Secteur des matériaux granulaires (correcteur pour les sables grossiers)
Argiles < 15 µm	0.48	3 120 000	36 à 48 % de la molasse semble appropriée pour l'activation thermique et la production de ciment bas carbone. Les argiles ne pouvant être activées seront mélangées à des sables 0/1 mm pour obtenir un béton de terre crue ou des briques en terre cuite.
Molasses polluées	0.10	650 000	Cimenteries, (bioremédiation)

Crédit: Sans objet

Tableau 1 Répartition des matériaux molassiques par quantité et filière de valorisation

3.4 Synthèse des valorisations envisagées

Il est envisagé de réaliser des essais de type « industriel » sur plusieurs tonnes d'échantillons de matériaux molassiques excavés dans le cadre du projet FCC. En complément des essais de laboratoire, ces derniers permettraient de bénéficier de plus grandes quantités de produits finis valorisés et de perfectionner les techniques de valorisation prévues à l'aide d'un outil industriel performant comme mis en évidence dans le [Tableau 1](#).

4 Conclusion

Le début des travaux du FCC est planifié au milieu des années 2030. Il offrira une opportunité exceptionnelle de développer une filière industrielle de valorisation de la molasse extraite.

D'ici là, d'autres grands projets seront réalisés. Il conviendrait donc de trouver des synergies dans les investissements nécessaires au développement puis à la production de divers composés minéraux utilisables par l'industrie de la construction, tant dans le cadre de ces projets que sur le marché transfrontalier local.

Plus de la moitié des matériaux valorisés pourraient être vendus sur le marché du sable et de ses produits associés. Le potentiel d'activation des argiles donnera lieu au développement du premier ciment bas carbone de molasse activée au monde. Ainsi donc, le concept d'économie circulaire trouvera ici toute sa pertinence.

Références

- [1] Voiron, J., et al. 2020. CERN HL-LHC Point 1, Gestion des matériaux d'excavation potentiellement contaminés par des hydrocarbures. Congrès de l'AFTES, Paris, 2021.
- [2] Voiron, J., et al. 2022. FCC, Molasse is the new ore. Concours Mining the Future, Genève, 2022.

FCC: The Molasse, an under-exploited resource

Jérémy VOIRON, Dipl. Ing. Mines d'Alès, Chef de Groupe, WSP BG Ingénieurs Conseils SA, Genève/CH
Étienne GARIN, Dipl. Ing. civil EPFL, Expert, WSP BG Ingénieurs Conseils SA, Lausanne/CH
Benoît CHAMPEAU, Dipl. Ing. Institut Géologique A. de Lapparent, Responsable Laboratoire / Études, MS, Veyre-Monton/FR

Laury BARNES DAVIN, Dipl. PhD Materials, Directrice Scientifique et R&D, Vicat, L'Isle-d'Abeau/FR

Éric BUREAU, Responsable Marché Valorisation Matière, Circulère, L'Isle-d'Abeau/FR

Matthias BÜRKI, Dipl. ZHAW School Management and Law, Directeur usine adjoint / Responsable QEP, Ciment Vigier SA, Péry/CH

Julie PHAN, Dipl. Ing. HEI, Directrice, Vigier Béton Romandie, Lausanne/CH

Bertrand FAYOT, Dipl. Ing. civil EPFL, Directeur Général Adjoint, Induni et Cie SA, Lancy/CH

FCC: The Molasse, an under-exploited resource

As part of the FCC (Future Circular Collider) project, CERN is planning to build a circular tube with a circumference of around 91 km by 2033–2040, excavated mainly in molasse in a bi-national French Swiss framework.

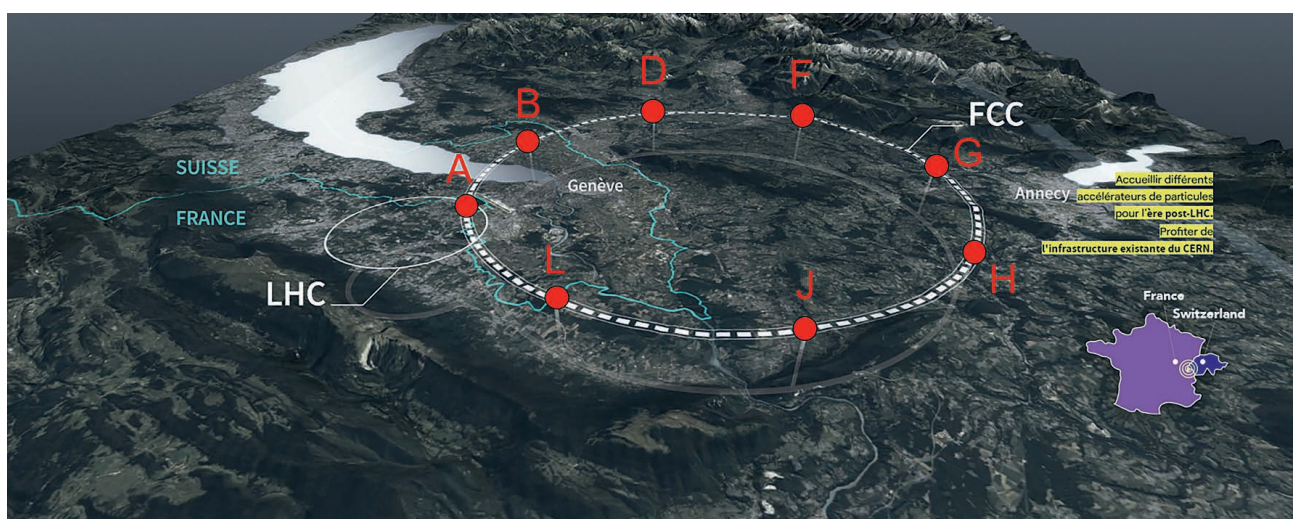
1 Introduction

The FCC project ("Future Circular Collider", Fig. 1) includes a proposal to construct a tunnel with a circular alignment of around 91 km by 2033–2040 in a bi-national French Swiss framework.

The volume of material to be excavated is estimated to be around 6.5 million m³ in place. The geological formations concerned essentially fall into three categories: the Lower Cretan red molasse, overlying morainal formations and limestone formations. Breaking down these quantities of material will depend on the results of the soil survey and studies planned over the next few years.

Recovering molasse materials from excavations is difficult, as these materials have no intrinsic properties that would allow them to be recycled directly as raw or secondary materials in an industrial process. In addition, excavation methods, sedimentation in banks and lenses of varying thickness mean that the raw material will be made up of mixed marl and sandstone, more or less "pasty", depending on the amount of water added during the extraction process.

The bi-national, multi-disciplinary consortium comprising Vicat (France), Circulère (France), Sigma Béton (France), Granulats Vicat (France), Ciments Vigier SA (Switzerland), Vigier Beton Romandie SA (Switzerland), MS (France), Induni & Cie SA (Switzerland) and PRA Ingénieurs Conseils SA (Switzerland), led by WSP BG Ingénieurs Conseils SA (Switzerland), proposed a treatment process that would separate the molasse into granulometric or petrographic fractions (fine sands, silts and clays) that could be recycled individually.



1 Route currently envisaged for the FCC

Credit: FCC (Future Circular Collider)

FCC: Die Molasse, eine unzureichend genutzte Ressource

Lösungsvorschläge für das Recycling von Molasse als Antwort auf die Herausforderung, die das CERN im Rahmen seines Wettbewerbs „Mining the Future“ gestellt hat: Das Ziel dieses Artikels ist es, die vorgeschlagenen Behandlungsmethoden und Prozesse für das Recycling dieser Molasse unter Berücksichtigung der Bedingungen, unter denen das Projekt durchgeführt werden soll, vorzustellen. Es werden auch mögliche Verwendungszwecke für Molasse-Materialien, wie Betonsand, Korrektursand, kohlenstoffarmer Zement, Lehmton usw., beschrieben.

FCC: La molassa, una risorsa sottosfruttata

Proposte di soluzioni per il riciclo della molassa come risposta alla sfida lanciata dal CERN nell'ambito del suo concorso "Mining the future". Il proposito di quest'articolo è quello di presentare i metodi di trattamento ed i processi proposti per il riciclo della molassa in considerazione delle condizioni in base alle quali il progetto deve essere attuato. Verranno anche descritti possibili scopi di impiego dei materiali molassici come sabbia di calcestruzzo, sabbia di correzione, cemento a basso tenore di carbonio, calcestruzzo in terra cruda etc.

2 Sorting and separating materials

2.1 Online analysis

Molasse materials from the excavation will be received on an intermediate sorting and storage platform equipped with specific facilities. Innovative developments need to be envisaged, particularly with regard to the continuous characterisation of excavated materials, in order to carry out effective pre-sorting on site. The challenge is to set up a logistics chain that can follow the production flow of excavation sites without requiring the use of large areas to temporarily store excavated materials. The materials will therefore pass through a series of in-line analysers installed on the processing station's feed conveyor to enable immediate identification of their petrographic components – so that they can be assigned to a specific recycling process.

In particular, our consortium is experimenting with two different online analysis technologies based on artificial intelligence combined with near infrared and hyper-spectral analysis, which could make online analyses easier to access than with PGNA (Prompt Gamma Neutron Activation Analysis), since no neutron source would be required. Optimised by artificial intelligence, these solutions would avoid long and costly calibration phases, drastically reducing storage requirements prior to processing.

2.2 Separating materials

Separating molassic materials will be carried out in a material separation plant like the one shown in [Figure 2](#).

The process for separating molasse materials will begin with granulometrically sorting the materials, including a closed-circuit water washing system.

The first step is to mix and crush the clay aggregates to dilute all the clay lumps. Several types of installations can be tested in order to optimise this process, such as the "de-sludger drum", the "logwasher", the "turbowasher", etc.

The 20-mm, 4-mm and 2-mm fractions will be obtained by underwater screening and the 500 µm fraction will be separated using a cyclonic sifter (patented equipment).

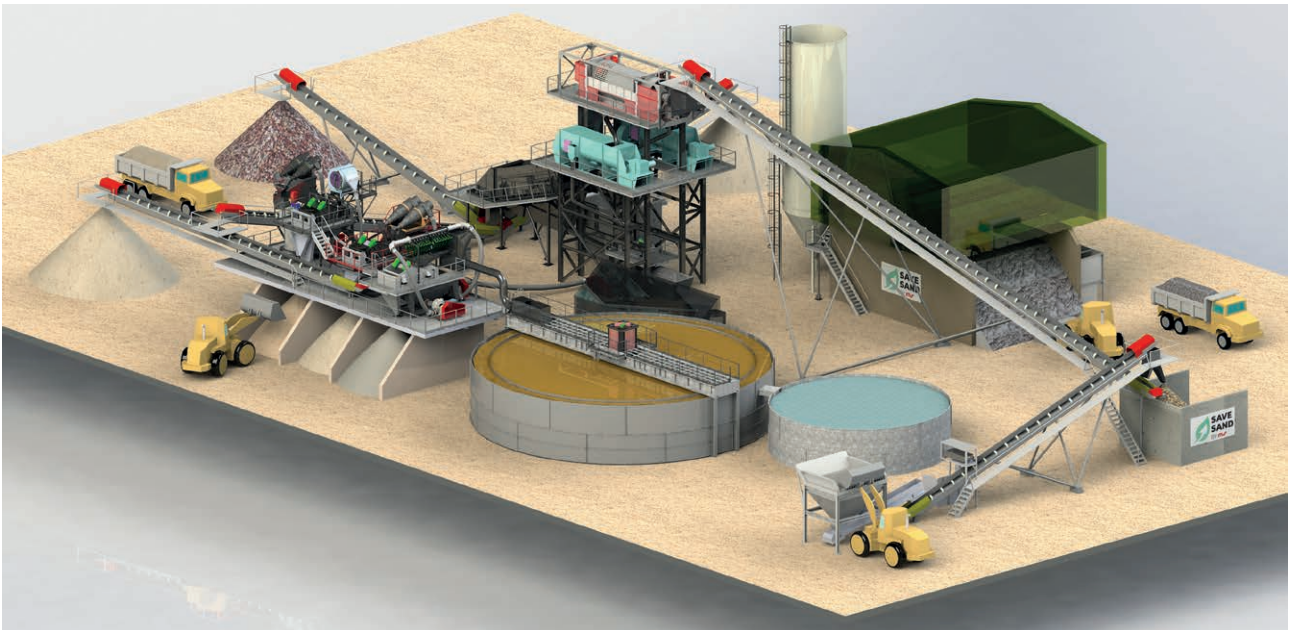
The cyclonic sifter's tangential feed and the mesh size of the screening grids enable sand particles to be separated into sizes ranging from 500 µm to 1 mm (adjustable according to settings).

The extra-fine fraction < 63 µm is separated from the sandy fraction using hydro-cyclones. By feeding the suspension tangentially into the hydro-cyclone cone, a vortex is created in the cyclone body. Coarse particles are propelled to the periphery by centrifugal force and are concentrated at the underflow nozzle. The extra-fine particles and most of the water are carried through the vortex in the centre of the cyclone to the cyclone's overflow nozzle.

The sandy fractions of 2 to 4 mm, 500 µm to 2 mm and 63 to 500 µm will be re-composed online and on demand to comply with objective particle size ranges thanks to a weighing system on a conveyor controlled by the automatic system.

The fraction below 15 µm (clays) will be separated from the fraction between 15 and 63 µm (silts) using micro-hydrocyclones. The 15 to 63 µm fraction will be dewatered using one or more specialized dewaterers.

FCC: The Molasse, an under-exploited resource



Credit: Entreprise MS

2 3D isometric view of the proposed materials separation plant

A water treatment station (separator) will receive the water loaded with fine particles (0 to 15 μm) from the washing process – with a dual purpose: to clarify the water so that it can be recycled and to concentrate the sludge.

A flocculation phase will mix the fine particles with an organic polymer (flocculant) to form clusters of particles (flocs). This polymer, characterised by its electrical surface tension, will act upon the fine particles' surface tension to bring them together and form "flocs" which can then have an acceptable settling speed of around 20 to 40 m/h. Finally, the clarified and recycled water will overflow from the top of the separator (settling tank) and the concentrated sludge will be evacuated from the bottom.

Hydrocarbons potentially present in molassic excavation materials, such as C5-C10 or C10-C40 [1], will be mainly concentrated in the recycled water. These could be eliminated by installing oil separators or using other complementary treatments.

The sludge from the separator will be transferred to a buffer storage silo, then sent to filter presses for dewatering. The filter presses will be made up of a set of trays (chambered or membraned) between a fixed block and a mobile block controlled by a

hydraulic jack. The watertight chambers thus created will be covered with filter cloths. Sludge pumps will transfer sludge into the filter press chambers, where pressure (up to 8 bar) will be applied to dewater the sludge, increasing the solids content inside these chambers. Then, membrane trays will be filled with clear water, known as wash (up to 16 bars), to complete the sludge dewatering process.



3 Illustration of a filter press

This filtration process, illustrated in Figure 3, will enable ideal dehydration of extra-fine particles (0-15 μm). The clear water (filtrates) will be drained to a collection tank and mixed with the clarified water from the separator (settling tank).

Thus, as also shown in Figure 4, the proposed process will involve separating molassic excavation materials into 7 granulometric fractions in order to classify the materials and increase the possibilities of using the following products:

- 20 mm: sandstone blocks;
- 4 to 20 mm: gravel and chippings;
- 2 to 4 mm: coarse sand;
- 500 μm to 2 mm: medium-sized grains of sand;
- 63 to 500 μm : fine sand;

Credit: Entreprise MS

FCC: The Molasse, an under-exploited resource

- 15 to 63 µm: silt particles;
- < 15 µm: mostly clay particles.

Tests carried out on molasse samples collected on the CERN HL-LHC Point 1 site [2] suggest the following granular fractions:

- 15 to 20% of aggregates are larger than 4 mm, which could be crushed to produce coarse sand;
- 10 to 15% are sand particles from 63 µm to 4 mm, which could be separated and mixed to produce specific types of sand such as concrete sand, paving sand, filtration sand, etc.;
- 10 to 15% are silty particles, which could be used as particle size correctors for coarse sands;
- 36 to 48% are clay particles, which could be used to produce low-carbon cement.

3 Recovery and recycling the molasse

3.1 Recovery of the clay fraction

3.1.1 Treatment processes to produce low-carbon cement

By separating the clay particles from the silty particles, the clays can be heat-treated to activate them. Some clay minerals can acquire pozzolanic properties at temperatures between 700 and 850°C.

Calcined clay cements are said to be “low carbon” because the calcination of activated clay takes place at a lower temperature than clinkerisation and therefore does not lead to a decarbonation reaction (producing CO₂) – but rather to dehydroxylation (producing water). The environmental impact of such a product is therefore particularly interesting.

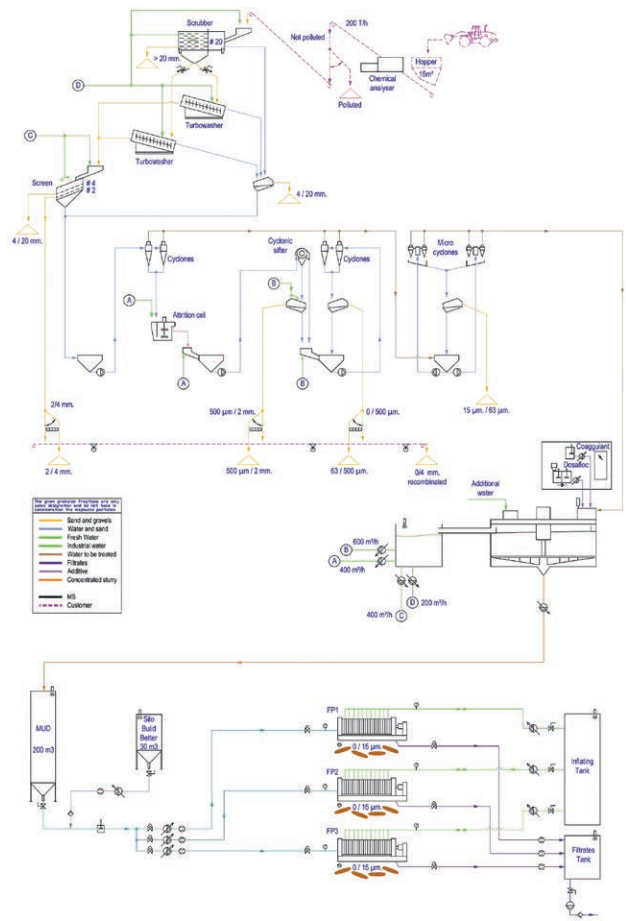
The technology for activating clays already exists, and this industrialisation is the result of ten years of R&D with patents registered in this field. The tests carried out on molasse samples excavated during the CERN HL-LHC Point 1 project [2] demonstrate their potential for activation in the laboratory. Hydro-cycloning showed effective enrichment of the clay fraction, with a greater quantity of clay in the 0 to 15 µm fraction.

At 28 days, optimised thermal activation shows moderate molasse reactivity. Figure 5 shows that the finer the fraction, the better the resistance obtained.

Because of clay’s lower reactivity and higher geogenic CO₂ emissions due to its CaO or MgO content, interest in this material compared with similar commercial products is relatively modest.

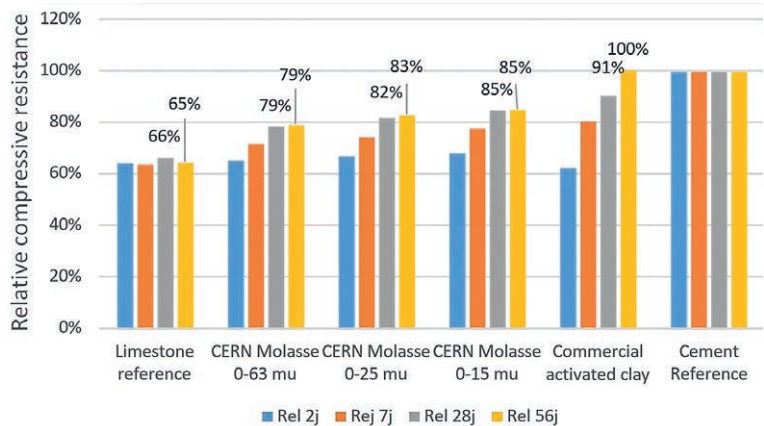
However, it could also represent a resource that is readily available for decades to come, enabling a large cross-border region to be supplied with low-carbon cement. This new cement will save around 75 tonnes of CO₂ per tonne compared with conventional cement, thereby avoiding the emission of at least 235,000 tonnes over ten years in the volumes concerned.

The thermal activation unit will include state-of-the-art gas emission treatment and will be



4 Diagram defining the separation process proposed

Credit: Entreprise MS



5 Diagram of the relative compressive strength of activated clays

Credit: Entreprise Vigier

fuelled by alternative solid fuel waste, avoiding landfill or incineration. The calcination process needs to be validated on a large scale in a clay calcination plant, as shown in Figure 6.



Credit: FLSmith

6 3D isometric view of a flash calcination plant for clays

3.1.2 Processing raw earth into concrete

The non-activatable clays and silts present in the molasse can be used to manufacture raw earth concretes or concrete-like material by adding hydraulic and/or non-hydraulic binders and possibly plant fibres. These concretes, which can have a strength of more than 25 MPa, have a low carbon footprint and an inertia that is conducive to thermal comfort in summer (maintaining an appropriate indoor temperature even in very hot weather).

These types of concrete, traditionally known as “rammed earth”, “adobe” or “wattle and daub”, can be poured in situ or transformed into raw earth blocks in a prefabrication plant. They can also be sprayed or injected into insulated building systems.

The AURA (Auvergne-Rhône-Alpes) Region in France is an area in which buildings have traditionally been built using rammed earth, and the knowledge has been preserved and combined with modern techniques, in particular as part of the Grands Ateliers de L’Isle-d’Abeau (District 38, France) and research work at the ENTPE (National School of Public Works of the State) in Lyon (District 69, France).

This new market also includes a number of promoters in the Lake Geneva region, from start-ups producing raw earth blocks to architects or construction companies erecting actual buildings or retaining walls using this material.

Although construction with earth has been practised in select areas for centuries, new technologies for stabilising and processing clay mean that this construction method can be applied to a wider range of applications, including the production of raw earth concretes. These new methods also ensure that the concrete produced is more durable.

3.2 Recovering the sandy fraction

Sandstone blocks have low mechanical strength. As their potential uses are very low, they will be crushed to generate sand particles. The result is a coarse sand that can be mixed with the natural fine sand washed out of the molasse. The two-sand mixture could form a 0-4 mm concrete sand. The crushing process will generate 3% fine grains of 0 to 1 mm, which can be introduced as additives into the fine corrective sand.

FCC: The Molasse, an under-exploited resource

The sand mixture could maximise the potential recyclability of this fraction. The various by-products will be mixed using a PLC system (an automatic system developed by MS) in adjustable proportions to create a recombined form of sand.

Depending on the sand specifications required, the entire sand fraction in deficit (known as the “master sand”) is mixed with part of the excess sand fraction (known as the “slave sand”) via a two- or three-way chute fitted with distribution flaps. These flaps can be activated automatically on the basis of information supplied by the conveyor’s integrated loading cells. At the end of this process, sand will be obtained whose grain size is adapted to that of commercial grade sand.

Sandstone from the Lake Geneva region is mainly composed of quartz (40 to 70%), calcite (20 to 45%) and feldspar (5 to 10%), which is a type of petrography suited to the production of sand that complies with current standards. The tests carried out on the fine particle fraction show that mixing them with the coarser crushed sand results in a particle size suitable for concrete sand (FM = 2.5 - 2.7; SE (10) > 80). MB values < 0.9 indicate clean sand.

The sandy fraction will account for around half of the volume of molasse products recovered. It is believed that the regional market will be able to absorb these quantities because the planned production will represent less than 20% of estimated annual consumption, and it will be a highly sought-after material that would otherwise have to be taken directly from the natural environment.

3.3 Recovery of hydrocarbon-polluted molasse

Materials that are heavily polluted with hydrocarbons will be taken to cement plants located near the project for recycling [1]. Experience with the CERN HL-LHC Point 1 project has shown that priority should be given to this cost-effective solution.

If the quantities of heavily polluted molasse were to exceed the absorption capacity of the cement plants, the concentration of hydrocarbons could be reduced below regulatory thresholds by bio-remediation, i.e., by injecting micro-organisms (bacteria). However, this process, while interesting, would involve taking up large areas of land over a long period of time.

Finally, it can be imagined that, if the hydrocarbon concentrations of potentially polluted materials could be reduced to a level suitable for recycling the molasse material and transforming it into a resource for the construction industry, these materials could be reintegrated into the life cycle of the unpolluted molasse materials described above.

3.4 Summary of the proposed valuations

There are plans to carry out “industrial-type” tests on several tonnes of molasse material samples excavated as part of the FCC project. In addition to the laboratory tests, the latter larger tests would make it possible to benefit from larger quantities of recycled end products and to perfect the planned recovery techniques using a high-performance industrial tool, as highlighted in Table 1.

Description	Part [for 1 m ³]	Estimated quantity [m ³ in place]	Recycling processes envisaged for molasses from the CERN FCC
Sandstone blocks and gravel 4-20 mm	0.15	975,000	Crushed to generate sand grains, and mixed with natural fine sand washed from the molasse to form 0/4 mm grains of concrete sand.
Crushed sand 0.5-4 mm	0.03	195,000	Recombined in 0/4 mm: granular materials sector (concrete sand, corrective sand, filtration sand, trench backfill, etc.)
Fine particles 63-500 µm	0.12	780,000	
Silts 15-63 µm	0.12	780,000	Granular materials sector (corrector for coarse sands)
Clays < 15 µm	0.48	3,120,000	36 to 48% of the molasse seems suitable for thermal activation and the production of low-carbon cement. Clays that cannot be activated will be mixed with 0/1 mm sand to produce raw earth concrete or clay bricks.
Contaminated molasses	0.10	650,000	Cement plants (bio-remediation)

Credit: N/A

Table 1 Breakdown of molasse materials by quantity and recovery method

4 Conclusion

Construction of the FCC is scheduled to begin in the mid-2030s. The project will provide an exceptional opportunity to develop an industrial process for extracting molasse materials.

Meanwhile, other major projects will also be completed. Synergies should therefore be sought in terms of the investment needed to develop and produce various mineral compounds that can be used by the construction industry, both in the context of these projects and on the local cross-border market.

More than half of the recycled materials could be sold on the sand and related products market. The activation potential of clays will lead to the development of the world's first low-carbon cement made from activated molasse. One could say that the circular economy concept is fully relevant here.

References

- [1] Voiron, J., et al. 2020. CERN HL-LHC Point 1, Managing excavation materials potentially contaminated with hydrocarbons. AFTES (French Tunnelling and Underground Space Association) Congress, Paris, 2021.
- [2] Voiron, J., et al. 2022. FCC CERN, Molasse is the new ore. Concours Mining the Future, Geneva, 2022.

Markus Inniger, Bauingenieur EPFL, Emch+Berger AG, Bern

Aktuelle Erfahrungen im Gebiet der Materialbewirtschaftung aus Sicht der Projektverfasser

Projekte: Zweite Gotthardröhre + Umfahrung Le Locle

Das Bundesamt für Strassen (ASTRA) legt grossen Wert auf eine nachhaltige Materialbewirtschaftung. Beim Projekt zweite Gotthardröhre wird der Bedarf an Gesteinskörnungen für Beton mit aufbereitetem Ausbruchmaterial aus den Tunnelvortrieben gedeckt, bei der Umfahrung Le Locle werden die nötigen Gesteinskörnungen mit projekteigenem Material hergestellt. Die Materialtransporte werden bei beiden Projekten prioritär per Bahn abgewickelt.

1 Grundlegende Anforderungen an die Materialbewirtschaftung

Der Nachhaltigkeitsgedanke bei der Materialbewirtschaftung (MBW) ist in der Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (Abfallverordnung VVEA) verankert, wonach Aushub- und Ausbruchmaterial möglichst vollständig als Baustoff vor Ort, als Rohstoff für die Herstellung von Baustoffen, für die Wiederauffüllung von Materialentnahmestellen oder für bewilligte Terrainveränderungen zu verwerten ist. Die dazugehörige Vollzugshilfe des Bundesamts für Umwelt (BAFU) „Verwertung von Aushub- und Ausbruchmaterial“ gibt konkrete Inputs für die Umsetzung der VVEA. Darin wird auch die Bedeutung der gesamten Logistikkette von der Vortriebsstelle bis zum Verwertungsort des Materials aufgezeigt. Unerlässliche Parameter für eine funktionierende Materialbewirtschaftung sind die Grundlagenanalyse zu dem Materialanfall, der Materialqualität und den vorgesehenen Bauabläufen, die Bedarfsermittlung für die Verwertung im Projekt, die Zeit-Mengen-Analyse und daraus abgeleitet die Ermittlung ausreichender Zwischenlager im Projektperimeter sowie die Transportketten. Das Entsorgungskonzept mit allen nötigen Zwischenlagern im Projektperimeter und den Randbedingungen für den Materialtransport wird in der Plangenehmigung verbindlich festgelegt und muss demnach bereits in einer frühen Projektphase erarbeitet werden.

Mit der Projektierung wird die Basis für die gesetzeskonforme und auf das Projekt optimierte Bewirtschaftung und Entsorgung des Aushub- und Ausbruchmaterials gelegt. Die Norm SIA 118 Allgemeine Bedingungen für Bauarbeiten hält in Art. 5 Abs. 1 in schlichter Form fest: „Die Ausschreibung setzt ein hinreichend klares Projekt voraus.“ Entsprechend sind bei der Ausschreibung das Entsorgungskonzept mit den durch den Bauherrn vorgesehenen Entsorgungswegen, die Randbedingungen für den Transport mit Bahn, Lkw, Förderband und gegebenenfalls Schiff, die verfügbaren Zwischenlagerflächen und die Randbedingungen für das Materialhandling im Projektperimeter aufzuzeigen. Weiter müssen die zeitlichen Randbedingungen dargelegt und klare Schnittstellen zu Nebenlosen aufgezeigt werden.

2 Umsetzung im Projekt zweite Gotthardröhre

2.1 Projektübersicht

Aktuell wird an der zweiten Röhre des Gotthard-Strassentunnels (2TG) der Autobahn N02 gebaut. Diese kommt parallel zur bestehenden, seit mehr als 40 Jahren im Betrieb stehenden Tunnelröhre zu liegen. Die Bauzeit ist bis zur Inbetriebnahme mit rund neun Jahren veranschlagt. Die Investitionskosten für den Bau und die Betriebs- und Sicherheitsausrüstung (BSA) betragen ca. CHF 2.14 Milliarden. Das Generelle Projekt wurde bis 2016 erarbeitet. Die Erarbeitung des Ausführungsprojektes erfolgte bis Ende 2017, die Plangenehmigungsverfügung wurde am 10. Dezember 2019 erteilt. Nach Vollendung der Sanierung der ersten Röhre im Anschluss zum Bau der zweiten Röhre wird der Verkehr über die zwei Röhren des Gesamtsystems Gotthard-Strassentunnel richtungstrennt mit je einer Fahrspur und einem Pannestreifen pro Röhre geführt. Die neue Tunnelröhre mit einer Gesamtlänge von 16.9 km wird von Norden (Göschenen) und von Süden (Airolo) her hauptsächlich je mit einer Schild-Tunnelbohrmaschine aufgeföhren. Die beiden TBM-Vortriebe ab dem Nord- und dem Südportal starten Anfang 2025, der Aufbau der Logistikeinrichtungen für die Materialbewirtschaftung bis zu deren vollen Betriebsbereitschaft dauert bis in den Spätherbst 2024.

Le point de vue des auteurs des projets sur les expériences en cours dans le secteur de la gestion des matériaux

Projets: Deuxième tube du Saint-Gothard + contournement du Locle

Dans le deuxième tube du tunnel routier du Saint-Gothard, la gestion des matériaux est conçue pour permettre des performances de pointe à l'excavation avec tunnelier à partir des portails nord et sud. Ce processus nécessite des équipements et des systèmes de transport complexes et puissants. Dans le contournement du Locle, en revanche, les matériaux d'excavation transportés par rail sur l'itinéraire Le Locle-Bienne seront le facteur déterminant de la performance de l'excavation principale au tunnelier. Les capacités limitées de stockage provisoire jouent un rôle clé dans la détermination de la logistique nécessaire à ce projet.

Esperienze recenti nell'area della gestione del materiale di scavo dal punto di vista del progettista

Progetti: Secondo tubo del San Gottardo + circonvallazione Le Locle

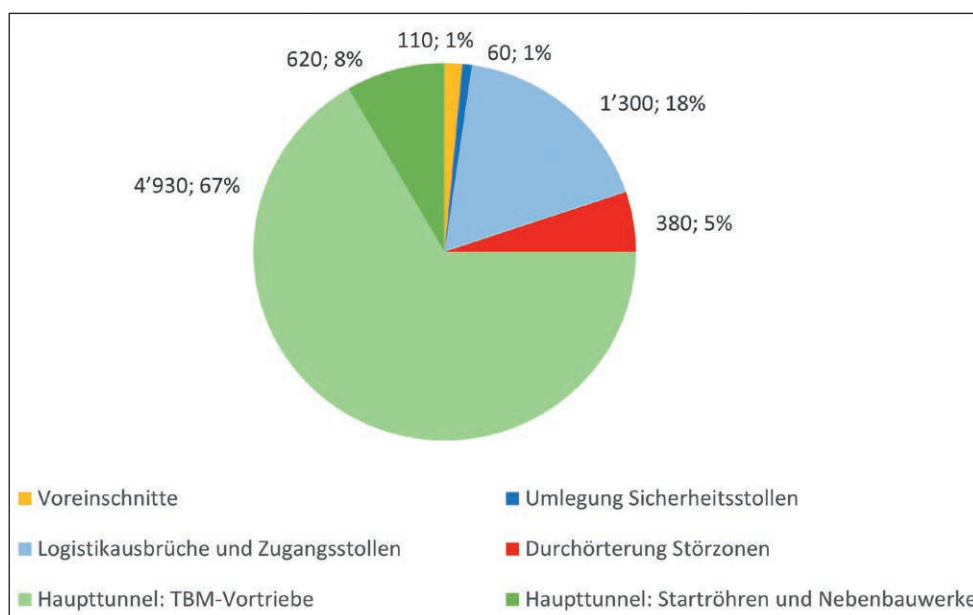
Nel progetto del secondo tubo della galleria stradale del San Gottardo la gestione del materiale è progettata in modo da permettere avanzamenti a rendimento massimo con frese meccaniche scudate (TBM-S). Ciò richiede complesse ed efficaci attrezzature ed impianti di trasporto. D'altra parte nella circonvallazione Le Locle la rimozione del materiale di scavo nel tratto Locle-Biel è un fattore determinante per l'avanzamento principale delle frese meccaniche. Ridotte capacità dei centri di stoccaggio intermedi influenzano la logistica in modo decisivo.

2.2 Materialbewirtschaftung

Die Materialbewirtschaftung umfasst den Abtransport von Tunnelausbruchmaterial, die Aufbereitung von geeignetem Ausbruchmaterial zu Gesteinskörnungen für Beton (GFB) für den Bau des 2TG und den Transport dieser GFB bis zu den Betonzentralen der Tunnelhauptlose Nord (Los 241) und Süd (Los 341) sowie die Bewirtschaftung von Zwischenlagern während der Bauphase. Alle Anlagen der MBW werden hierzu aufgestellt, während der Bauphase 2TG betrieben und anschliessend wieder rückgebaut. Zum Projektabschluss 2TG werden zudem auch GFB für die Sanierung der ersten Röhre (1TG) hergestellt. Die Leistungen der Materialbewirtschaftung sind für den gesamten Projektabschnitt übergreifend Gegenstand eines separaten Loses (Los 111).

2.2.1 Materialanfall

Insgesamt ergeben sich rund 7.4 Millionen Tonnen vorwiegend kristallines Ausbruchmaterial. Davon fallen rund zwei Drittel der Menge auf die beiden Hauptvortriebe mit den Tunnelbohrmaschinen und ein Drittel auf Zugangsstollen, Logistikausbrüche, Startröhren, Störzonenvortriebe, Lüftungszentralen und Nebenbauwerke. Der Anteil des Aushubmaterials aus den Portalbereichen mit den Voreinschnitten ist dabei verschwindend klein.



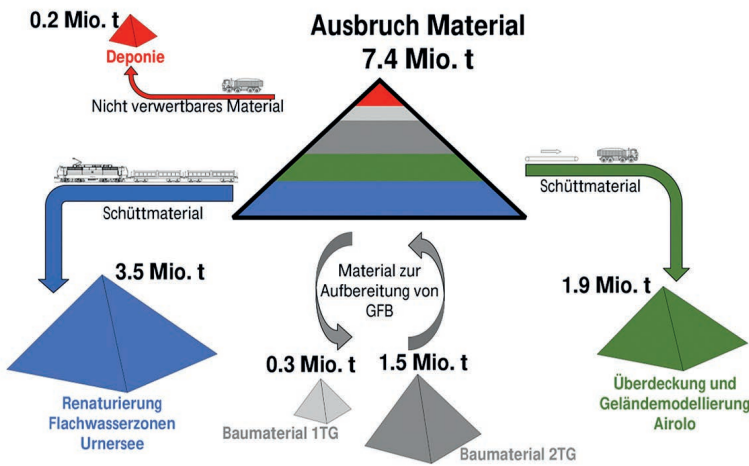
1 Materialanfall zweite Gotthardröhre (in 1000 Tonnen)

2.2.2 Entsorgungswege

Rund die Hälfte des Ausbruchmaterials kann innerhalb des Projektes verwertet werden. Davon werden ca. 1.8 Mio. Tonnen GFB hergestellt. Weitere ca. 1.9 Mio. Tonnen Material dienen zur geplanten Überdeckung der N02 in Airolo sowie von angrenzenden Gelände-modellierungen. Die andere Hälfte des anfallenden Ausbruchmaterials (3.5 Mio. Tonnen) kann im Drittprojekt Seeschüttung 3 des Kantons Uri für die Renaturierung von Flachwasserzonen im Urnersee eingesetzt werden.

Quelle: IG Nuovo Gottardo

Aktuelle Erfahrungen im Gebiet der Materialbewirtschaftung aus Sicht der Projektverfasser • Projekte: Zweite Gotthardröhre + Umfahrung Le Locle



Quelle: IG Nuovo Gottardo

Eine kleine Restmenge von nicht verwertbarem Material wird auf Deponien in den Kantonen Uri und Tessin abgelagert.

2.2.3 Anforderungen an die Logistik

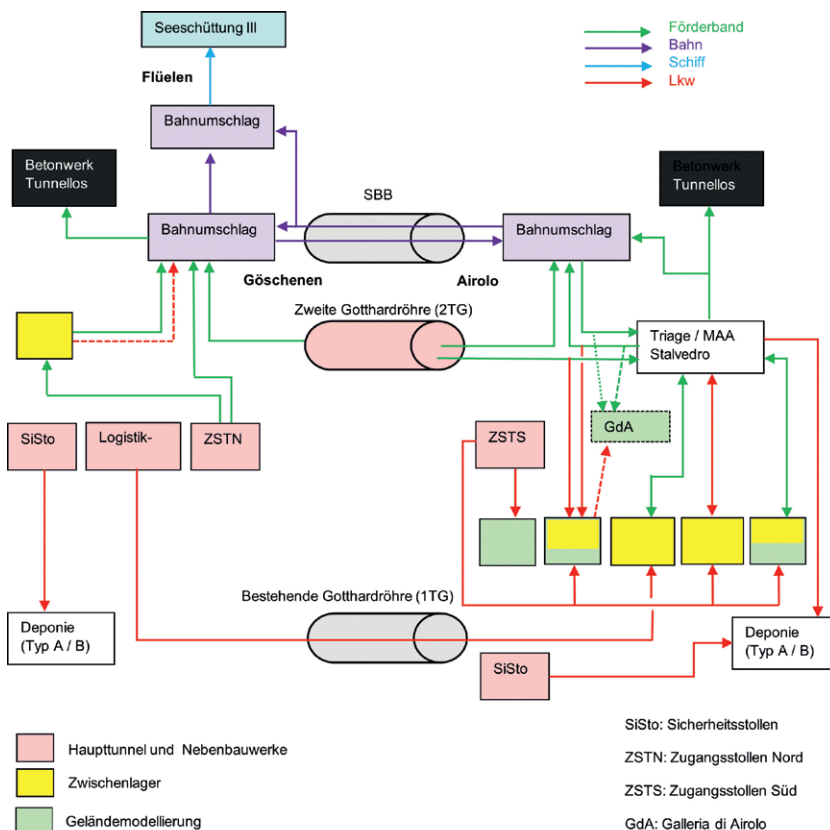
Die Auslegung der Materialbewirtschaftung basiert auf den zu erwartenden Vortriebsleistungen beim Tunnelbau. Ziel ist es, einen ungestörten Ablauf der Hauptvortriebe mit den zu erwartenden Spitzenleistungen zu gewährleisten. Um dieses Ziel zu erreichen, wurden entsprechende, sehr hohe Anforderungen und Randbedingungen an die Materialbewirtschaftung festgelegt. Für das Los 111 „Materialbewirtschaftung und Materiallogistik Nord und Süd“ werden daraus die gegenüber den

2 Verwertung Ausbruchmaterial zweite Gotthardröhre

Tunnelbaulosen zu gewährleistenden Kapazitäten abgeleitet. Dabei wird beim TBM-Vortrieb der Tunnellose mit Durchlaufbetrieb an sieben Tagen pro Woche mit einer maximalen Wochenvortriebsleistung von bis zu 190 m ausgegangen. Demnach müssen ab den TBM-Vortrieben am Nordportal in Göschenen und am Südportal in Airolo täglich je bis zu 9000 Tonnen Ausbruchmaterial entgegengenommen und der Verwertung beziehungsweise einem Zwischenlager zugeführt werden können.

Während in Airolo grössere Zwischenlager per Förderband beschickt werden können, ist der Lagerraum in Göschenen derart beschränkt, dass das Material just in time per Bahn mit nur sehr geringen Zwischenlagerkapazitäten abgeführt werden muss. Das bedeutet, dass der Bahnabtransport ab Göschenen nicht nur für einen durchschnittlichen, sondern für den maximalen Anfall auszulegen ist. Dies entspricht täglich zehn Ganzzügen zu je 950 Tonnen.

Für die Versorgung der Tunnelbaustellen muss die Materialbewirtschaftung wöchentlich bis zu 20 000 Tonnen Gesteinskörnungen für Beton (GFB) herstellen und abgeben können.



Die Transportwege sind komplex (Bild 3). Dabei wird der Bahntransport priorisiert. Die baustelleninternen Transporte in Göschenen und Airolo finden fast vollständig per Förderband statt. Lkw-Transporte werden hauptsächlich bis zur Inbetriebnahme der Haupteinrichtungen für die Materialbewirtschaftung durchgeführt.

Für das Projekt Seeschüttung 3 wird das Ausbruchmaterial ausschliesslich per Bahn nach Flüelen angeliefert, wo es auf Frachtschiffe umgeschlagen und schliesslich bei der Schüttstelle zur Renaturierung verkippt wird. Einschränkend für die Materialabgabe in Flüelen ist, dass pro Tag maximal sieben Züge mit Ausbruchmaterial angenommen werden können, von Montag bis Freitag. Samstags sind maximal vier Züge möglich. Dies kann die Ansprüche des Projektes 2TG nicht just in time decken und erfordert eine entsprechende Zwischenlagerung von Ausbruchmaterial im Raum Airolo.

Quelle: IG Nuovo Gottardo

3 Übersicht Materialtransporte zweite Gotthardröhre

Aktuelle Erfahrungen im Gebiet der Materialbewirtschaftung aus Sicht der Projektverfasser • Projekte: Zweite Gotthardröhre + Umfahrung Le Locle

Bei der Beurteilung des nötigen Raums für Zwischenlager im Bereich des Südportals ist der Gesamtbauablauf inklusive der Umgestaltung des Anschlusses Airolo massgebend, da mit dem späten Bau der „Galleria di Airolo“ (Überdeckung der N02 in Airolo) rund 1.1 Mio. Tonnen Ausbruchmaterial für diese Geländemodellierungen zwischengelagert werden müssen. Auf rund 107 000 m² können so knapp 2 Mio. Tonnen Ausbruchmaterial zwischengelagert werden, wovon rund 0.8 Mio. Tonnen für die Endgestaltung dieser Lagerflächen verbleiben.

In Göschenen können auf ca. 18 000 m² rund 400 000 Tonnen Ausbruchmaterial zwischengelagert werden. Diese Lagerkapazität wird allerdings mit rund 300 000 Tonnen Material des Zugangsstollens Nord belegt, da bei dessen Ausbrucharbeiten die Hauptanlagen der Materialbewirtschaftung noch nicht betriebsbereit waren.

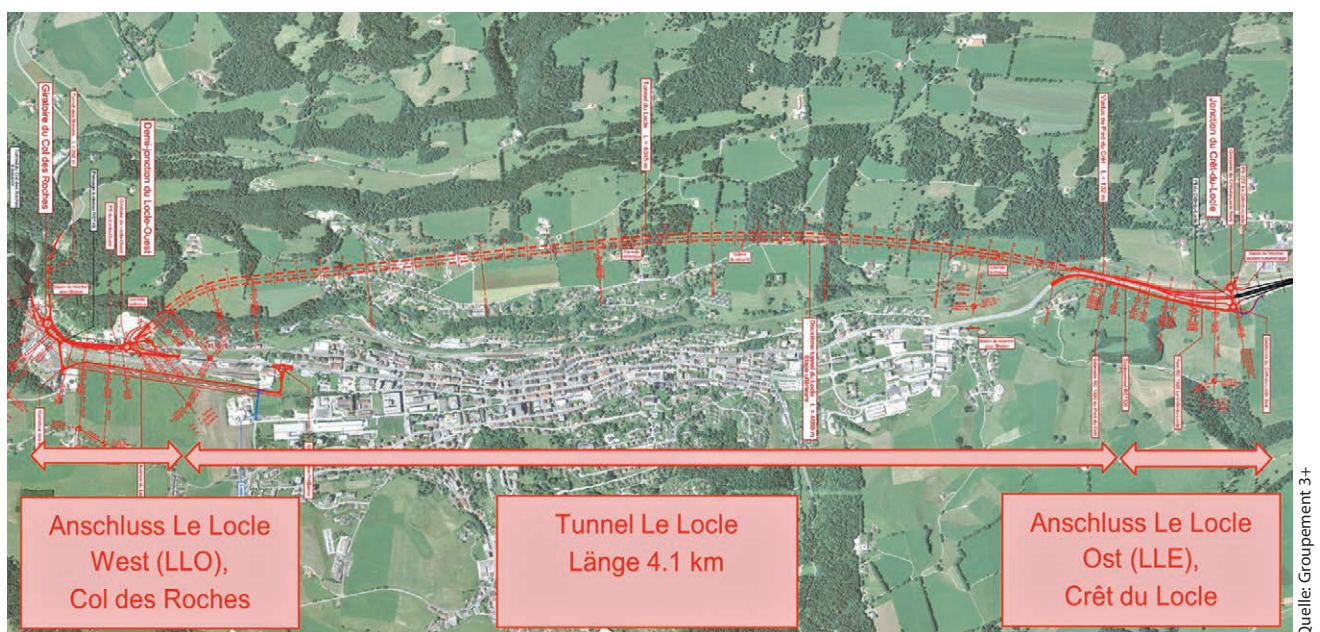
Die Materialbewirtschaftung erfordert umfangreiche Einrichtungen mit Förderbandanlagen am Nord- und am Südportal sowie Bahnverlade- und Entladeanlagen an den Bahnhöfen Göschenen und Airolo. In Stalvedro, südlich von Airolo, wird die zentrale Materialaufbereitungsanlage gestellt. Die Arbeitsvorbereitung und Einrichtung dieser Anlage erfordert zwei Jahre bis zur vollen Betriebsbereitschaft der Materialbewirtschaftung.

Die Kosten für die Materialbewirtschaftung betragen rund 50 Schweizer Franken pro Tonne Ausbruchmaterial.

3 Umsetzung im Projekt Umfahrung Le Locle

3.1 Projektübersicht

Die Hauptverkehrsachse durch die Stadt Le Locle wird täglich von über 13 000 Fahrzeugen genutzt, was im Stossverkehr morgens und abends stets zu Stau führt. Das Projekt sieht die Umfahrung der Stadt Le Locle mit einem 4.1 km langen Tunnel mit Gegenverkehr vor. Die Umfahrung schliesst westlich der Stadt im Bereich Col-des-Roches und nördlich der Stadt im Bereich Crêt-du-Loclc an das bestehende Strassennetz an. Ziel ist es, die durch das Stadtzentrum verlaufende Verkehrsachse zu entlasten. Parallel zum Haupttunnel wird ein Sicherheitsstollen erstellt.



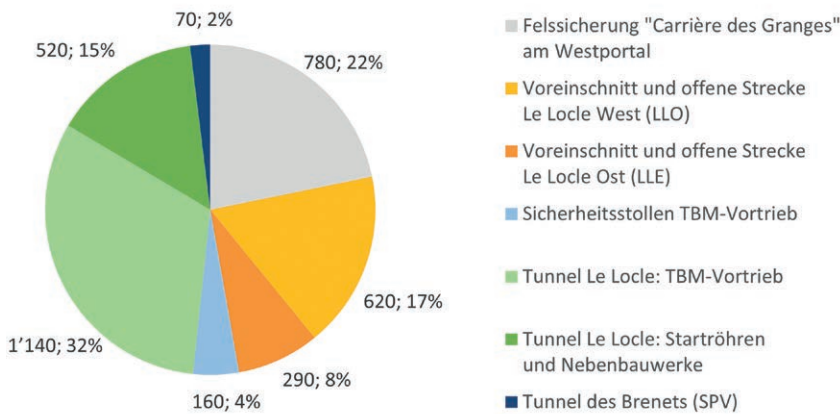
4 Projektübersicht Umfahrung Le Locle

Die Bauzeit bis zur Inbetriebnahme der Umfahrung dauert rund acht Jahre. Die Investitionskosten in die Umfahrung Le Locle belaufen sich auf annähernd 700 Millionen Schweizer Franken. Die Plangenehmigungsverfügung wurde am 20. Juni 2012 erteilt. Wegen der Ablehnung der Vignetten-Vorlage durch die Schweizer Stimmbevölkerung am 24. November 2013 konnte das Projekt nicht sofort umgesetzt werden. Im Jahr 2023 wurden die Bauarbeiten bei den Anschlüssen Le Locle West und Ost schliesslich in Angriff genommen. Der Sicherheitsstollen und auch der Haupttunnel werden vom Westportal her mit einer Tunnelbohrmaschine im steigenden Vortrieb aufgeföhren. Der Hauptvortrieb mit TBM startet voraussichtlich im Sommer 2027, der Aufbau der Logistikeinrichtungen für die Materialbewirtschaftung bis zu deren vollen Betriebsbereitschaft ist bis Anfang 2026 vorgesehen, gleichzeitig mit dem Start des TBM-Vortriebs für den Sicherheitsstollen.

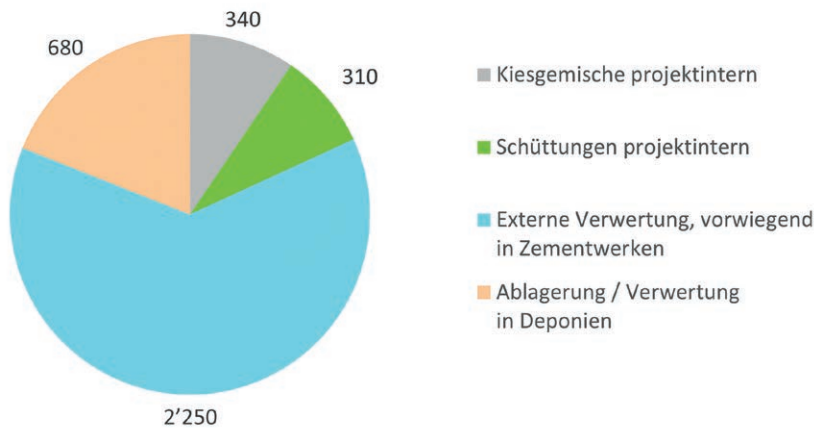
Aktuelle Erfahrungen im Gebiet der Materialbewirtschaftung aus Sicht der Projektverfasser • Projekte: Zweite Gotthardröhre + Umfahrung Le Locle

3.2 Materialbewirtschaftung

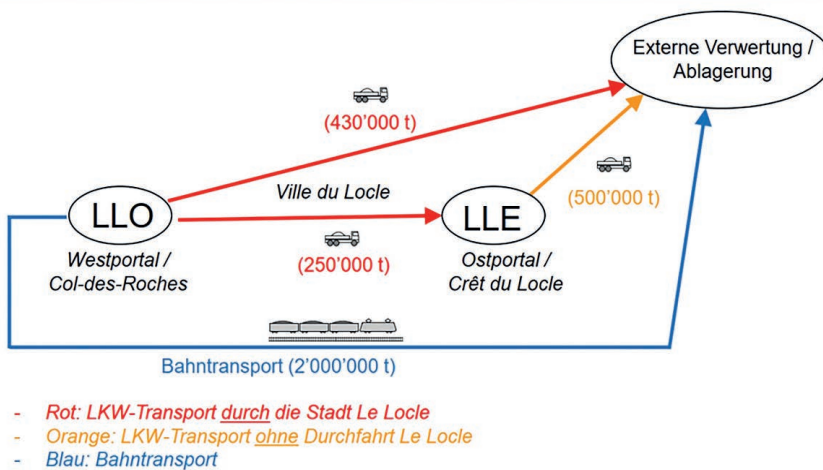
Die Materialbewirtschaftung umfasst die Triagierung und Verwertung beziehungsweise Entsorgung von Aushubmaterial, die Aufbereitung von geeignetem Felsabbau- und Ausbruchmaterial zu Kiesgemischen für den projekteigenen Bedarf sowie den Abtransport und die externe Verwertung von Ausbruchmaterial. Dieses wird vorwiegend zur Zementherstellung verwendet. Die Leistungen der Materialbewirtschaftung in der Hauptbauphase sind Gegenstand eines separaten Bauloses (Los T401). Bei den Vorarbeiten mit umfangreichen Rückbau- und Sicherungsarbeiten im Anschluss Le Locle West sind die Leistungen für die Materialbewirtschaftung direkt in die Vorlose integriert.



5 Materialanfall Umfahrung Le Locle (in 1000 Tonnen)



6 Verwertung Aushub- und Ausbruchmaterial Umfahrung Le Locle (in 1000 Tonnen)



7 Übersicht Materialtransporte Umfahrung Le Locle

3.2.1 Hauptmengen

Insgesamt fallen 3.6 Millionen Tonnen Aushub- und Ausbruchmaterial an. Annähernd die Hälfte davon stammt von Felsicherungsarbeiten und von den offenen Strecken. Nur rund ein Drittel der Menge stammt vom Hauptvortrieb Tunnel Le Locle mit TBM, der vorwiegend im Kalk liegt.

3.2.2 Entsorgungswege

Rund 20 % des Aushub- und Ausbruchmaterials werden im Projekt für Kiesgemische und Schüttungen verwendet. Weiter gehen 60 % in eine externe Verwertung, hauptsächlich für die Zementherstellung, und 20 % mit unterschiedlichem Verschmutzungsgrad müssen Deponien zugeführt werden.

3.2.3 Anforderungen an die Logistik

Ein Grossteil des Aushub- und Ausbruchmaterials fällt am Westportal im Bereich Col-des-Roches an. Projektziel ist es, insgesamt zwei Drittel der Transporte zur externen Verwertung respektive zu Deponien per Bahn abzuwickeln. Zu diesem Zweck wird im Bahnhof Col-des-Roches eine Plattform für den Materialumschlag auf die Bahn errichtet und bereits für den Abtransport von Aushubmaterial aus den Vorarbeiten in Betrieb genommen.

Die Kapazität der einspurigen Bahnstrecke Le Locle-Biel ist beschränkt. So können täglich maximal acht Züge zu je 750 Tonnen abgefertigt werden. Wegen fehlenden Zwischenlagermöglichkeiten im Portalbereich muss die Vortriebsleistung beim Hauptvortrieb TBM auf die Bahnabtransportkapazität abgestimmt werden. Entsprechend wird sie auf rund 90 m pro Woche beschränkt und kann nicht überschritten werden.

Aktuelle Erfahrungen im Gebiet der Materialbewirtschaftung aus Sicht der Projektverfasser • Projekte: Zweite Gotthardröhre + Umfahrung Le Locle

Aus den Vorarbeiten vor dem eigentlichen Hauptvortrieb wird ab Herbst 2024 bereits Material aus dem Felsabtrag aus der „Carrière des Granges“ zur Sicherung des Tunnelportals per Bahn abtransportiert. Die Verladeplattform muss zu diesem Zeitpunkt betriebsbereit sein. Da lediglich ein Zug pro Tag abgefertigt wird, erfolgt der Verlad in dieser ersten Phase mit Radlader. Der mechanisierte Verlad direkt ab Förderband wird Anfang 2026 in Betrieb genommen, wenn täglich ca. drei Züge nötig werden.

Zur Triagierung von potenziell verschmutzten Aushubmaterialien aus dem Portalbereich wird im Bereich Col-des-Roches auch ein überdachter Platz mit zehn Kompartimenten für rund 10 000 Tonnen Material eingerichtet.

Die Kosten für die Materialbewirtschaftung betragen durchschnittlich ca. 42 Schweizer Franken pro Tonne Aushub- und Ausbruchmaterial.

4 Erfahrungen beim Start der Materialbewirtschaftung

4.1 Zweite Gotthardröhre

Die Submissionen der Tunnelhauptlose (Nord sowie Süd) und der Materialbewirtschaftung sind nach einem koordinierten Gesamtterminplan erfolgt. Infolge einer Beschwerde gegen die Auftragsvergabe des Materialbewirtschaftungsloses hat der Start für den Aufbau der Materialbewirtschaftung und somit auch die geplante Betriebsbereitschaft eine Verzögerung von knapp einem Jahr erlitten, während die Vorlose der Tunnelvortriebe im Terminplan waren und die beiden Tunnelhauptlose mit nur ein paar Monaten Verzögerung vergeben wurden. Eine Beschleunigung beim Aufbau der Anlagen der Materialbewirtschaftung ist nicht möglich, jedoch kann die geplante Aufbaudauer von knapp zwei Jahren eingehalten werden. Der gleichzeitige Aufbau aller Anlagen am Nord- und Südportal stellt für alle Beteiligten eine grosse logistische Herausforderung dar, mit intensiver und aufwendiger Koordination. Infolge einzelner Umstellungen bei Bauabläufen und auch wegen zusätzlicher Logistikausbrüche zeigt sich, dass die Kapazität aller Zwischenlager gegen Ende der Hauptvortriebe erschöpft ist. Aktuell werden Möglichkeiten zur Erweiterung der Zwischenlager geprüft. Die Vorbereitung und Durchführung von Bahntransporten erfordert eine intensive und frühzeitig aufzunehmende Koordination mit dem Ziel, die Transporte trotz schwankendem Materialanfall mit einer gewissen Konstanz ausführen zu können.



Quelle: ASTRA, Filiale Bellinzona

8 Zweite Gotthardröhre, Bau Bahnverladeanlage in Airolo



Quelle: ASTRA, Filiale Bellinzona

9 Zweite Gotthardröhre: Bau Aufbereitungsanlage in Airolo/Stalvedro

4.2 Umfahrung Le Locle

Das Hauptlos Materialbewirtschaftung ist noch in der Submissionsphase. Zur Sicherung des Westportals müssen in der instabilen „Carrière des Granges“ rund 780 000 Tonnen Felsmaterial in kurzer Zeit abgetragen werden. Da diese Instabilitäten auch die bestehenden Infrastrukturen mit der Hauptstrasse gefährden, mussten diese Arbeiten als Sofortmassnahme dringend an die Hand genommen werden, bevor die Materialbewirtschaftung ihre volle Betriebsbereitschaft erreicht hat.

Aus dem Material werden Kiesgemische für die Vorarbeiten und die Erstellung der Zwischenlager- und Installationsflächen hergestellt. Zudem können die verfügbaren Lager auch mit vorbereiteten Kiesgemischen für spätere Arbeiten beschickt werden. Überschüssiges Material wird in der Zementindustrie verwertet.

Aktuelle Erfahrungen im Gebiet der Materialbewirtschaftung aus Sicht der Projektverfasser • Projekte: Zweite Gotthardröhre + Umfahrung Le Locle



Quelle: Groupement 3+

10 Umfahrung Le Locle, Sicherungsarbeiten mit Felsabtrag am Westportal



Quelle: Groupement 3+

11 Umfahrung Le Locle, Vorbereitung Zwischenlager- und Installationsflächen

5 Fazit

Die Auslegung der Materialbewirtschaftung richtet sich nach projektspezifischen Bedürfnissen. Beim Projekt zweite Gotthardröhre hat der Endtermin hohe Priorität, das Gesamtbauprogramm mit den Tunnelbauarbeiten wurde auf dieses Ziel hin optimiert, und die Materialbewirtschaftung muss sich vollumfänglich nach diesem Programm richten. Dies erfordert umfangreiche und komplexe Transport-, Ver- und Entlade- sowie Aufbereitungsanlagen. Bei der Umfahrung Le Locle muss sich der Bauablauf beim Hauptvortrieb TBM nach der beschränkten Kapazität beim Bahnabtransport richten, was entsprechend in die Werkverträge einfließt. In beiden Projekten zeigt sich, dass die zur Verfügung stehende Zwischenlagerkapazität, welche mit der Plangenehmigung bereits in einer frühen Projektphase verbindlich festgelegt wird, äusserst knapp bemessen ist und bei der Bauausführung Zusatzmassnahmen erfordert.

Markus Inniger, Bauingenieur EPFL, Emch+Berger AG Bern / CH

Current experiences in the materials management sector from the perspective of the designer engineer

Projects: Second Gotthard Roadtunnel and Le Locle bypass

The Federal Roads Office (FEDRO) attaches a great deal of importance to sustainable materials management. Requirements for concrete aggregates for the second Gotthard tunnel project, for example, will be met using processed excavated material from tunnelling, while the Le Locle bypass will be constructed using the project's own material. Both projects prioritise transporting materials by rail.

1 Basic requirements for materials management

The concept of sustainability in materials management is firmly anchored in the Swiss Ordinance on the Avoidance and Disposal of Waste (VVEA Waste Ordinance), which stipulates that excavation material must be recycled as far as possible as building material on site, as raw material for the production of building materials, to refill material extraction sites or for authorised terrain modifications. The associated implementation assistance from the Federal Office for the Environment (FOEN) "Recycling excavated material" provides specific input for implementing the VVEA. It also highlights the importance of the entire logistics chain – from the tunnelling site to the location where the material is used. Essential parameters for a functioning materials management system include a basic analysis of the amount of material to be recycled, material quality and planned construction processes thereof, determining the requirements for use in the project, a time-quantity analysis and, derived from all of this, determining sufficient interim storage facilities within the project perimeter and transport chains. The disposal concept – with all the necessary interim storage facilities within the project perimeter and the boundary conditions for material transport – is specified in the planning approval process and must therefore be drawn up at an early stage of the project.

The project planning lays the foundation for the legally compliant management and disposal concepts of the excavation material optimised for the project. Standard SIA 118 General Conditions for Construction Work states the following in simple form in Art. 5 Para. 1: "The tender requires a sufficiently clear project." Accordingly, the disposal concept, including the disposal routes envisaged by the client, the framework conditions for transport by rail, lorry, conveyor belt and, if applicable, ship, the available interim storage areas and the framework conditions for material handling in the project perimeter must be presented in the tender. Furthermore, any time constraints must be specified and clear interfaces to ancillary lots must be identified.

2 Implementation in the second Gotthard tunnel project

2.1 Project overview

Construction on the second tube of the Gotthard road tunnel (2TG) on the N02 motorway is currently underway. It will run parallel to the existing tunnel tube, which has been in operation for more than 40 years. Construction is estimated to last around nine years until commissioning. The investment costs for construction and the operating and safety equipment amount to around CHF 2.14 billion.

The general project was developed up to 2016. The implementation project was drawn up at the end of 2017 and planning approval was granted on December 10, 2019. Once renovation of the first tunnel tube has been completed following construction of the second tube, traffic will be routed separately in each direction via the two tubes of the overall Gotthard road tunnel system, with one normal lane and one emergency lane per tube. The new tunnel tube – with a total length of 16.9 km – will be excavated from the north (Göschenen) and from the south (Airola), mainly using a shielded tunnel boring machine (TBM). The two TBM excavation processes from the northern and southern portals will start at the beginning of 2025, while construction of the logistics facilities for materials management will continue until they are fully operational in late autumn 2024.

Le point de vue des auteurs des projets sur les expériences en cours dans le secteur de la gestion des matériaux

Projets: Deuxième tube du Saint-Gothard + contournement du Locle

Dans le deuxième tube du tunnel routier du Saint-Gothard, la gestion des matériaux est conçue pour permettre des performances de pointe à l'excavation avec tunnelier à partir des portails nord et sud. Ce processus nécessite des équipements et des systèmes de transport complexes et puissants. Dans le contournement du Locle, en revanche, les matériaux d'excavation transportés par rail sur l'itinéraire Le Locle-Bienne seront le facteur déterminant de la performance de l'excavation principale au tunnelier. Les capacités limitées de stockage provisoire jouent un rôle clé dans la détermination de la logistique nécessaire à ce projet.

Esperienze recenti nell'area della gestione del materiale di scavo dal punto di vista del progettista

Progetti: Secondo tubo del San Gottardo + circonvallazione Le Locle

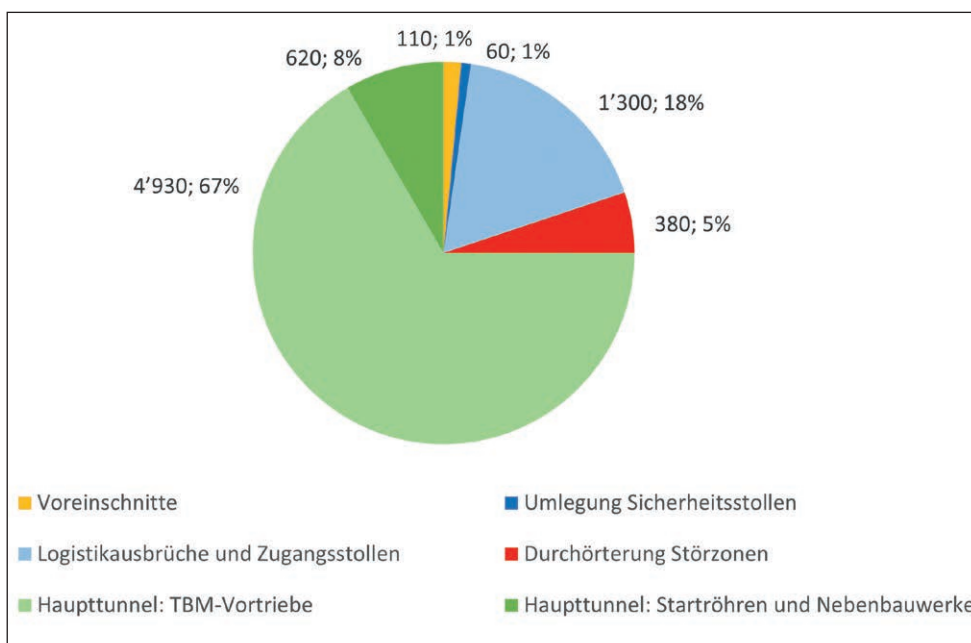
Nel progetto del secondo tubo della galleria stradale del San Gottardo la gestione del materiale è progettata in modo da permettere avanzamenti a rendimento massimo con frese meccaniche scudate (TBM-S). Ciò richiede complesse ed efficaci attrezzature ed impianti di trasporto. D'altra parte nella circonvallazione Le Locle la rimozione del materiale di scavo nel tratto Locle-Biel è un fattore determinante per l'avanzamento principale delle frese meccaniche. Ridotte capacità dei centri di stoccaggio intermedi influenzano la logistica in modo decisivo.

2.2 Materials management

Materials management includes the following: removing excavated tunnel material, processing suitable excavated material into aggregates for concrete (AfC) to build the 2TG, transporting the AfC to the concrete centres for the northern (lot 241) and southern (lot 341) main tunnel lots and managing temporary storage facilities during the construction phase. All MM systems are set up for this purpose, operated during the 2TG construction phase and then dismantled again. At the end of the 2TG project, the AfC used for renovating the first tunnel tube (1TG) will also be produced. The materials management services for the entire project section are the subject of a separate lot (lot 111).

2.2.1 Materials accumulation

This results in a total of around 7.4 million tonnes of predominantly crystalline excavated material. Around two thirds of this volume is accounted for by the two main excavation processes with the tunnel boring machines and one third by access tunnels, logistics excavation, launch tunnels, fault zone excavations, ventilation centres and ancillary structures. The proportion of excavated



1 Materials for the second Gotthard tunnel tube (in 1,000 tonnes)

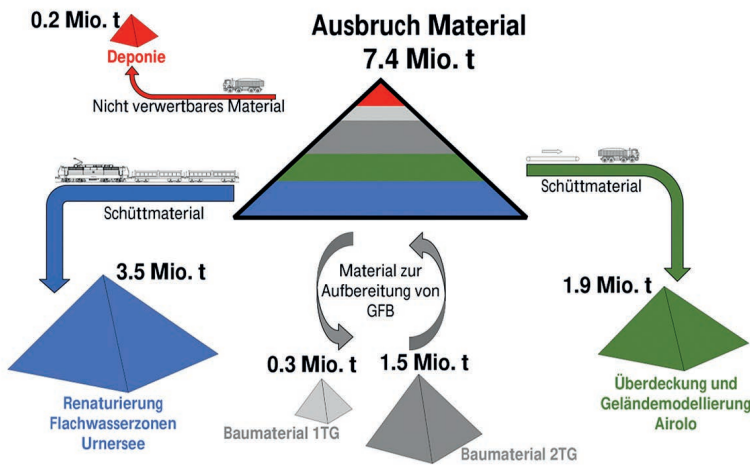
material from the portal areas within the preliminary cuts is negligible..

2.2.2 Disposal routes

Around half of the excavated material can be used within the project. About 1.8 million tonnes of AfC will be produced. A further approx. 1.9 million tonnes of material will be used to overcap the N02 in Airolo and for adjacent terrain modelling. The other half of the excavated material (3.5 million tonnes) can be used in the third-party project Seeschüttung 3 in the Canton of Uri for the renaturation of shallow water zones in Lake Uri.

Credit: IG Nuovo Gottardo

Current experiences in the materials management sector from the perspective of the designer engineer • Projects: Second Gotthard Roadtunnel and Le Locle bypass



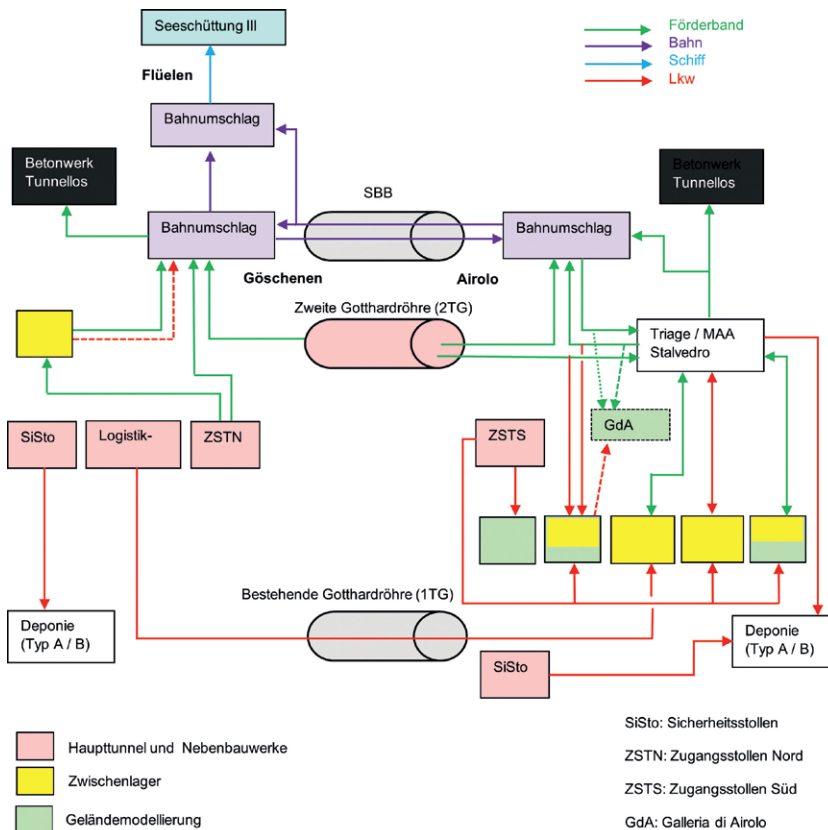
Credit: IG Nuovo Gottardo

2 Recycling excavated material from the second Gotthard tunnel tube

are derived from these criteria. For TBM tunnelling in the tunnel sections with continuous operation seven days a week, a maximum weekly tunnelling performance of up to 190 m is assumed. This means that from TBM excavation at the northern portal in Göschenen and at the southern portal in Airolo, up to 9,000 tonnes of excavated material must be accepted daily and sent for recycling or interim storage.

While larger interim storage facilities in Airolo can be fed by conveyor belt, the storage space in Göschenen is so limited that the material has to be removed just in time by rail with very little interim storage capacity. This means that rail transport from Göschenen must not only be designed for an average volume, but for the maximum volume. This corresponds to ten block trains of 950 tonnes each per day.

To supply the tunnel construction sites, the materials management facility must be able to produce and deliver up to 20,000 tonnes of aggregates for concrete (AfC) every week.



Credit: IG Nuovo Gottardo

3 Overview of materials transport for the second Gotthard tunnel tube

A small residual amount of non-recyclable material will be deposited in landfills in the cantons of Uri and Ticino.

2.2.3 Logistics requirements

The materials management system is designed based on the expected tunnelling performance during tunnel construction. The goal is to ensure undisturbed operation of the main excavation work with expected peak performance. In order to achieve this goal, very high requirements and boundary conditions were set for materials management. For lot 111 "Materials management and materials logistics in the north and south", the capacities to be guaranteed for the tunnel construction lots

The transport routes are complex (Fig. 3) and rail transport is prioritised. Transport within the construction site in Göschenen and Airolo is almost entirely carried out by conveyor belt. Lorry transport is mainly carried out until the main facilities for materials management are commissioned.

For the Seeschüttung 3 project, the excavated material is delivered exclusively by rail to Flüelen, where it is transferred to cargo ships and finally dumped at the dumping site for renaturalisation. One restriction for material delivery in Flüelen is that a maximum of seven trains with excavated material can be accepted per day, from Monday to Friday. Only a maximum of four trains are possible on Saturday. This schedule cannot meet the 2TG project's requirements on a just-in-time basis and requires appropriate interim storage of excavated material in the Airolo area.

Current experiences in the materials management sector from the perspective of the designer engineer • Projects: Second Gotthard Roadtunnel and Le Locle bypass

When assessing the space required for temporary storage in the southern portal area, the overall construction process, including redesigning the Airolo junction, is decisive, as the late start to constructing the “Galleria di Airolo” (overcapping the N02 in Airolo) means that around 1.1 million tonnes of excavated material will have to be temporarily stored for the terrain modelling. Almost 2 million tonnes of excavated material can be temporarily stored on an area of around 107,000 m², of which around 0.8 million tonnes will remain for the final design of these storage areas.

Around 400,000 tonnes of excavated material can be temporarily stored in Göschenen on an area of approx. 18,000 m². However, this storage capacity is occupied by around 300,000 tonnes of material from the northern access tunnel, as the main materials management facilities were not yet operational when the tunnel was excavated.

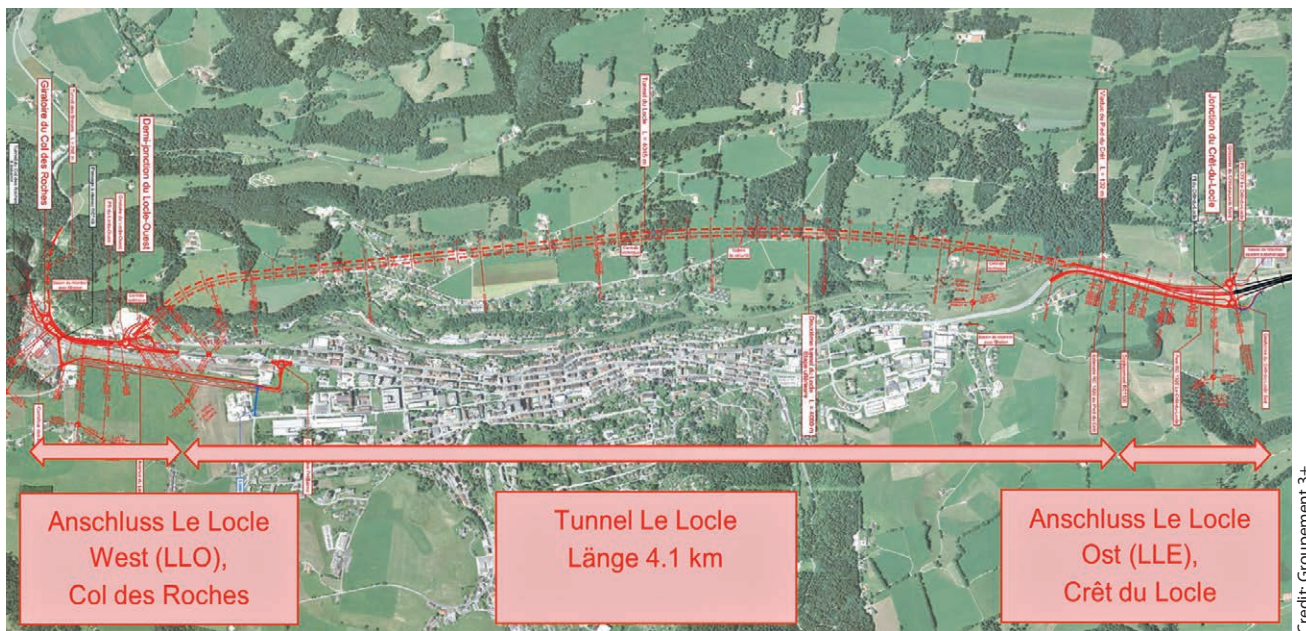
Materials management for this project requires extensive facilities with conveyor belt systems at the northern and southern portals as well as railway loading and unloading facilities at the Göschenen and Airolo stations. The central materials processing plant is located in Stalvedro, south of Airolo. It will take two years to prepare and set up this facility before the materials management system is fully operational.

The costs for materials management amount to around 50 Swiss francs per tonne of excavated material.

3 Implementation in the Le Locle bypass project

3.1 Project overview

The main traffic axis through the town of Le Locle is used by over 13,000 vehicles every day, which always leads to traffic jams in morning and evening rush hour times. The project envisages bypassing the town of Le Locle with a 4.1-km-long tunnel with two-way traffic. The bypass will connect to the existing road network to the west of the town in the Col-des-Roches area and to the north of the town in the Crêt-du-Locle area. The goal is to relieve the traffic axis running through the city centre. An emergency tunnel will be built parallel to the main tunnel.



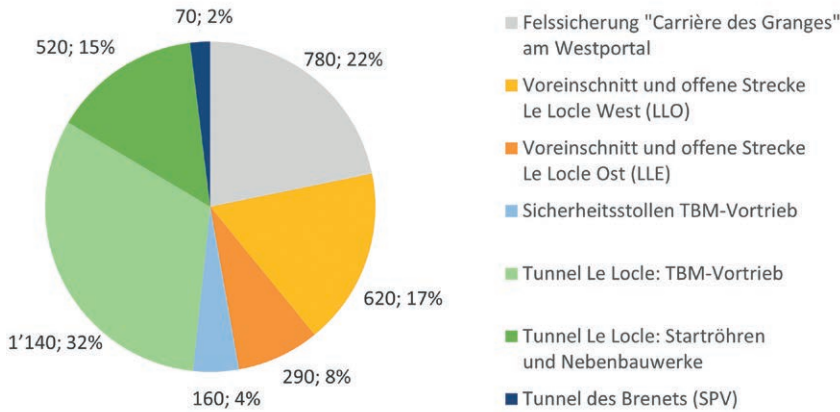
4 Le Locle bypass: Project overview

The construction period up to the bypass going into operation will take around eight years. The investment costs for the Le Locle bypass amount to almost 700 million Swiss francs. The planning approval order was issued on June 20, 2012. Due to the rejection of the vignette proposal by the Swiss electorate on November 24, 2013, the project was not able to be implemented immediately. Construction work on the Le Locle West and East junctions was finally able to finally begin in 2023. The emergency tunnel and the main tunnel will be excavated from the western portal using a tunnel boring machine with an ascending excavation method. The main TBM excavation work is expected to start in summer 2027, while the logistics facilities for materials management are scheduled to be set up from the beginning of 2026 until they are fully operational – starting at the same time as the TBM excavation work for the emergency tunnel.

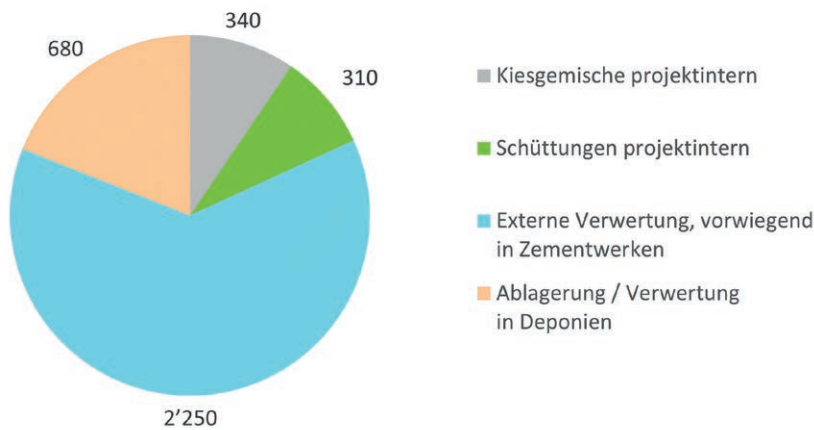
Current experiences in the materials management sector from the perspective of the designer engineer • Projects: Second Gotthard Roadtunnel and Le Locle bypass

3.2 Materials management

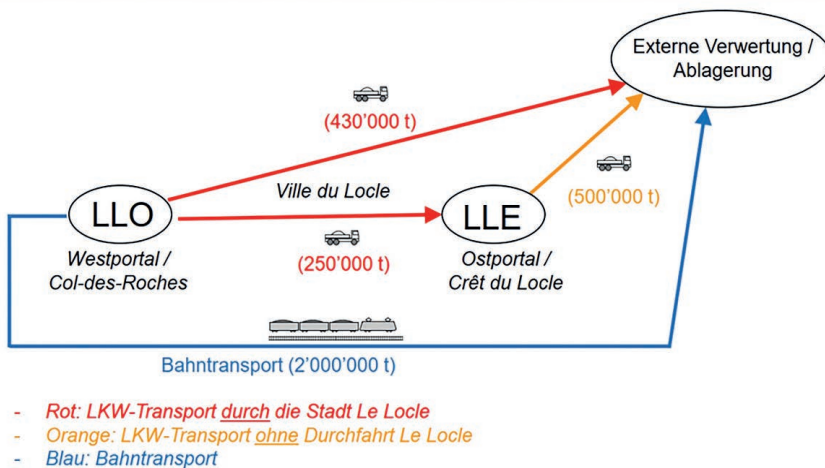
Materials management includes triage and recycling or disposal of excavated material, processing suitable rock excavation material into gravel mixtures for the project's own requirements and removing and externally recycling excavated material. It is primarily used for cement production. The materials management services in the main construction phase are the subject of a separate construction lot (lot T401). During the preliminary work, with extensive dismantling and safety operations at the Le Locle West junction, the materials management services were directly integrated into the preliminary lots.



5 Amount of material in the Le Locle bypass (in 1,000 tonnes)



6 Recycling excavated material in the Le Locle bypass (in 1,000 tonnes)



7 Overview of material transport in the Le Locle bypass

3.2.1 Main material

A total of 3.6 million tonnes of excavated material will be produced. Almost half of this amount comes from rock stabilisation work and from exposed sections. Only around a third of the volume comes from the main Le Locle tunnel excavation work with TBMs, which is mainly situated in limestone.

3.2.2 Disposal routes

Around 20% of the excavated material is used in the project for gravel mixtures and filling material. A further 60% goes to external recycling, mainly for cement production, and 20% with varying degrees of contamination must be sent to landfill.

3.2.3 Logistics requirement

A large proportion of the excavated material is produced at the western portal in the Col-des-Roches area. The aim of the project is to transport a total of two thirds of the waste for external recycling or to landfill sites by rail. For this purpose, a platform for transferring material to the railway will be built at Col-des-Roches station and is already in operation to remove excavated material from the preliminary construction work. The capacity of the single-track Le Locle-Biel railway line is limited. This means that a maximum of eight trains weighing 750 tonnes each can be handled daily. Due to the lack of intermediate storage facilities in the portal area, the tunnelling capacity of the main TBM excavation work must be matched to the rail transport capacity. Accordingly, it is limited to around 90 metres per week and cannot be exceeded.

From autumn 2024, material from the "Carrière des Granges" rock excavation used to secure the tunnel portal will be removed by rail from

Current experiences in the materials management sector from the perspective of the designer engineer • Projects: Second Gotthard Roadtunnel and Le Locle bypass

the preparatory work prior to the main excavation work. The loading platform must be ready for operation at this time. As only one train is dispatched per day, loading during this first phase is carried out by means of a wheel loader. Mechanised loading directly from the conveyor belt will go into operation at the beginning of 2026, when around three trains a day will be needed.

A covered area with ten compartments meant to store around 10,000 tonnes of material will also be set up in the Col-des-Roches area in order to triage potentially contaminated excavated material from the portal area.

The average cost of materials management is around 42 Swiss francs per tonne of excavated material.

4 Experience from the start of materials management

4.1 Second Gotthard tunnel tube

Tendering for the main tunnel lots (north and south) and materials management were carried out according to a coordinated overall schedule. As a result of a complaint regarding a contract awarded for the materials management lot, the start of construction for the material management system and, therefore, the scheduled operational launch was delayed by almost a year, even though the preliminary lots for tunnelling excavation were on schedule and the two main tunnel lots were awarded with a delay of only a few months. It is not possible to speed up the materials management systems' construction, but the planned construction period of just under two years can still be met.

The simultaneous construction of all the facilities at the north and south portals represents a major logistical challenge for all those involved, with intensive and complex coordination. As a result of individual changes to construction processes and additional logistical disruptions, the capacity of all interim storage facilities will be exhausted towards the end of the main excavation work. Options for expanding the interim storage facilities are currently being examined. The preparation and execution of rail transport requires intense and early coordination with the goal of being able to carry out the transport operations with a certain degree of consistency despite fluctuating material volumes.



Credit: ASTRA, Filiale Bellinzona

8 Second Gotthard tunnel tube, constructing the railway loading facility in Airolo



Credit: ASTRA, Filiale Bellinzona

9 Second Gotthard tunnel tube: Constructing the processing plant in Airolo/Stalvedro

4.2 Le Locle bypass

The main lot for materials management is still in the tendering phase. To stabilise the western portal, around 780,000 tonnes of rock must be removed from the unstable "Carrière des Granges" area in a short space of time. As these instabilities also jeopardise the existing infrastructure along the main road, this work had to be carried out urgently as an immediate measure before the materials management system was fully operational. The material is used to produce gravel mixtures for the preparatory work and constructing the interim storage and installation facilities. In addition, the available storage facilities can also be loaded with prepared gravel mixtures for later construction work. Surplus material can be used in the cement industry.

Current experiences in the materials management sector from the perspective of the designer engineer • Projects: Second Gotthard Roadtunnel and Le Locle bypass



Credit: Groupement 3+

10 Le Locle bypass, stabilisation work with rock removal at the western portal



Credit: Groupement 3+

11 Le Locle bypass, preparing interim storage and installation facilities

5 Conclusion

The materials management system is designed according to project-specific requirements. The completion date for the second Gotthard tunnel project has high priority; the overall construction programme, including the tunnel construction work, has been optimised to achieve this goal, and materials management must be fully aligned with this programme. This calls for extensive and complex transport, loading, unloading and processing facilities. With regard to the Le Locle bypass, the construction sequence for the main TBM excavation work must be adapted to the limited capacity for rail transport, which is reflected accordingly in the construction work contracts. Both projects show that the available interim storage capacity, which is specified as binding at an early stage of the project as part of the planning permit, is extremely limited and requires additional measures during construction.

Alexander Wyss, dipl. Natw. ETHZ, Simatec Maschinenbau AG, 6048 Horw

Tunnelbau: Auf dem Gipfel der Kreislaufwirtschaft?

Faktencheck am Beispiel zweier aktueller Grossprojekte in den Alpen

„Die Weltwirtschaft ist nur noch zu 7.2 % kreislaufwirtschaftlich. Die globale Situation verschlechtert sich von Jahr zu Jahr, angetrieben durch die steigende Materialentnahme und -nutzung“, steht im Global Circularity Gap Report [1].

Wie steht unsere Branche – der Tunnelbau – im Vergleich dazu da? Sind die Stoffkreisläufe geschlossen? Ist unsere Branche vielleicht sogar Vorreiter im Ressourcenmanagement? Am Beispiel von zwei Grossprojekten soll gezeigt werden, dass der Tunnelbau in Bezug auf den Verbrauch der Hauptrohstoffe Sand und Kies bereits heute in vielen Fällen eine echte Kreislaufwirtschaft betreibt. Bei den beiden Grossprojekten handelt es sich um den Bau der zweiten Röhre des Gotthard-Strassentunnels (2TG) in den Zentralalpen der Schweiz sowie um den Tunnel Euralpin Lyon Turin (TELT).

1 Wie alles begann: die Geschichte der Wiederverwertung von Tunnelausbruchmaterial, insbesondere von TBM-Ausbruchmaterial

1996 veröffentlichte die Schweizerische Geotechnische Kommission einen Beitrag mit dem Titel: „Beurteilung und Möglichkeiten der Wiederverwertung von Ausbruchmaterial aus dem maschinellen Tunnelvortrieb zu Betonzuschlagstoffen“. Autor war Cédric Thalmann, die Publikation basierte auf seiner Dissertation an der ETH Zürich, die Thalmann ab 1992 zum gleichen Thema begonnen hatte. Diese Arbeit konnte auf die finanzielle Unterstützung der Schweizerischen Bundesbahnen SBB und der Bern-Lötschberg-Simplon-Bahn (BLS) zählen [2]. Anlass für die Forschungsarbeit von Herrn Thalmann waren die bevorstehenden Jahrhundertprojekte der Neuen Eisenbahn-Alpentransversale (NEAT), des Lötschberg- und des Gotthard-Basistunnels. Die Welt des Tunnelbaus sah 1996 anders aus als heute. Der erste maschinelle Tunnelvortrieb in der Schweiz erfolgte 1965 für einen 2.5 km langen Abwasserstollen bei Baden (Ø 3.5 m).

Vor den beiden NEAT-Projekten wurde Tunnelausbruch nur in sehr geringen Mengen zu Körnungen für Beton aufbereitet, namentlich beim Bau der Autobahn A8 und beim Kerenzertunnel, wo vorwiegend Kalkstein aus dem Sprengvortrieb aufbereitet wurde. Neu war die Idee beziehungsweise das Vorhaben, das Ausbruchmaterial aus dem kristallinen Gebirge, abgebaut durch maschinellen Vortrieb, das heisst TBM-Vortrieb, in grossen Mengen aufzubereiten. Die beiden Basistunnel sollten die Gesteinskörnung für ihren Beton selbst herstellen. „Das NEAT-Projekt sieht vor, die Versorgung der Baulose mit Schüttgütern und Betonzuschlagstoffen soweit wie möglich durch Aufbereitung von eigenem Ausbruchmaterial sicherzustellen“ [2]. Vor 1996 hatte dies noch niemand gefordert, geschweige denn in die Tat umgesetzt. Auch international nicht. Beim Vereina-Nordtunnel und beim Projekt Cleuson-Dixence wurde bereits TBM-Material aufbereitet, ein weiteres Projekt mit Fräsgut (Kalkstein) aus Marokko war bekannt. Im grossen Massstab für lange Tunnel ausschliesslich Ausbruchmaterial zur Gewinnung von Körnungen für Beton zu verwenden, das war neu. Die Pionierarbeit bestand darin, messbare Kriterien und Verfahren zu definieren, mit denen Ausbruchmaterial aus TBM- und auch Sprengvortrieb gemessen und hinsichtlich seiner Eignung als Zuschlagstoff für Beton beurteilt werden kann. „Um Ausbruchmaterial ... zu Betonaggregaten verarbeiten zu können, muss einerseits die petrographische Eignung bestätigt und andererseits eine minimale Gesteins Härte nachgewiesen werden. Hierbei haben sich die Prüfverfahren nach dem sogenannten Brechbarkeitsindex, dem Punktlastindex und dem Los-Angeles-Index als geeignet erwiesen, um Qualitätsbestimmungen durchzuführen“ [2]. Im folgenden Kapitel soll geklärt werden, ob die damaligen Forschungsergebnisse heute noch Gültigkeit haben und wie die damals definierten Parameter und Kriterien heute angewendet werden.

2 Wie recyceln wir heute Tunnelausbruch zu Betonzuschlagstoffen? Die Alp-Transit-Kriterien für die Verwertung von Ausbruchmaterial

2.1 Prüfung des Ausbruchmaterials, physikalische Eigenschaften und Petrographie

Wie im obigen Kapitel dargestellt, wurde bereits 1992 in der Dissertation von C. Thalmann aufgezeigt, mit welchen Kriterien und Grenzwerten Tunnelausbruchmaterial zu hochwertigen Betonzuschlagstoffen aufbereitet werden kann. Ziel war es, im Rahmen der Alp-Transit-Projekte eine ausreichende Qualität der Gesteinskörnung für die Herstellung eines Betons der Festigkeitsklasse

Construction de tunnels : l'apogée de l'économie circulaire ?

Vérification des faits à l'aide de l'exemple de deux grands projets en cours dans les Alpes suisses et françaises

L'extraction croissante de matières premières a fait reculer l'économie circulaire mondiale de 9.1 % en 2018 à 8.6 % en 2020 ; aujourd'hui, ce chiffre est tombé à 7.2 % en 2023. Cela signifie que seulement 7.2 % des ressources « utilisées » dans le monde seront recyclées en 2023. Cela laisse un énorme vide dans l'économie circulaire : la planète dépend presque exclusivement de matériaux vierges (« primaires »). C'est la conclusion à laquelle est parvenu le Global Circularity Gap Report [1]. Ce rapport a été présenté pour la première fois par la Circle Economy Foundation, basée à Amsterdam, lors du Forum économique mondial 2018 à Davos.

Comment notre industrie – la construction de tunnels – se situe-t-elle par rapport aux autres ? Les cycles des matériaux sont-ils fermés ? La consommation de ressources dans la construction de tunnels est-elle plus faible – ou pouvons-nous réduire les besoins en ressources ? Notre secteur est-il peut-être même pionnier en matière de gestion des ressources ? Enfin, la construction de tunnels a-t-elle déjà mis en œuvre l'exigence d'une économie la plus circulaire possible ? Deux projets majeurs seront utilisés comme exemples pour montrer que la construction de tunnels pratique déjà une véritable économie circulaire dans de nombreux cas en ce qui concerne la consommation des principales matières premières, le sable et le gravier. Ces deux grands projets sont la construction du deuxième tube du tunnel routier du Saint-Gothard (2GT) dans les Alpes centrales de Suisse et le tunnel Euralpin Lyon-Turin (TELT), le nouveau tunnel ferroviaire binational de base dans les Alpes occidentales.

Le recyclage des matériaux d'excavation des tunnels est une innovation qui a vu le jour au cours des 30 dernières années. La science suisse et l'industrie de la construction ont joué un rôle de pionnier sur la voie de l'économie circulaire dans le secteur européen des tunnels. Cet article décrit en détail le chemin parcouru, depuis les principes de la science des matériaux utilisés dans la phase de planification des deux projets NLFA, jusqu'au cours habituel de la gestion des matériaux dans les grands projets actuels de construction de tunnels.

Costruzione di gallerie: il picco dell'economia circolare?

Fact-checking sull'esempio di due grandi progetti in corso nelle alpi

La crescente estrazione dei materiali ha atrofizzato l'economia circolare globale: dal 9.1 % del 2018 al 8.6 % del 2020 ed ora il 7.2 % del 2023. Ciò significa che è stato riciclato in tutto il mondo nel 2023 solo il 7.2 % delle risorse "consumate". Ciò lascia un enorme vuoto nell'economia circolare; il globo deve ricorrere quasi esclusivamente a nuovi materiali (primari). Questa è la conclusione del Global Circularity Gap Report [1], presentato per la prima volta nel 2018 durante il World Economic Forum di Davos dalla Circle Economy Foundation con sede ad Amsterdam.

In relazione a ciò come si pone il nostro settore (la costruzione di gallerie)? I cicli biogeochimici sono preclusi? Il consumo di risorse nella costruzione di gallerie è inferiore, ovvero possiamo ridurre il bisogno? Il nostro settore è forse addirittura un precursore del resource management? Ha già realizzato la richiesta verso una quanto più possibile modalità economica circolare? Ad esempio due grandi progetti riescono a dimostrare che la costruzione di gallerie esercita in molti casi una vera economia circolare, in relazione al consumo delle principali materie prime, sabbia e ghiaia. I due grandi progetti riguardano la costruzione della seconda canna della galleria stradale del San Gottardo (2TG) nelle Alpi centrali svizzere e il tunnel Euroalpino Torino-Lione (NLTL): la nuova, binazionale ferrovia-tunnel di base nelle Alpi occidentali.

Il riciclo del materiale di scavo è una innovazione degli ultimi 30 anni. La scienza e l'economia edile svizzere hanno assunto un ruolo d'avanguardia nella via verso l'economia circolare nella costruzione di gallerie europee. Questo articolo illustrerà il passaggio dalle basi scientifiche dei materiali della fase di pianificazione di entrambi i Progetti NFTA al "courant normal" nel management dei materiali dei grandi progetti odierni.

B40/30 [1] zu gewährleisten. In späteren Projekten (zum Beispiel Pumpspeicherwerk Nant de Drance) wurde die Festigkeitsklasse C30/37 gemäss der neuen Normierung als Benchmark angestrebt [3].

Im Zusammenhang mit dem seit 1992 an der ETH entwickelten Konzept zur Bewertung von Tunnelausbruchmaterial kann von einem dualen System gesprochen werden. Einerseits wird das Gestein petrographisch (im Rahmen der Gesteinskunde bezüglich Mineralinhalt und Gefüge) beurteilt, andererseits wird das Ausbruchmaterial direkt auf der Baustelle mit einfachen Tests auf die Härte des Gesteins geprüft. Es kamen bekannte und normierte Test- beziehungsweise Prüfverfahren zum Einsatz, die teilweise (für die Prüfung von TBM-Chips) leicht angepasst werden mussten. Bei den Tests handelt es sich um den Punktlast- und den Brechbarkeitsindex. Bild 1 zeigt die Versuchsanordnung der Tests im (Baustellen-)Labor. Beim Punktlastindex wird der Prüfkörper (das Gesteinsstück: Tunnelausbruch) mittels einer hydraulischen Handpumpe zwischen zwei Metallspitzen zum Bruch gebracht. Es wird somit eine indirekte Zugfestigkeit getestet [2].

Tunnelbau: Auf dem Gipfel der Kreislaufwirtschaft? • Faktencheck am Beispiel zweier aktueller Grossprojekte in den Alpen



Quelle: Büro für Ingenieurgeologie AG (2019), The use of TBM Spoil a problem or a valuable asset?

Der zweite Versuch, der Brechbarkeitsindex/Abrasivitätsindex – genauer LCPC, (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris) –, testet die Mahlbarkeit und Abrasivität in einem Versuchsvorgang. Ein definierter Prüfflügel aus Stahl wird unter vorgegebener Umdrehungsgeschwindigkeit für eine definierte Dauer dem Kontakt mit einer Gesteinsprobe ausgesetzt. Als Mass für die Abrasivität des Ausgangsgesteins wird die Abnutzung des Prüfflügels gemessen. Darüber hinaus kann aus der Korngrößenveränderung der Ausgangsprobe ein Indexwert für die Brechbarkeit ermittelt werden [6].

1 Prüfungen am Ausbruchmaterial. Illustration der Prüfmethoden

Diese beiden Prüfverfahren für die Gesteinshärte (Punktlast und Brechbarkeit) haben sich seit 1992 bewährt, vor allem wegen der relativ einfachen Handhabung und der Durchführbarkeit der Versuche direkt auf der Baustelle. Ein wichtiger Faktor ist auch der geringe Zeitaufwand für die Durchführung der Versuche, das heisst, nach der Probenahme liegen die Ergebnisse innerhalb weniger Stunden vor. Mit diesen Prüfungen und den zugeordneten Kennwerten (Rohmaterialkriterien) wird die Qualität des aufzubereitenden Ausbruchmaterials definiert. Die gleichen Kriterien können von der geologischen Prognose über die Ausschreibung bis zur Ausführung verwendet werden. Es bleiben die gleichen Versuche mit den gleichen, einfach zu bestimmenden Parametern, inzwischen mit einem Datenbestand aus über 30 Jahren mit Zehntausenden von Versuchen und Millionen von Tonnen aufbereitetem Material.

2.2 Rohmaterial-Kriterien: Vergleich zweier aktueller Projekte mit den ursprünglichen Alp-Transit-Grenzwerten

Mit der Dissertation von C. Thalman waren nach 1996 die Kriterien definiert und die wissenschaftlichen Grundlagen für die Bewertung von Tunnelausbruch zu Betonzuschlagstoffen erarbeitet. Tabelle 1 zeigt ein aktuelles Beispiel für die Anwendung dieser Kriterien in der Praxis. Die Tabelle stammt aus dem entsprechenden Bericht der Ausschreibungsunterlagen des Materialaufbereitungsloses, Los 111, für das Projekt Secondo Tubo San Gottardo, zweite Röhre Gotthard-Strassentunnel (2TG). Die Tabelle mit den

Art der Prüfung:	Prüfnorm	Nachzuweisender Richtwert	Bemerkungen
Nr. A: Makroskopische Petrographie		Vgl. Kap. 3.5, Tab. 3 Petrographie: i.O.	visuelle Grobbeurteilung an der Ortsbrust
Nr. B Brechbarkeits-Index	AFNOR P 18-579	Fall a: $\leq 65 [-]$ Fall b: falls 65-70 [-] muss mit Prüfung Nr. C Fall c erfüllt sein	Grenzwerte gemäss Definition BH TELT ≤ 70
Nr. C Punktlast-Index	ISRM	Fall c: I _{SS0} parallel: ≥ 2.5 [N/mm ²] I _{SS0} isotrop: ≥ 3.5 [N/mm ²] Fall d: Falls I _{SS0} parallel: ≥ 2.0 [N/mm ²] I _{SS0} isotrop: ≥ 3.0 [N/mm ²] muss mit Prüfung Nr. B, Fall a erfüllt sein	TELT ≥ 2.0 ≥ 2.5 TELT LA-Index ≤ 45
Nr. Da Mikroskopische Petrographie	nach Def. BH	-	Beschrieb der Mineralien an Dünnschliffen
Nr. Db Petrographisch ungeeignete Komponenten, Fraktionen 1/4, 4/22, 22/128 mm	nach Def. BH und SN 670'115	≤ 10 [Gew.-%] nach Definition BH	
Nr. Dc: Freie Schichtsilikate im Rohsand (Bestimmung Kennwert an der Fraktion 0.25-0.50 mm)	nach Def. BH und SN 670'115	≤ 40 [Stck.-%] nach Definition BH und EMPA	
Nr. E Potentielle Alkali-Reaktivität	AFNOR P 18-588	Expansion ≤ 0.10 [%] Expansion > 0.10 [%] Performance-Test	

Quelle: Bundesamt für Strassen ASTRA (2021): Ausschreibung Secondo tubo San Gottardo, Los 111, Kontrollplan Ausbruchmaterial, Gesteinskörnungen für Beton und Kiesgemische, Dok. 4-2-3

Richtwerten (Grenzwerten) gilt für das Projekt 2TG und wurde mit den Grenzwerten aus den Projekten Alp Transit und Tunnel Euralpin Lyon Turin (TELT), Mont-Cenis-Basisitunnel ergänzt (farbige Kästchen). Vergleicht man nun die ursprünglichen Grenzwerte der Alp-Transit-Projekte mit den beiden aktuellen Projekten, so fällt auf, dass sich zwischen Alp Transit und 2TG wenig geändert hat. Der Punktlastindex (PI) soll bei wenig geschiefertem Gestein bei ≥ 3.5 [N/mm²] liegen. Und falls eine Schieferung im Handstück deutlich erkennbar ist, soll der PI mindestens bei ≥ 2.5 [N/mm²] liegen. Der Brechbarkeitsindex (BR) soll allgemein ≤ 70 [-] sein.

Tabelle 1 Auswahlkriterien Rohmaterial im Projekt 2TG mit Vergleich zu den Projekten Alp Transit und TELT

Tunnelbau: Auf dem Gipfel der Kreislaufwirtschaft? • Faktencheck am Beispiel zweier aktueller Grossprojekte in den Alpen

Die physikalischen Prüfungen am Gestein mit den entsprechenden Kriterien sind somit seit den Alpendurchstichen der beiden Basistunnel in der Schweiz einfach und eindeutig definiert und wurden auch so angewendet.

Für das Projekt 2TG wurden die Kriterien leicht modifiziert, indem die Grenzwerte – die Erfüllung der Kriterien Brechbarkeit und Punktlast – voneinander abhängig gemacht wurden. Das heisst, im Projekt 2TG darf der PI runter bis ≥ 2.0 [N/mm²]/ ≥ 3.0 kommen [N/mm²], falls die Brechbarkeit geringer ist und nur bis ≤ 65 [-] anstelle von ≤ 70 [-] geht (Tabelle 1). Das scheint auf den ersten Blick keine dramatische Änderung zu sein, macht aber durchweg Sinn, da die verschiedenen physikalischen Parameter zur Gesteinsfestigkeit oft Funktionen voneinander sind, jedoch oft nicht linear [2]. Die Beziehung zwischen Druckfestigkeit und Schlagzertrümmerung wurde von C. Thalman schon von Beginn weg beschrieben: „Obwohl Leventinagnaiszuschläge ... mit 3.7 [N/mm²] eine akzeptable Punktlastfestigkeit aufweisen, betrug die Betonfestigkeit gerade noch 30.5 [N/mm²]. Der Grund liegt in den hohen Los-Angeles-Werten respektive hohen Brechbarkeitswerten, die zeigen, dass die Zuschläge einen äusserst geringen Widerstand gegen Kornzertrümmerung und Schlagbeanspruchung aufweisen“ [2]. In dieser Textstelle steckt die Essenz der Rohmaterialbeurteilung. Druckfestigkeit und Schlagzähigkeit müssen sozusagen als „Produkt“ eine Mindestgrösse erreichen, damit die Festigkeit im Beton ausreichend ist. Im Projekt 2TG wurde diesem Gedanken mit der Verknüpfung der beiden Kriterien durch die Fallunterscheidung Rechnung getragen.

Die Erfahrung aus zahlreichen Projekten und vielen tausend Tonnen aufbereitetem Ausbruchmaterial zeigt, dass vor allem die Paralleltextur in anisotropen Gesteinen die Druckfestigkeit (Punktlast) und auch die Schlagzähigkeit stark beeinflusst. Mit anderen Worten: Das Ausbruchmaterial darf nicht zu stark geschiefert sein. Aus Sicht des Verfassers kann diese Erkenntnis aus den physikalischen Versuchen zur Gesteins Härte direkt auf ein Feldkriterium für die Petrographie (das heisst die Gesteinsansprache durch den Geologen im Vortrieb) übertragen werden. Wird ein Gestein als Gneis bis Schiefergneis (spaltet in Platten, cm bis dm) angesprochen, so sind die Rohmaterialkriterien in der Regel erfüllt, ist die Ansprache hingegen Schiefer (spaltet in dünne Platten; cm bis mm), so werden die Kriterien ziemlich sicher nicht erfüllt. Folgender Abschnitt aus C. Thalman's Dissertation illustriert das gut. „Ein ... im Labor durchgeführter Betonversuch mit aufbereitetem TBM-Material aus Chlorit-Serizit-Gneisen bis Schiefer hat gezeigt, dass aufgrund der geringen Gesteinsdruckfestigkeit die Aggregate > 8 mm im Betonmischer aufgebrochen (sind) und dadurch die Korngrößenverteilung während dem Mischprozess laufend verändert wurde. ... Eine Druckfestigkeit von 26.3 bis 35.0 [N/mm²] zeigt, dass ... die Festbetoneigenschaften negativ beeinträchtigt werden“ [2].

Im Zusammenhang mit dem Widerstand gegen Schlagzertrümmerung soll auch der Los-Angeles-Koeffizient (LA) erwähnt sein. Diese Prüfung und die entsprechenden Grenzwerte stammen aus der SN/EN-Norm für Gesteinskörnungen für Beton. Es ist also eine Prüfung an der aufbereiteten Körnung, sie kann als Standardverfahren zur Bestimmung des Widerstandes gegen die Zertrümmerung betrachtet werden. Vor allem wenn die LA-Prüfung im Mischklassenverfahren (verschiedene Korngruppen) durchgeführt wird, kann sie auch am Ausbruchmaterial angewendet werden. Die LA-Prüfung ist zeitintensiv und benötigt eine grosse Probenmenge. Die Prüfung wurde deshalb als „wenig praxisfreundlich“ [2] eingestuft und für die Ausbruchmaterial-Beurteilung

Tab. 5: Qualitätsanforderungen an den GFB

Nr.	Art der Prüfung	Prüfnorm	Kategorie / Regelanforderung
Nr. 01A	Kornzusammensetzung feine Gesteinskörnungen (Sand: 0/4mm)	SN 670'902-1a SN 670'902-2a und EN 933-1, 933-2	SN 670'102b (EN 12620), Tab. 1: G _F 85 Def. BH: Feinheitmodul: 2.3 < FM < 3.1 (indikativ)

ALP Transit und andere Projekte
2.5 < FM < 3.0
Target 2.5 - 2.8

TELT
2.5 < FM < 3.1
Target 2.9 - 3.1

Nr. 01B	Kornzusammensetzung grobe Gesteinskörnungen (4/8, 8/16, 16/22mm)		SN 670'102b (EN 12620), Tab. 1: G _c 85/20
Nr. 02	Feinanteile 6 % 5 % feine GK	EN 12620	EN 12620: feine Gesteinskörnungen: f 7 grobe Gesteinskörnungen: f 1.5 (toleriert bis f 2.5)
Nr. 03	Kornform (4/8 8/16 16/22 mm)	SN 670'902-3a und EN 933-3	EN 12620: FI 35 30 35
Nr. 04	Wassergehalt	SN 670'903-5a u. EN 1097-5	Def. BH: feine Gesteinskörn. $\leq 12\%$ grobe Gesteinskörn. $\leq 2\%$ (toleriert bis $\leq 3.5\%$)
Nr. 05	Rohdichte und Wasseraufnahme aller Gesteinskörnungen	SN 670'903-6a u. EN 1097-6	Def. BH: Rohdichte: >2'500 kg/m ³ und <3'000kg/m ³ Def. BH: feine Gesteinskörn. WA 1.5% grobe Gesteinskörn. WA 1.0%
Nr. 06	Los Angeles-Index	SN 670'903-2a u. EN 1097-2	Def. BH: LA 40 35 40
Nr. 07	Petrographie aller Gesteinskörnungen - 07A: Petrogr. Beschreibung - 07B: Ungeeignete Kompon. - 07C: Mikroskopie Dünnschliff	BH u. EMPA SN 670'115	nach Definition BH / EMPA für Schichtsilikate und für ungeeignete Komponenten (siehe Anhang A3)
Nr. 08	Alkali-Aggregat-Reaktion (0/4 und 8/16mm)	AFNOR P 18-588	Expansion ≤ 0.10 [%] nicht reaktiv Expansion > 0.10 [%]: Performance-Test
Nr. 09	Säurelöslicher Sulfatgehalt aller Gesteinskörnungen Gesamt Schwefelgehalt aller Gesteinskörnungen	SN 670'905-1 und EN 1744-1	EN 12620: AS 0.8 EN 12620: $\leq 1\%$ spezielle Regelung Klasse CL1S
Nr. 10	Chloridgehalt.	SN 670 905-1, SN EN 1744-1)	EN 12620: $\leq \text{Cl } 0.1$
Nr. 11	Schüttdichte und Hohlraumgehalt aller Gesteinskörnungen	SN 670 903-3a und EN 1097-3	EN 12620: Indikative Angabe

Tabelle 2 Qualitätsanforderungen Gesteinskörnungen für Beton Projekt 2TG mit Vergleich zu den Projekten Alp Transit und TELT

Quelle: Bundesamt für Strassen ASTRA (2021): Ausschreibung Secondo tubo San Gottardo. Los 111, Kontrollplan Ausbruchmaterial, Gesteinskörnungen für Beton und Kriessgemische. Dok. 4-2-3

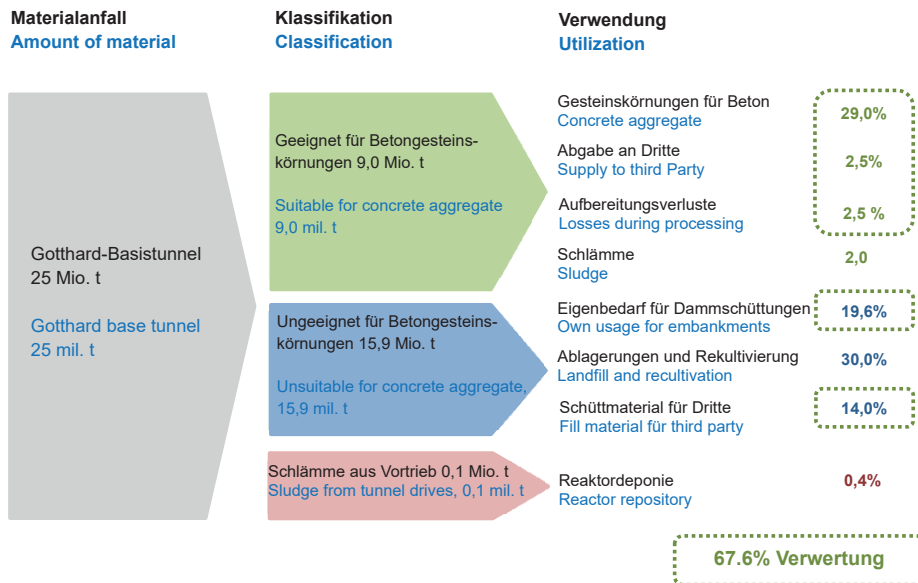
Tunnelbau: Auf dem Gipfel der Kreislaufwirtschaft? • Faktencheck am Beispiel zweier aktueller Grossprojekte in den Alpen

bei den Alp-Transit-Projekten nicht berücksichtigt. Der LA wurde aus diesem Grund folgerichtig als Parameter zur Qualitätssicherung (wie in der Körnungsnorm SN EN 12620) der fertigen, aufbereiteten Körnung verwendet (Tabelle 2).

Vergleicht man die Grenzwerte für Rohmaterial des Projektes TELT mit den ursprünglichen Kriterien gemäss Alp Transit, so fällt auf, dass die Punktlastkriterien gesenkt wurden: ≥ 2.0 [N/mm²]/ ≥ 2.5 . Die Brechbarkeit ist bei ≤ 70 belassen, eine Verknüpfung der Kriterien mit Fallunterscheidung wie im Projekt 2TG hat nicht stattgefunden (siehe Abschnitt oben).

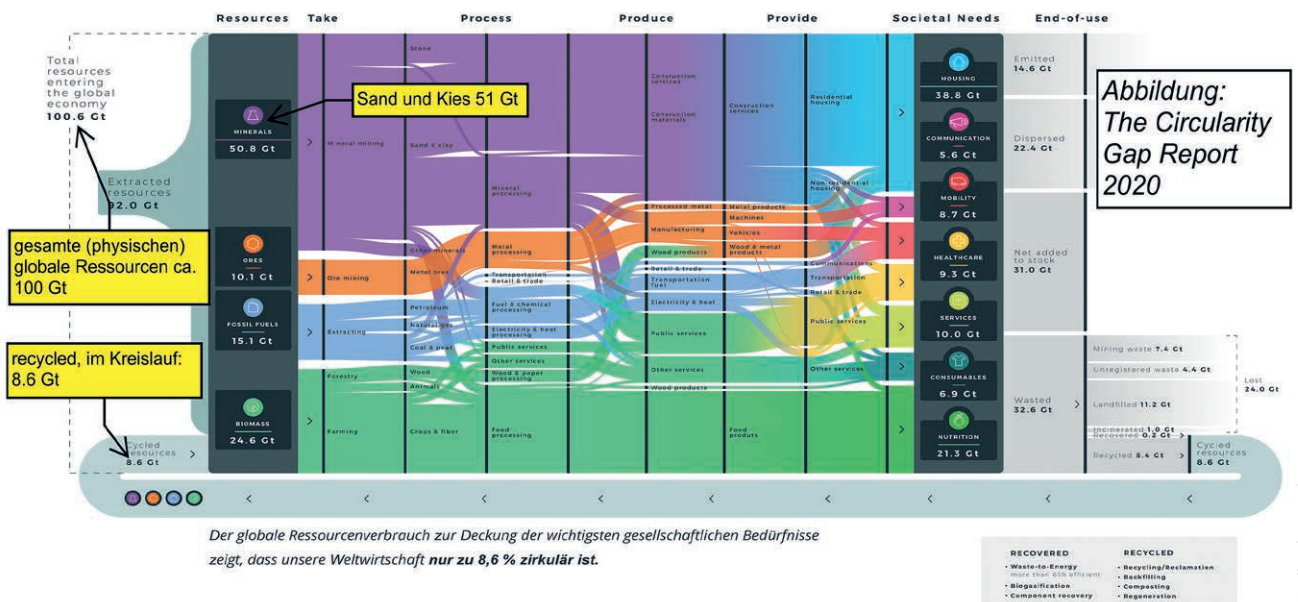
Die Herabsetzung des Grenzwertes für den Punktlastindex ist eine Neuerung, die über die bisherigen Erfahrungen aus anderen Projekten hinausgeht und als Innovation angesehen werden kann. Für die ursprünglichen Alp-Transit-Grenzwerte zum PI galt Folgendes: „Die minimale Gesteinsfestigkeit (PI-Versuch) für Betonzuschläge sollte parallel zur Schieferung mindestens 2.5 [N/mm²] bis 3.0 [N/mm²] betragen. Für einen theoretischen Umrechnungsfaktor von 25 ergibt das eine minimale einachsige Druckfestigkeit von 60 bis 75 [N/mm²]. Für isotrope Gesteine sollte der PI 3.5 [N/mm²] betragen.“ Insbesondere vor dem Hintergrund des weiter oben beschriebenen Zusammenhangs zwischen der Ausprägung der Schieferung im Gestein und der Punktlastfestigkeit ist diese Absenkung der Parameter von Bedeutung. Weiter fällt auf (Tabelle 1), dass im Projekt TELT der LA-Koeffizient ein Kriterium für die Rohmaterialauswahl ist, im Gegensatz zu den Alp-Transit-Kriterien, bei denen, wie bereits erwähnt, der LA an der aufbereiteten Körnung gemessen wird. Die Einbeziehung des LA in die Rohstoffbewertung ermöglicht die direkte Anwendung eines robusten Kriteriums. Da die Testdurchführung jedoch wenig „feldtauglich“ ist, bleibt die Frage nach der Relevanz dieses Kriteriums zur Klassierung des Rohmaterials offen.

Gotthard-Basistunnel: maximale Kreislaufwirtschaft



Quelle: Rupert H. Lieb (2010), Hochwertiger Beton aus Tunnelausbruch am Gotthard-Basistunnel

2 Beispiel Gotthard-Basistunnel: maximale Verwertung des Ausbruchmaterials



Quelle: The circularity gap report 2020

3 Zeigt das Volumen der weltweit geförderten Ressourcen in Milliarden Tonnen für das Jahr 2017

Tunnelbau: Auf dem Gipfel der Kreislaufwirtschaft? • Faktencheck am Beispiel zweier aktueller Grossprojekte in den Alpen

2.3 Anforderungen an die aufbereiteten Körnungen

Die Qualitätsanforderungen an Gesteinskörnungen für Beton (GKB) aus dem Projekt 2TG sind in **Tabelle 2** zusammengestellt. Zusätzlich sind die ursprünglichen Parameter aus den Alp-Transit-Projekten und jene aus dem Projekt TELT farbig dargestellt. Generell kann gesagt werden, dass die Anforderungen in den aktuellen Projekten leicht gesunken sind. Dies betrifft die Sauberkeit (Feinanteile) der Körnung, die Kornform (Plattigkeit) und die Härte (LA-Koeffizient) der Körnung. Die Bedeutung der LA wurde bereits im obigen Kapitel diskutiert, insbesondere die Verwendung der LA als Rohmaterialkriterium im Projekt TELT. Die Anforderung an die Kornform (Plattigkeit) wurde leicht herabgesetzt, nun ist ein Indexwert von 35 zulässig.

Die betontechnologisch entscheidende Grösse ist die Anforderung an die Sieblinie (Korngrößenverteilung: KGV) im Sand 0/4 mm. Die Grenzwerte des Feinheitsmoduls (FM) des Sandes beeinflussen die zulässige Sieblinie im Sand und haben auch konkreten Einfluss auf die Aufbereitungstechnik. Das Feinheitsmodul entspricht der Summe der Massenprozent der Siebrückstände der Analysesiebe 4.0, 2.0, 1.0, 0.25 und 0.125 mm und kann als Mass für eine gute, stetige Abstufung der KGV im Sand betrachtet werden [7]. In der wegweisenden Dissertation von C. Thalmann wurden keine Anforderungen an die Sieblinie im Sand vorgegeben, bei der Umsetzung von Alp Transit und nachfolgenden Projekten wurden dann aber Vorgaben gemacht. Eine genau definierte Sieblinie im Sand hat einen grossen Einfluss auf die Frischbetoneigenschaften und gewährleistet einen konstanten W/Z-Wert bei gleichbleibender Festigkeit im Beton [7].

3 Ist der Tunnelbau ein Vorreiter der Kreislaufwirtschaft?

Unten stehende Darstellung zeigt am Beispiel Alp Transit (Gotthard-Basistunnel) die Ausbruchmengen und den Verbleib des Ausbruchmaterials (**Bild 2**). Insgesamt wurden circa 2/3 des Ausbruchmaterials verwertet, einschliesslich des für Schüttungen verwendeten und an Dritte abgegebenen Materials. Projektintern wurden ca. 50 % verwertet. Vergleicht man diese Zahl mit den globalen Zahlen für die Kreislaufwirtschaft, so zeigt sich, dass der Tunnelbau in der Tat gut abschneidet (**Bild 3**). Wie bereits in der Einleitung zu diesem Artikel beschrieben, sind weltweit nur 7.2 % der Massen/Ressourcen im Kreislauf. Eine kurze Recherche zu einzelnen Produktkategorien ist ebenso aufschlussreich. In der Autoindustrie werden rund 88 % der Masse wiederverwertet und recycelt [8]. In der Möbelindustrie hingegen landen 80 bis 90 % der Produkte früher oder später im Abfall [9]. Beide Angaben beziehen sich auf den Markt in Europa.



4 Tunnel de Champel (Cornavin–Annemasse). Kieswerk direkt auf den Silos einer Betonanlage

Quelle: Marti Technik AG/Simatec Maschinenbau AG 2014

Tunnelbau: Auf dem Gipfel der Kreislaufwirtschaft? • Faktencheck am Beispiel zweier aktueller Grossprojekte in den Alpen

Wichtig ist in diesem Zusammenhang die Überlegung, dass es sich hier nicht wie bei den zuvor genannten Beispielen (Fahrzeuge und Möbel) um sogenannte End-of-Life-Betrachtungen handelt, sondern um die primären Ressourcen, die für den Bau eines Tunnels benötigt werden. Betrachtet man Sand, Kies und Zement im Beton (Feststoffe), so kann man sagen, dass ca. 85 % der Feststoffe aus Kreislaufmaterial, das heisst aus Tunnelausbruch, bestehen. Mit dieser Betrachtung ist der Tunnelbau genauso kreislaufwirtschaftlich wie die Autoindustrie. Man kann auch argumentieren, dass die Verwendung von Tunnelausbruch als Körnung für Beton tatsächlich ein Upcycling darstellt.

Bild 4 zeigt ein spezielles Beispiel aus dem Tunnelbau. Bei dem Projekt Tunnel de Champel in Genf (CEVA, Cornavin–Annemasse) hat Marti Tunnelbau als Unternehmervariante die gesamte Ausbruchmasse – Lockergestein (Schotter) der Arve – aufbereitet. Für das Projekt selbst wurde nur etwa ein Drittel des Materials benötigt. Der Baustoffkonzern, der den Zement lieferte, war in der Lage, fast 50 % des Materials als Gesteinskörnung für Beton wiederzuverwenden. Die Wiederverwendungsrate des Ausbruchs betrug hier etwa 83 %, indem er direkt als Gesteinskörnungen für Beton verwendet wurde. Das ist ein Rekord. Etwa 17 % – der Kieswaschschlamm – blieben als Filterkuchen zurück und wurden entsprechend deponiert.

Projekt	Tunnel-länge [km]	Ausbruch total [Mio. t]	Gesteins- körnungen [Mio. t]	Beton [Mio. m ³]	Verwertungs- grad [%]
AlpTransit Gotthard	2 x 57	28.20	6.5	3.3	23
AlpTransit Lötschberg	2 x 35	16.50	3.8	1.9	23
Lyon-Turin TELT	2 x 57.3	30.80	9.7	5.5	31
Gotthard Strassentunnel 2. Röhre	1 x 16.8	7.31	1.6	0.8	23

Quelle: B+G Betontechnologie + Materialbewirtschaftung AG

Tabelle 3 Vergleich Verwertungsgrad Tunnelbeton

Abschliessend werden die aktuellen Projekte TELT und 2TG im Vergleich zu den beiden Alp-Transit-Projekten betrachtet. **Tabelle 3** zeigt die direkte Verwendung des Ausbruchmaterials für Gesteinskörnungen für Beton, die Verwendung für Schüttungen und Hinterfüllmaterial ist weggelassen. Die Zahlen sind bemerkenswert ähnlich und konstant. Es ist auffällig, dass im Projekt TELT jedoch signifikant mehr Gesteinskörnung aufbereitet werden soll (vergleiche Kapitel 2.2). Das oben erwähnte Beispiel Champel/Cornavin Annemasse (Kap. 3) zeigt, dass bei entsprechenden Projektparametern weit über 2/3 des Ausbruchmaterials verwertet und sogar Rohstoffe für andere Projekte zur Verfügung gestellt werden können. Dies kann als geschlossener Stoffkreislauf mit Upcycling bezeichnet werden.

Quelle

- [1] Circle Economy Foundation (2023): The Global Circularity Gap Report
- [2] Thalmann C. (1996): Beurteilung und Möglichkeiten der Wiederverwertung von Ausbruchmaterial aus dem maschinellen Tunnelvortrieb zu Betonzuschlagstoffen. Schweizerische Geotechnische Kommission, Beiträge zur Geologie der Schweiz
- [3] Büro für Ingenieurgeologie AG (2006): Beurteilung der Verwertbarkeit von Ausbruchmaterial für die Produktion von GKB. Pumpspeicherwerk Emosson
- [4] Tunnel Euralpin Lyon Turin (2022), Dossier des Consultations des Enterprises, Dossier A, CCT Livret 8: Conditions techniques pour la gestion et l'emploi des matériaux excavés
- [5] Bundesamt für Strassen ASTRA (2021): Ausschreibung Secondo tubo San Gottardo. Los 111, Kontrollplan Ausbruchmaterial, Gesteinskörnungen für Beton und Kiesgemische. Dok. 4-2-3
- [6] Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (2022): Empfehlung Nr. 24, Bestimmung der Abrasivität von Festgesteinen mit dem LCPC-Versuch
- [7] Abrams, Duff A., Structural Materials Research Laboratory, Lewis Institute Chicago (1920): Design of concrete mixtures
- [8] Eurostat, End of life statistics (2023): End of life statistics vehicles 2021
- [9] European Circular Economy Stakeholder Platform (2018): Circular Economy in the furniture industry

Tunnelbau: Auf dem Gipfel der Kreislaufwirtschaft? • Faktencheck am Beispiel zweier aktueller Grossprojekte in den Alpen

Normen

- AFNOR P18-579: Granulats essai d'abrasivité et de broyabilité. Association Française de Normalisation, Paris, 2013
- AFNOR XP P49-429: Roches – Résistance sous charge ponctuelle – Essai Franklin. Association Française de Normalisation, Paris, 2002
- ISRM Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests. Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength on rock materials and the point load strength index. ISRM, Lisbon, 1985
- SN 670'902-3a (EN 933-3) VSS: Test for geometrical properties of aggregates – part 3: Determination of particle shape – Flakiness Index. European Committee for Standardization, 2012
- SN 670'903-2a (EN 1097-2) VSS: Test for mechanical and physical properties of aggregates -Part 2: Methods for the determination of the resistance to fragmentation (LA-Index). European Committee for Standardization, 2020
- SN 670102b-NA (EN 12620) VSS: Gesteinskörnungen für Beton, 2008

Tunnelling: The peak of a circular economy? • Checking the facts using the example of two current major projects in the Swiss and French Alps

Alexander Wyss, dipl. Natw. ETHZ, Simatec Maschinenbau AG, 6048 Horw

Tunnelling: The peak of a circular economy?

Checking the facts using the example of two current major projects in the Swiss and French Alps

“The global economy is only 7.2% circular. The global environmental situation is worsening from year to year, driven by increasing resource extraction and use of materials,” states the Global Circularity Gap Report [1]. How does our industry – tunnelling – compare? Are the material cycles closed? Is our industry perhaps even a pioneer when it comes to resource management? Two major projects will be used as examples to show that tunnelling already operates under a genuine circular economy in many cases with regard to the consumption of sand and gravel as two main raw materials used. The two major projects in question are the construction of the Gotthard road tunnel's second tunnel tube (2TG) in the central Alps of Switzerland and the Euralpin Lyon–Turin Tunnel (TELT).

1 How it all began: The history of recycling tunnel excavation material, especially material excavated via tunnel boring machines (TBM)

In 1996, the Swiss Geotechnical Commission published an article entitled: “Assessment and options for recycling excavated material from mechanised tunnelling into concrete aggregates”. The publication was written by Cédric Thalmann and was based on his dissertation at ETH Zurich, which Thalmann had begun in 1992 on the same topic. This project received financial support from the Swiss Federal Railways SBB and the Bern–Lötschberg–Simplon Railway (BLS) [2]. Mr Thalmann's research work was prompted by the forthcoming projects of the century: the New Rail Link through the Alps (NRLA) and the Lötschberg and Gotthard base tunnels. The world of tunnelling looked different in 1996 than it does today. The first form of mechanised tunnelling in Switzerland took place in 1965 to excavate a 2.5-km-long wastewater tunnel near Baden (Ø 3.5 m).

Prior to the two NRLA projects, only very small quantities of excavated tunnel material were processed into aggregate for concrete, namely to construct the A8 motorway and the Kerenzberg Tunnel, where mostly limestone was processed from blasting. A new plan was formed from the idea of processing the excavated material from the crystalline rock in large quantities by mechanised tunnelling, i.e., TBM tunnelling. The two base tunnels themselves would produce the aggregate needed for their concrete. “The NRLA project aims to ensure the supply of bulk materials and concrete aggregates to the construction lots as far as possible by processing its own excavated material” [2]. Before 1996, nobody had ever advocated for this new method of concrete production, let alone put it into practice. Not even on an international scale. TBM material had already been processed for the Vereina North Tunnel and the Cleuson-Dixence project, and another project with milled material (limestone) from Morocco was later announced. The idea of only using excavated material from long tunnels to produce concrete aggregate on a large scale was new. The pioneering work consisted of defining measurable criteria and procedures with which excavated material from both TBM and blasting tunnelling could be measured and assessed with regard to its suitability as an aggregate for concrete. “In order to be able to process excavated material... into concrete aggregates, petrographic suitability must be confirmed on the one hand and a minimum rock hardness must be proven on the other. In this case, the rock testing methods according to the crushability index, the point load index and the Los-Angeles index have proven to be suitable for carrying out quality determinations” [2]. The following chapter aims to clarify whether the research results from back then are still valid today and how the parameters and criteria defined at that time are applied today.

2 How do we currently recycle tunnel rubble into aggregates for concrete? The Alp-Transit criteria for recycling excavated material

2.1 Testing the excavated material, physical properties and petrography

As described in the section above, C. Thalmann's dissertation from 1992 already showed which criteria and limit values could be used to process tunnel excavation material into high-quality concrete aggregates. The aim was to ensure sufficient aggregate quality for the production of concrete in strength class B40/30 [1] as part of the Alp-Transit projects. In later projects (for examp-

Construction de tunnels : l'apogée de l'économie circulaire ?

Vérification des faits à l'aide de l'exemple de deux grands projets en cours dans les Alpes suisses et françaises

L'extraction croissante de matières premières a fait reculer l'économie circulaire mondiale de 9.1 % en 2018 à 8.6 % en 2020 ; aujourd'hui, ce chiffre est tombé à 7.2 % en 2023. Cela signifie que seulement 7.2 % des ressources « utilisées » dans le monde seront recyclées en 2023. Cela laisse un énorme vide dans l'économie circulaire : la planète dépend presque exclusivement de matériaux vierges (« primaires »). C'est la conclusion à laquelle est parvenu le Global Circularity Gap Report [1]. Ce rapport a été présenté pour la première fois par la Circle Economy Foundation, basée à Amsterdam, lors du Forum économique mondial 2018 à Davos.

Comment notre industrie – la construction de tunnels – se situe-t-elle par rapport aux autres ? Les cycles des matériaux sont-ils fermés ? La consommation de ressources dans la construction de tunnels est-elle plus faible – ou pouvons-nous réduire les besoins en ressources ? Notre secteur est-il peut-être même pionnier en matière de gestion des ressources ? Enfin, la construction de tunnels a-t-elle déjà mis en œuvre l'exigence d'une économie la plus circulaire possible ? Deux projets majeurs seront utilisés comme exemples pour montrer que la construction de tunnels pratique déjà une véritable économie circulaire dans de nombreux cas en ce qui concerne la consommation des principales matières premières, le sable et le gravier. Ces deux grands projets sont la construction du deuxième tube du tunnel routier du Saint-Gothard (2GT) dans les Alpes centrales de Suisse et le tunnel Euralpin Lyon-Turin (TELT), le nouveau tunnel ferroviaire binational de base dans les Alpes occidentales.

Le recyclage des matériaux d'excavation des tunnels est une innovation qui a vu le jour au cours des 30 dernières années. La science suisse et l'industrie de la construction ont joué un rôle de pionnier sur la voie de l'économie circulaire dans le secteur européen des tunnels. Cet article décrit en détail le chemin parcouru, depuis les principes de la science des matériaux utilisés dans la phase de planification des deux projets NLFA, jusqu'au cours habituel de la gestion des matériaux dans les grands projets actuels de construction de tunnels.

Costruzione di gallerie: il picco dell'economia circolare?

Fact-checking sull'esempio di due grandi progetti in corso nelle alpi

La crescente estrazione dei materiali ha atrofizzato l'economia circolare globale: dal 9.1 % del 2018 al 8.6 % del 2020 ed ora il 7.2 % del 2023. Ciò significa che è stato riciclato in tutto il mondo nel 2023 solo il 7.2 % delle risorse "consumate". Ciò lascia un enorme vuoto nell'economia circolare; il globo deve ricorrere quasi esclusivamente a nuovi materiali (primari). Questa è la conclusione del Global Circularity Gap Report [1], presentato per la prima volta nel 2018 durante il World Economic Forum di Davos dalla Circle Economy Foundation con sede ad Amsterdam.

In relazione a ciò come si pone il nostro settore (la costruzione di gallerie)? I cicli biogeochimici sono preclusi? Il consumo di risorse nella costruzione di gallerie è inferiore, ovvero possiamo ridurre il bisogno? Il nostro settore è forse addirittura un precursore del resource management? Ha già realizzato la richiesta verso una quanto più possibile modalità economica circolare? Ad esempio due grandi progetti riescono a dimostrare che la costruzione di gallerie esercita in molti casi una vera economia circolare, in relazione al consumo delle principali materie prime, sabbia e ghiaia. I due grandi progetti riguardano la costruzione della seconda canna della galleria stradale del San Gottardo (2TG) nelle Alpi centrali svizzere e il tunnel Euroalpino Torino-Lione (NLTL): la nuova, binazionale ferrovia-tunnel di base nelle Alpi occidentali.

Il riciclo del materiale di scavo è una innovazione degli ultimi 30 anni. La scienza e l'economia edile svizzere hanno assunto un ruolo d'avanguardia nella via verso l'economia circolare nella costruzione di gallerie europee. Questo articolo illustrerà il passaggio dalle basi scientifiche dei materiali della fase di pianificazione di entrambi i Progetti NFTA al "courant normal" nel management dei materiali dei grandi progetti odierni.

le, the Nant de Drance pumped storage plant), strength class C30/37 was pursued as a benchmark in accordance with the new standardisation [3].

One can speak of a dual system in connection with the concept for evaluating tunnel excavation material developed at ETH since 1992. On the one hand, the rock is assessed petrographically (in the context of rock science with regard to mineral content and structure), and on the other hand, the excavated material is tested directly on the construction site using simple tests to determine the hardness of the rock. Well-known and standardised test procedures were used, some of which had to be slightly adapted (for testing TBM chips). The tests involve the point load index and the crushability index. Figure 1 shows the experimental set-up of the tests in the (construction site) laboratory. With the point load index, the test specimen (the piece of rock from tunnel excavation) is broken using a hydraulic hand pump between two metal tips. Indirect tensile strength is therefore tested [2].

Tunnelling: The peak of a circular economy? • Checking the facts using the example of two current major projects in the Swiss and French Alps



Credit: Büro für Ingenieurgeologie AG (2019), Is recycling TBM spoil a problem or a valuable asset?

1 Tests on excavated material. Illustration of test methods.

The second test, the crushability index/abrasiveness index – more precisely LCPC, (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris) Essai d'abrasivité et de broyabilité [(Central Laboratory of Bridges and Roads, Paris) Abrasiveness and grindability test] – tests the grindability and abrasiveness in one test procedure. A defined steel test specimen is exposed to contact with a rock sample for a defined period of time at a specified rotational speed. To measure the abrasiveness of the source rock, the wear of the test blade is measured. In addition, an index

value for crushability can be determined from the change in grain size of the initial sample [6].

These two test methods for rock hardness (point load and crushability) have proven their worth since 1992, primarily due to their relatively simple application and the fact that the tests can be carried out directly on the construction site. Another important factor is the short time required to carry out the tests, i.e., the results are available within a few hours after sampling. These tests and the assigned characteristic values (raw material criteria) are used to define the quality of the excavated material to be processed. The same criteria can be used from the geological forecast through the tendering process all the way to implementation. The same tests with the same, easy-to-determine parameters are still used, but now with a database of over 30 years with tens of thousands of tests and millions of tonnes of processed material.

2.2 Raw material criteria: Comparing two current projects with the original Alp-Transit limit values

After 1996, C. Thalmann's dissertation helped to define the criteria and establish the scientific basis for recycling excavated tunnel material into concrete aggregate. Table 1 shows a current example of how these criteria are applied in practice. The table is taken from the tender documents for the materials processing lot, Lot 111, for the second tunnel project in the Gotthard Road

Art der Prüfung:	Prüfnorm	Nachzuweisender Richtwert	Bemerkungen
Nr. A: Makroskopische Petrographie		Vgl. Kap. 3.5, Tab. 3 Petrographie: i.O.	visuelle Grobbeurteilung an der Ortsbrust
Nr. B Brechbarkeits-Index ALP TRANSIT ≤ 70	AFNOR P 18-579	Fall a: ≤ 65 [-] Fall b: falls 65-70 [-] muss mit Prüfung Nr. C Fall c erfüllt sein	Grenzwerte gemäss Definition BH TELT ≤ 70
Nr. C Punktlast-Index ALP TRANSIT ≥ 2.5 ≥ 3.5	ISRM	Fall c: I _{SS0} parallel: ≥ 2.5 [N/mm ²] I _{SS0} isotrop: ≥ 3.5 [N/mm ²] Fall d: Falls I _{SS0} parallel: ≥ 2.0 [N/mm ²] I _{SS0} isotrop: ≥ 3.0 [N/mm ²] muss mit Prüfung Nr. B, Fall a erfüllt sein	TELT ≥ 2.0 ≥ 2.5 TELT LA-Index ≤ 45
Nr. Da Mikroskopische Petrographie	nach Def. BH	-	Beschrieb der Mineralien an Dünnschliffen
Nr. Db Petrographisch ungeeignete Komponenten, Fraktionen 1/4, 4/22, 22/128 mm	nach Def. BH und SN 670'115	≤ 10 [Gew.-%] nach Definition BH	
Nr. Dc: Freie Schichtsilikate im Rohsand (Bestimmung Kennwert an der Fraktion 0.25-0.50 mm)	nach Def. BH und SN 670'115	≤ 40 [Stck.-%] nach Definition BH und EMPA	
Nr. E Potentielle Alkali-Reaktivität	AFNOR P 18-588	Expansion ≤ 0.10 [%] Expansion > 0.10 [%] Performance-Test	

Table 1 Selection criteria for raw material in the 2GT project with a comparison to the Alp-Transit and TELT projects

Credit: Federal Roads Office FEDRO (2021): Invitation to tender for the Secondo tubo San Gottardo, Lot 111, control plan for excavation material, aggregates for concrete and gravel mixtures. Doc. 4-2-3

Tunnel (2GT). The table with the reference values (limit values) applies to the 2GT project and has been supplemented with the limit values from the Alp Transit and Tunnel Eur-alpin Lyon-Turin (TELT) and Mont-Cenis Base Tunnel projects (coloured boxes). If we now compare the original limit values of the Alp Transit projects with the two current projects, it is clear that little has changed between Alp-Transit and 2GT. The point load index (PI) should be ≥ 3.5 [N/mm²] for rock with low schistosity. And if schistosity is clearly recognisable in the specimen, the PI should be at least ≥ 2.5 [N/mm²]. The refractive index (BR) should generally be ≤ 70 [-].

Tunnelling: The peak of a circular economy? • Checking the facts using the example of two current major projects in the Swiss and French Alps

The physical tests on the rock with the corresponding criteria have thus been simply and clearly defined and applied since the start of the two base tunnels through the Alps in Switzerland.

For the 2GT project, the criteria were modified slightly by making the limit values – fulfilling the crushability and point load criteria – dependent on each other. This means that in the 2GT project, the PI may come down to ≥ 2.0 [N/mm²]/ ≥ 3.0 [N/mm²] if the crushability level is lower and only goes up to ≤ 65 [-] instead of ≤ 70 [-] (Table 1). At first glance, this does not appear to be a dramatic change, but it does make sense, as the various physical parameters for rock strength are often mutually dependent functions, but often not linear [2]. The relationship between compressive strength and impact crushing was described by C. Thalmann right from the start: “Although Leventina gypsum aggregates... have an acceptable point load strength of 3.7 [N/mm²], the concrete strength was just 30.5 [N/mm²]. The reason for this level is the high Los Angeles index or high crushability index, which show that the aggregates have an extremely low resistance to grain fragmentation and impact stress” [2]. This text excerpt captures the essentials of raw material assessment. Compressive strength and impact strength must reach a minimum value as a “product”, so to speak, so that the concrete has sufficient strength. In the 2GT project, this idea was taken into account by linking the two criteria through case differentiation.

Experience from numerous projects and many thousands of tonnes of processed excavated material shows that the parallel texture in anisotropic rocks in particular has a significant influence on the compressive strength (point load) and the impact strength. In other words: The excavated material cannot be too heavily made of schist. From the author’s point of view, this finding from the physical tests on rock hardness can be directly transferred to a criterion for petrography in the field (i.e. a geologist’s approach to the rock during tunnelling). If a rock is addressed as gneiss to schistose gneiss (splits into slabs, cm to dm), the raw material criteria are usually fulfilled, but if the rock is addressed as schist (splits into thin slabs; cm to mm), the criteria are almost certainly not fulfilled. The following section from C. Thalmann’s dissertation illustrates this point well. “A... concrete test carried out in the laboratory with processed TBM material from chlorite-sericite gneiss to schist has shown that due to the low rock compressive strength, the aggregates > 8 mm (are) broken up in the concrete mixer, and thus, the grain size distribution was constantly changed during the mixing process... A compressive strength level of 26.3 to 35.0 [N/mm²] shows that... the hardened concrete properties are negatively affected” [2].

The Los-Angeles coefficient (LA) should also be mentioned in connection with resistance to impact crushing. This test and the corresponding limit values are taken from the SN/EN standard for concrete aggregates. It is therefore a test on the prepared aggregate and can be considered a standard method for determining resistance to crushing. The LA can also be used on excavated material, especially if carried out using the mixed class method (different grain groups). The LA is time-consuming and requires a large number of samples. The test was therefore categorised as “not very practical” [2] and was not taken into account for the assessment of excavated material in the Alp-Transit projects. For this reason, the LA was logically used as a parameter for quality assurance (as in the SN EN 12620 aggregate standard) of the finished, processed aggregate (Table 2).

Tab. 5: Qualitätsanforderungen an den GFB

Nr.	Art der Prüfung	Prüfnorm	Kategorie / Regelanforderung
Nr. 01A	Kornzusammensetzung feine Gesteinskörnungen (Sand: 0/4mm)	SN 670'902-1a SN 670'902-2a und EN 933-1, 933-2	SN 670'102b (EN 12620), Tab. 1: G _F 85 Def. BH: Feinheitsmodul: 2.3 < FM < 3.1 (indikativ)

ALP Transit und
andere Projekte
2.5 < FM < 3.0
Target 2.5 - 2.8

TELT
2.5 < FM < 3.1
Target 2.9 - 3.1

Nr. 01B	Kornzusammensetzung grobe Gesteinskörnungen (4/8, 8/16, 16/22mm)		SN 670'102b (EN 12620), Tab. 1: G _c 85/20
Nr. 02	Feinanteile 6 % 5 % feine GK	EN 12620	EN 12620: feine Gesteinskörnungen: f 7 grobe Gesteinskörnungen: f 1.5 (toleriert bis f 2.5)
Nr. 03	Kornform (4/8 8/16 16/22 mm)	SN 670'902-3a und EN 933-3	EN 12620: FI 35 30 35
Nr. 04	Wassergehalt	SN 670'903-5a u. EN 1097-5	Def. BH: feine Gesteinskörn. ≤ 12% grobe Gesteinskörn. ≤ 2% (toleriert bis ≤ 3.5%)
Nr. 05	Rohdichte und Wasseraufnahme aller Gesteinskörnungen	SN 670'903-6a u. EN 1097-6	Def. BH: Rohdichte: >2'500 kg/m ³ und <3'000kg/m ³ Def. BH: feine Gesteinskörn. WA 1.5% grobe Gesteinskörn. WA 1.0%
Nr. 06	Los Angeles-Index	SN 670'903-2a u. EN 1097-2	Def. BH: LA 40 35 40
Nr. 07	Petrographie aller Gesteinskörnungen - 07A: Petrogr. Beschreibung - 07B: Ungeeignete Kompon. - 07C: Mikroskopie Dünnschliff	BH u. EMPA SN 670'115	nach Definition BH / EMPA für Schichtsilikate und für ungeeignete Komponenten (siehe Anhang A3)
Nr. 08	Alkali-Aggregat-Reaktion (0/4 und 8/16mm)	AFNOR P 18-588	Expansion ≤ 0.10 [%] nicht reaktiv Expansion > 0.10 [%]: Performance-Test
Nr. 09	Säurelöslicher Sulfatgehalt aller Gesteinskörnungen Gesamt Schwefelgehalt aller Gesteinskörnungen	SN 670'905-1 und EN 1744-1	EN 12620: AS 0.8 EN 12620: ≤ 1M% spezielle Regelung Klasse CL1S
Nr. 10	Chloridgehalt.	SN 670 905-1, SN EN 1744-1)	EN 12620: ≤ Cl 0.1
Nr. 11	Schüttdichte und Hohlraumgehalt aller Gesteinskörnungen	SN 670 903-3a und EN 1097-3	EN 12620: Indikative Angabe

Table 2 Quality requirements for aggregates for concrete in the 2GT project with a comparison to the Alp-Transit and TELT projects

Tunnelling: The peak of a circular economy? • Checking the facts using the example of two current major projects in the Swiss and French Alps

grain shape (flatness) and its hardness (LA coefficient). The importance of the LA has already been discussed in the section above, in particular the use of the LA as a raw material criterion in the TELT project. The requirement for grain shape (flatness) has been slightly relaxed; an index value of 35 is now permitted.

In terms of concrete technology, a decisive factor is the requirement for the grading curve (particle size distribution: (PSD)) in sand 0-4 mm. The limit values of the sand's fineness modulus (FM) influence the permissible grading curve in the sand and also have a tangible influence on the processing technology. The fineness modulus corresponds to the sum of the mass percentages of the sieve residues of the 4.0, 2.0, 1.0, 0.25 and 0.125 mm test sieves and can be seen as a measure for a good, continuous gradation of the PSD in the sand [7]. In C. Thalmann's pioneering dissertation, no requirements were specified for the grading curve in the sand, but specifications were made during the realisation of the Alp-Transit project and subsequent others. A precisely defined grading curve in the sand has a major influence on the fresh concrete properties and ensures a constant w/c (water/cement) ratio with consistent strength in the concrete [7].

3 Is tunnelling leading the way in a circular economy?

Figure 2 above shows the excavated material volumes and its destination using the Alp-Transit project (Gotthard Base Tunnel) as an example. In total, around two thirds of the excavated material was utilised, including the material used for backfill and material handed over to third parties. Approx. 50% was recycled within the project. A comparison of this figure with global figures for the circular economy shows that tunnelling does indeed perform well (Fig. 3). As already described in the introduction to this article, only 7.2% of the world's resources are in circulation within the economy. A brief search for individual product categories is also informative. In the automotive industry, around 88% of waste is reused and recycled [8]. In the furniture industry, on the other hand, 80 to 90% of products end up as waste sooner or later [9]. Both of these figures relate to the European market.

In this context, it is important to bear in mind that, unlike the examples mentioned above (vehicles and furniture), these are not end-of-life considerations, but rather the primary resources required to construct a tunnel. Looking at sand, gravel and cement in concrete (solids), it can be stated that approx. 85% of the solids consist of recycled material, i.e., tunnel excavation. From this perspective, tunnelling is just as circular as the automotive industry. One can also argue that using tunnel spoil as aggregate for concrete is actually a form of upcycling.



4 Tunnel de Champel (Cornavin–Annemasse). Gravel pit directly by silos in a concrete plant.

Tunnelling: The peak of a circular economy? • Checking the facts using the example of two current major projects in the Swiss and French Alps

Figure 4 shows a special example from tunnelling. For the Tunnel de Champel project in Geneva (CEVA, Cornavin–Annemasse), Marti Tunnelling processed all of the excavated material – loose rock (gravel) from the River Arve – as a variant for the contractor. Only about a third of the material was needed for the project itself. The building materials company that supplied the cement was able to reuse almost 50% of the material as aggregate for concrete. The recycling rate of the excavated material was around 83%, as it was used directly as aggregate for concrete. This is a record amount. Around 17% – gravel slurry – remained as filter cake and was deposited accordingly.

Projekt	Tunnel-länge [km]	Ausbruch total [Mio. t]	Gesteins- körnungen [Mio. t]	Beton [Mio. m ³]	Verwertungs- grad [%]
AlpTransit Gotthard	2 x 57	28.20	6.5	3.3	23
AlpTransit Lötschberg	2 x 35	16.50	3.8	1.9	23
Lyon-Turin TELT	2 x 57.3	30.80	9.7	5.5	31
Gotthard Strassentunnel 2. Röhre	1 x 16.8	7.31	1.6	0.8	23

Credit: B+G Betontechnologie + Materialbewirtschaftung AG

Table 3 Comparison of the degree of utilization of tunnel concrete

Finally, the current TELT and 2GT projects will be compared with the two Alp-Transit projects. Table 3 shows the direct use of the excavated material for aggregates for concrete, whereas the use for fills and backfill material is omitted. The figures are remarkably similar and constant. It is notable, however, that significantly more aggregate will be processed in the TELT project (see section 2.2). The Champel/Cornavin–Annemasse example mentioned above (section 3) shows that, with the right project parameters, well over two thirds of the excavated material can be recycled and even raw materials can be made available for other projects. This can be described as a closed material cycle involving upcycling.

Credits

- [1] Circle Economy Foundation (2023): The Global Circularity Gap Report
- [2] Thalmann C. (1996): Beurteilung und Möglichkeiten der Wiederverwertung von Ausbruchmaterial aus dem maschinellen Tunnelvortrieb zu Betonzuschlagstoffen. Schweizerische Geotechnische Kommission, Beiträge zur Geologie der Schweiz
- [3] Büro für Ingenieurgeologie AG (2006): Beurteilung der Verwertbarkeit von Ausbruchmaterial für die Produktion von GKB. Pumpspeicherwerk Emosson
- [4] Tunnel Euralpin Lyon Turin (2022), Dossier des Consultations des Enterprises, Dossier A, CCT Livret 8: Conditions techniques pour la gestion et l'emploi des matériaux excavés
- [5] Bundesamt für Strassen ASTRA (2021): Ausschreibung Secondo tubo San Gottardo. Los 111, Kontrollplan Ausbruchmaterial, Gesteinskörnungen für Beton und Kiesgemische. Dok. 4-2-3
- [6] Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (2022): Empfehlung Nr. 24, Bestimmung der Abrasivität von Festgesteinen mit dem LCPC-Versuch
- [7] Abrams, Duff A., Structural Materials Research Laboratory, Lewis Institute Chicago (1920): Design of concrete mixtures
- [8] Eurostat, End of life statistics (2023): End of life statistics vehicles 2021
- [9] European Circular Economy Stakeholder Platform (2018): Circular Economy in the furniture industry

Standards

- AFNOR P18-579: Granulats essai d'abrasivité et de broyabilité. Association Française de Normalisation, Paris, 2013
- AFNOR XP P49-429: Roches – Résistance sous charge ponctuelle – Essai Franklin. Association Française de Normalisation, Paris, 2002
- ISRM Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests. Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength on rock materials and the point load strength index. ISRM, Lisbon, 1985
- SN 670'902-3a (EN 933-3) VSS: Test for geometrical properties of aggregates – part 3: Determination of particle shape – Flakiness Index. European Committee for Standardization, 2012
- SN 670'903-2a (EN 1097-2) VSS: Test for mechanical and physical properties of aggregates – part 2: Methods for the determination of the resistance to fragmentation (LA-Index). European Committee for Standardization, 2020
- SN 670102b-NA (EN 12620) VSS: Gesteinskörnungen für Beton, 2008

Anna Hundhausen, MSc, Neustark AG, Bern, CH

Carbonatisierter Abbruchbeton im Tunnelbau

Abbruchbeton ist der mengenmässig grösste Abfallstrom der Welt [1]. Neustark hat eine Lösung entwickelt und ausgerollt, die CO₂ in mineralischen calciumoxidhaltigen Nebenproduktströmen mineralisiert. So wird das CO₂ dauerhaft gespeichert und der Atmosphäre entzogen. Neustark ist mit dieser Technologie eines der führenden Carbon Dioxide Removal (CDR) Scaleups.

1 Einleitung

Zur Begrenzung der globalen Erwärmung auf 1.5 °C müssen laut dem Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Netto-Null-Emissionen bis 2050 erreicht werden. Neben beträchtlichen Emissionsreduktionen wird dieses Ziel nur durch den weltweiten Einsatz von Lösungen zur CO₂-Entfernung möglich sein – und zwar im Umfang von Milliarden Tonnen [2]. Mit seiner Lösung zur dauerhaften Speicherung von CO₂ aus der Luft in mineralischen Nebenprodukt- und Abfallströmen ist Neustark ein führender Anbieter in diesem schnell wachsenden Markt.

Neustarks kommerzielle Lösungen werden in der Schweiz und in Europa eingesetzt und speichern täglich CO₂ aus der Atmosphäre. Mit einer Grossanlage in Berlin-Marzahn hat Neustark zusammen mit seinen Partnern im letzten Jahr 14 solcher Anlagen in der Schweiz und Deutschland in Betrieb genommen. Diese haben eine kumulative CO₂-Speicherkapazität von rund 5000 Tonnen pro Jahr. Das Unternehmen arbeitet aktuell daran, seine Aktivitäten global auszurollen, um die Speicherleistung erheblich zu steigern. Bis 2030 soll eine Million Tonnen CO₂ pro Jahr dauerhaft aus der Atmosphäre entfernt und gespeichert werden.

Die 2019 gegründete Neustark AG ist ein Spin-off der ETH Zürich, hat ihren Sitz in Bern, Schweiz, und umfasst ein Team von rund 55 Personen (Stand: 1. Quartal 2024).

2 Der Mineralisierungsprozess

Die Kohlendioxidmineralisierung ist ein Prozess, bei dem CO₂ mit Freikalk und anderen reaktiven Metalloxiden reagiert und Carbonatminerale bildet. Vorwiegend reagiert Calciumoxid zu Calciumcarbonat.

Abbruchbeton-Gesteinskörnungen enthalten Zementhydratphasen. Diese befinden sich in Kontakt mit dem Porenwasser in einem fest-flüssigen Gleichgewicht. Ein Teil des hydratisierten Zements (**Bild 1 vor Behandlung**) ist im Wasser gelöst und liegt als ionische Spezies vor. Wenn das Wasser CO₂ absorbiert, ändern sich mit seiner neuen Zusammensetzung die chemischen Gleichgewichte so, dass die Ausfällung von Calciumcarbonat (CaCO₃; **Bild 1 nach Behandlung**) begünstigt wird.

Das CO₂ und der hydratisierte Zement gehen eine chemische Reaktion ein und bilden Kalkstein, der sich an das Betongranulat bindet. Während dieser Carbonatisierungsprozess auch in der Natur stattfindet, wird er durch die Neustark-Technologie um ein Tausendfaches beschleunigt. Dies ist durch die hohe CO₂-Konzentration in den Reaktionssilos (> 98 % anstatt der 0.04 % in der Umgebungsluft) bedingt.

Abbruchbeton kann durchschnittlich 10 kg CO₂ pro Tonne dauerhaft speichern, bei Schlacken und Aschen ist das Aufnahmepotenzial deutlich höher. Innert der ersten zwei Stunden erreicht das Abbruchmaterial typischerweise rund 80 % seiner CO₂-Aufnahmekapazität (**Bild 2**). Besonders feinkörniges Material hat eine grössere Aufnahmekapazität, weil es dem CO₂ eine grössere Reaktionsoberfläche bietet. Ausserdem wird durch die Mineralisierung pro Kilogramm CO₂ so viel Wärme freigesetzt, dass sich die Temperatur von 1000 kg Betonaggregat um etwa 2.5 °C erhöht.

CaCO₃ gilt als eine der dauerhaftesten Arten, um Kohlenstoff zu binden, mit einer Speicherdauer in der Grössenordnung von Jahrtausenden. Lediglich Temperaturen von über 600 °C oder sehr starke Säuren können das gebundene CO₂ wieder freisetzen [3, 4]. Damit ist sichergestellt, dass das CO₂ im Beton gespeichert bleibt, auch wenn dieser nach der Wiederverwendung erneut abgerissen wird. In der Bewertung von CO₂-Speichertechnologien spielt die Permanenz eine wichtige Rolle.

Béton de démolition minéralisé au service des constructeurs de tunnel

Le CO₂ provient de sources biogènes, telles que les usines de biogaz. Il est ensuite liquéfié afin de favoriser son acheminement vers des sites de stockage. Puis il est injecté dans des produits minéraux et des déchets (ex. : béton démolé, scories et cendres). Ces matériaux minéralisés sont ensuite recyclés ou détruits.

L'industrie du creusement de tunnels a ainsi l'opportunité de recycler le béton démolé issu des travaux de rénovation des tunnels, l'enrichir en CO₂ et exploiter ledit béton recyclé pour ses infrastructures.

Utilizzo di calcestruzzo riciclato e carbonizzato

Per la costruzione e il risanamento di gallerie si presentano occasioni per l'impiego del calcestruzzo riciclato, ossia ricavato da demolizioni, e trattato con CO₂.

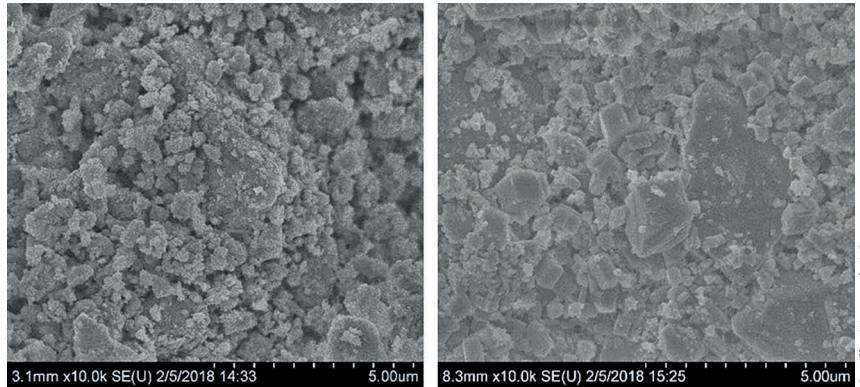
Nello specifico, la CO₂ viene recuperata da fonti biogeniche, come impianti di biometano che di solito la liberano nell'atmosfera, e liquefatta per un efficiente trasporto. Viene poi immessa nel calcestruzzo di recupero tritato e preparato per la lavorazione tramite un impianto di Neustark, ad esempio nelle gallerie.

3 Wertschöpfungskette

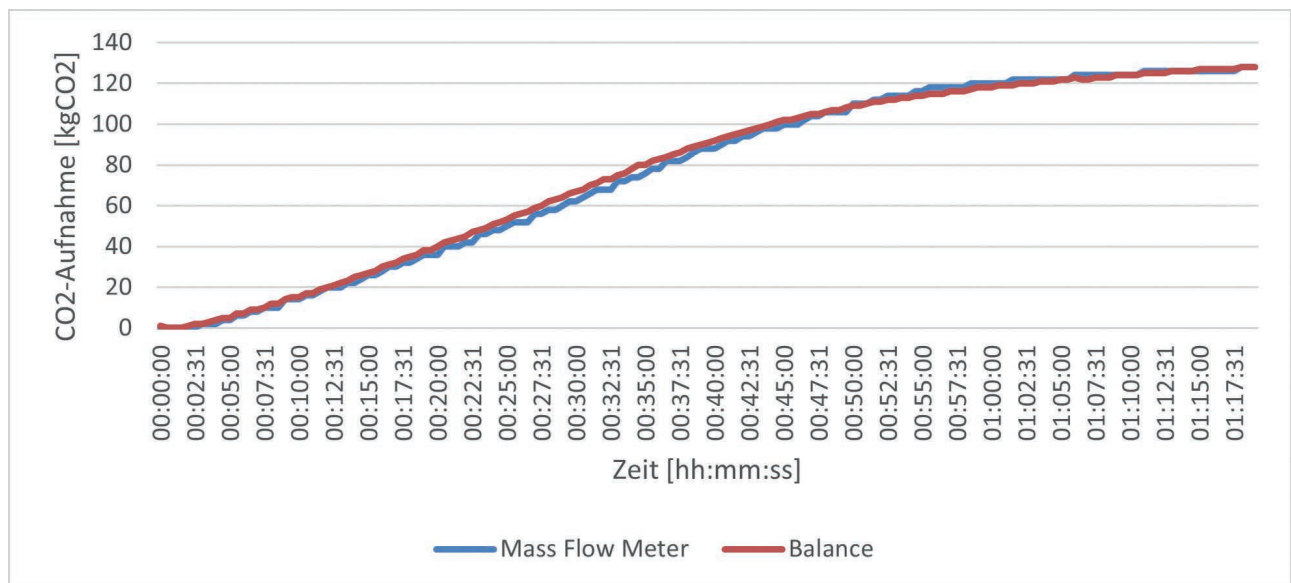
Die gesamte Wertschöpfungskette von Neustark ist in Bild 3 zusammengefasst.

3.1 CO₂-Abscheidung an Biogas-Punktquellen

Für die Speicherung in mineralischen Abfallströmen wird vor allem biogenes CO₂ bezogen. Biogene CO₂-Emissionen stammen aus der Verarbeitung von organischen Materialien wie Pflanzen und Bäumen (z. B. durch Verbrennung oder Fermentation). Bei der Verbrennung von Biomasse wird CO₂ freigesetzt, der Teil des biogenen Kohlenstoffkreislaufs ist. Dies steht im Gegensatz zur Verbrennung fossiler Brennstoffe, bei der CO₂ freigesetzt wird, der seit Millionen von Jahren im Boden eingeschlossen ist. Mit anderen Worten: Bei der Verbrennung von Biomasse wird das CO₂, das während des Wachstums der Pflanzen aufgenommen wurde, einfach wieder in die Atmosphäre abgegeben. Der Prozess ist in sich CO₂-neutral.



1 Elektronenmikroskopaufnahme von Abbruchbetongranulat vor der Carbonatisierung (hydratisierte Zementphasen) und nach der Carbonatisierung (Kalkstein, CaCO₃)



2 CO₂-Aufnahme von Abbruchbetonaggregat während der Carbonatisierung über Zeit

Carbonatisierter Abbruchbeton im Tunnelbau

Der CO₂-Gehalt in der Atmosphäre beträgt etwa 0.04 %. Das Herausfiltern von CO₂, zum Beispiel durch die direkte Abscheidung aus der Luft (Direct Air Capture, DAC), ist ein komplexer und kostenintensiver Prozess. Dahingegen ist die Abscheidung von CO₂ bei der Umwandlung von Biogas in Biomethan viel effektiver und einfacher.

Aus diesem Grund arbeitet Neustark mit Biomethananlagen zusammen, um deren CO₂ direkt vor Ort abzuscheiden. Eine solche Abscheidung stört den laufenden Betrieb der Anlagen nicht. Im Gegenteil: Sie schafft einen Mehrwert, indem sie die Möglichkeit bietet, das CO₂, welches eigentlich als Nebenprodukt anfällt, weiter zu verwerten.

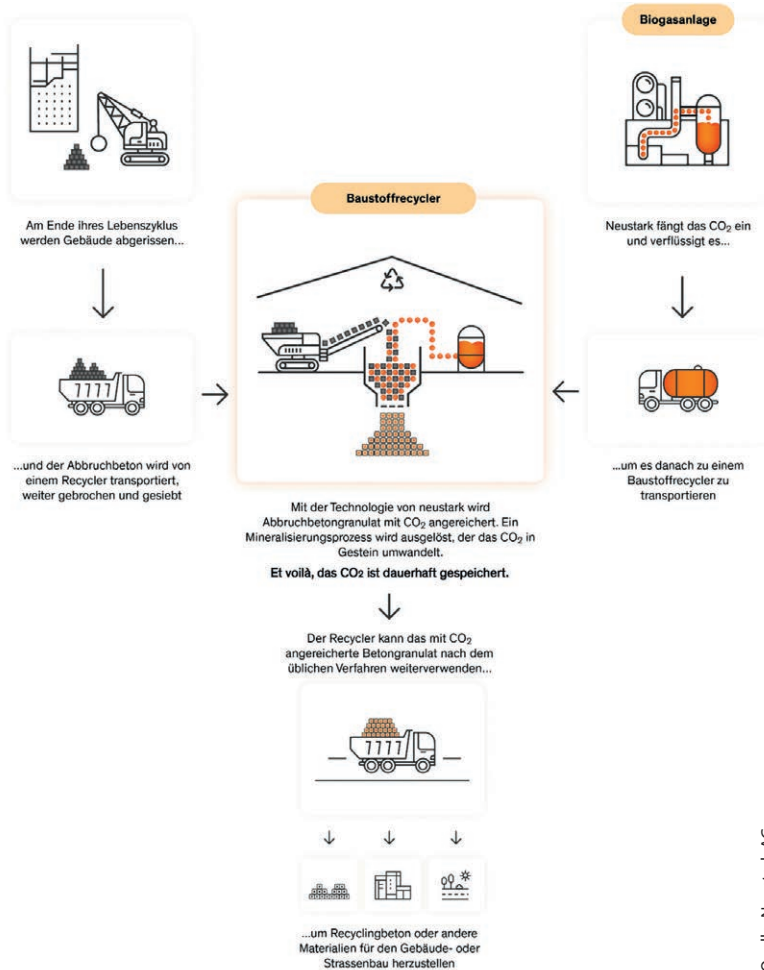
Um es transportfähig zu machen, wird das CO₂ kompaktiert. In einem ersten Schritt wird das CO₂ hierzu runtergekühlt und verdichtet, um es dann flüssig in Tanklastern zu den Speicheranlagen zu bringen. Dort wird das CO₂ mittels Verdampfer wieder in einen gasförmigen Zustand gebracht, in einem Reaktor mit dem mineralischen Stoffstrom zusammengebracht und dort durch die Speicherung permanent von der Atmosphäre entfernt. So werden gemeinsam entscheidende Negativemissionen geschaffen.

3.2 CO₂-Speicherung auf Baustoffrecyclingplätzen

Baustoffrecycler tragen Abbruchbeton und andere mineralische Abfälle zusammen, zerkleinern und sieben das Material in ihren Anlagen, um es für die weitere Verwendung vorzubereiten. In der Speicheranlage wird der mineralische Stoffstrom mit dem an der Biogasanlage abgefangenen CO₂ begast, bevor das Material weiterverwendet oder entsorgt wird.

All dies geschieht entlang des bestehenden Prozesses des Aufbereiteters, ohne den Betrieb der Anlage zu beeinträchtigen. Die Speicheranlage wird vor Ort in der Recyclinganlage aufgebaut und der Aufbereitungsprozess um einen Arbeitsschritt ergänzt.

Das mit CO₂ versetzte Granulat kann danach wie üblich weiterverwendet werden, zum Beispiel für den Bau von Strassen oder anderen Infrastrukturen oder zur Herstellung von frischem Recyclingbeton. Er steht dem herkömmlichen Beton in puncto Qualität in nichts nach.



3.3 Verkauf von CDR-Zertifikaten auf dem freiwilligen Markt

Ein letzter und wichtiger Schritt am Ende der Wertschöpfungskette: Durch die geleistete Speicherleistung werden Klimazertifikate generiert, die Neustark an Unternehmen mit ehrgeizigen Klimazielen verkauft. So können Unternehmen, ergänzend zu ihren eigenen Reduktionsmassnahmen, schwer vermeidbare Emissionen kompensieren und somit ihre Netto-Null-Ziele erreichen.

4 Ökobilanz (Life Cycle Assessment)

Bei der Lebenszyklusanalyse werden die Verluste (Leckagen und Verluste beim Umschlag) sowie Grauemissionen (Stromverbrauch für die Verflüssigung, Kraftstoffe für den Transport etc.) als CO₂-Äquivalent von den gespeicherten Mengen abgezogen, um lediglich die netto gespeicherten CO₂-Mengen als CDR-Zertifikate auszuweisen.

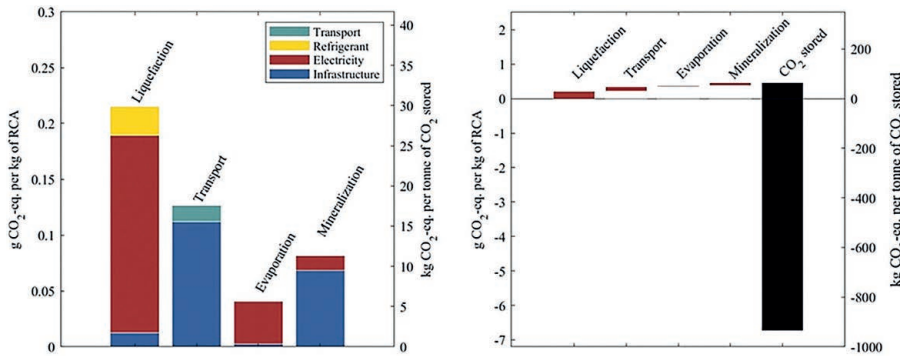
Dabei wird der CO₂-Fussabdruck des Landes betrachtet, in dem die CO₂-Quelle liegt, welcher stark vom Strommix abhängt. Neben den offensichtlichen Kostenoptimierungen zahlt sich ein kurzer Transportweg zwischen CO₂-Quelle und Speicheranlage auch in der zu verkaufenden Menge der CDR-Zertifikate aus.

Quelle: Neustark AG

3 Wertschöpfungskette Neustark

Carbonatisierter Abbruchbeton im Tunnelbau

Die CO₂-Entfernungstechnologie von Neustark erreicht in der Lebenszyklusanalyse für die Schweiz eine Effizienz von 94 % [5]. Das heisst, dass bei der Speicherung von 1000 Tonnen CO₂ rund 64 Tonnen Prozessemissionen anfallen (Bild 4).



Quelle: Technological Demonstration and Life Cycle Assessment of a Negative Emission Value Chain in the Swiss Concrete Sector (2021)

5 Anwendung der Neustark-Technologie im Tunnelbau

Für den Tunnelbau ergeben sich verschiedene Möglichkeiten im Materialinput sowie -output.

Materialinput für Neubau- projekte: Nach Einschätzung von der Schweizer Firma Lombardi ist der Einsatz von CO₂-beaufschlagtem Recyclingbeton im Input für Tunnelbauprojekte nach der jetzigen rechtlichen Situation insbesondere als Unterlagsbeton und Füllbeton zulässig.

4 Ökobilanz (LCA): 94 % CO₂ permanent entfernt

Weitere Anwendungen scheinen ebenfalls möglich. Hierzu herrscht jedoch wenig Klarheit, da noch kein Präzedenzfall für die Anwendung im Tunnelbau als Inputmaterial vorliegt. Hierzu siehe Tabelle 1. Weitere mögliche Inputströme für die Tunnelbaustelle stellen Tragschichten oder Frostschutzschichten in der Baustelleninfrastruktur dar.

		Bauteile bzw. Anwendungsbereiche*															
Spritz- bzw. Betonsorten		Auffüllungen, Klüfte und Hohlräume	Sofortsicherung	Ausbruchsicherung	Verkleidung, einschalliger Ausbau	Unterlagsbeton	Füllbeton	Verkleidung Sohle (unbewehrt, nicht im Portalbereich)	Verkleidung Gewölbe (unbewehrt, nicht im Portalbereich)	Zwischendecke	Tübbinge	WELK	Bankette Portalbereich	Bankette innen	Kabelrohrblock	Ortbetonschacht	Verkleidung und Innenausbau unterirdische Zentralen
Spritzbetone gem. SIA 198	SC 1	x															
	SC 2		x														
	SC 3			x													
	SC 4			x													
	SC 5			x													
	SC 6				x												
	SC 7				x												
Spritzbetone gem. SIA 198	NPK 0					x	x										
	NPK A																
	NPK B													x			x
	NPK C							x	x								x
	NPK D														x	x	
Andere							x	x	x	x	x	x					

Quelle: Lombardi AG

Tabelle 1 Anwendungsmöglichkeiten für Recycling-Beton im Tunnelbau

- x unzulässig, weil die geforderten Expositions- bzw. Druckfestigkeitsklassen nicht erreicht werden können
- x theoretisch möglich. Weitere Abklärungen erforderlich, da in den Normen nicht abschliessend behandelt
- x gem. Merkblatt SIA 2030 nur nach entsprechenden Voruntersuchungen zulässig
- x zulässig

* Die vorliegende Tabelle ist lediglich für RC-C25 (25 M.-% ≤ Betongranulat ≤ 50 M.-%, in Massenprozent, gem. SIA-Merkblatt 2030) gültig. Für andere RC-Betone sind die Anwendungsmöglichkeiten eingeschränkter.

Materialoutput von Abbruch-/Sanierungsprojekten: Bei Tunnelsanierungen oder auch im initialen Bauprozess fallen nennenswerte Mengen an beton- und damit zementhaltigen mineralischen Nebenproduktströmen an, welche sich alle zur Carbonatisierung eignen. Dieses Material lässt sich sowohl an der Baustelle vor Ort sowie beim Baustoffrecycler mit CO₂ beaufschlagen.

6 Fazit

Für die Erreichung von Netto-Null-Emissionen bis 2050 sind Technologien zur CO₂-Entfernung unabdingbar. Der Mineralisierungsprozess von Neustark ist eine dieser Technologien und bietet auch im Tunnelbau vielfach Ansatzpunkte, sowohl im Materialinput als auch für die Nutzung und Aufwertung von Abfallströmen.

Im Markt steht momentan allgemein ein hohes Interesse an Ansätzen zur Senkung der CO₂-Emissionen einer geringen Auswahl an marktreifen technischen Lösungen gegenüber. Eine steigende Nachfrage an carbonatisiertem RC-Material ist im Sinne des Strebens nach Kreislaufwirtschaft und Emissionsminderung zu erwarten.

Referenzen

- [1] Miller, N., (2021) The industry creating a third of the world's waste, BBC Future, <https://www.bbc.com/future/article/20211215-the-buildings-made-from-rubbish> (accessed March 28, 2024)
- [2] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2019) Negative Emissions Technologies and Reliable Sequestration: A Research Agenda, <https://nap.nationalacademies.org/catalog/25259/negative-emissions-technologies-and-reliable-sequestration-a-research-agenda> (accessed March 28, 2024)
- [3] Villain, G., Thiery, M. and Platret, G. (2007), Measurement methods of carbonation profiles in concrete: Thermogravimetry, chemical analysis and gammadensimetry (<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2007.04.015>)
- [4] Teir, S., Eloneva, S., Fogelholm, C. J. and Zevenhoven, R. (2006), Stability of calcium carbonate and magnesium carbonate in rainwater and nitric acid solutions (<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2006.03.021>)
- [5] Tiefenthaler, J. et al. (2021), Technological Demonstration and Life Cycle Assessment of a Negative Emission Value Chain in the Swiss Concrete Sector (<https://doi.org/10.3389/fclim.2021.729259>)

Anna Hundhausen, MSc, Neustark AG, Bern, CH

Carbonated demolition concrete in tunnelling

Demolition concrete is the largest waste material stream in the world in terms of volume [1]. Having developed a solution to permanently store CO₂ from the air in recycled mineral waste streams, Neustark, based in Bern, is a leading provider in the rapidly growing field of carbon dioxide removal (CDR).

1 Introduction

According to the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), net zero emissions must be achieved by 2050 in order to limit the rise in global temperatures to 1.5 °C. In addition to considerable emission reductions, this goal will only be possible through the global use of CO₂ removal solutions – to the tune of billions of tonnes [2]. Neustark is a leading supplier in this fast-growing market – with its solutions to permanently store CO₂ from the air in mineral by-product and waste streams.

Neustark's commercial solutions are used in Switzerland and Europe and store CO₂ from the atmosphere on a daily basis. With a large-scale plant in Berlin-Marzahn, Neustark and its partners commissioned 14 such plants in Switzerland and Germany last year. These plants have a cumulative CO₂ storage capacity of around 5,000 tonnes per year. The company is currently working on rolling out its activities globally in order to significantly increase storage performance. By 2030, one million tonnes of CO₂ per year will be permanently removed from the atmosphere and stored.

Founded in 2019, Neustark AG is a spin-off of ETH Zurich, is based in Bern, Switzerland, and comprises a team of around 55 people (as of the first quarter of 2024).

2 The mineralisation process

Carbon dioxide mineralisation is a process in which CO₂ reacts with freed lime and other reactive metal oxides to form carbonate minerals. Calcium oxide mainly reacts to form calcium carbonate.

Demolition concrete aggregates contain cement hydrate phases. These come into contact with the pore water in a solid-liquid equilibrium. Part of the hydrated cement (**Fig. 1 before treatment**) is dissolved in water and is present as an ionic species. When the water absorbs CO₂, its new composition changes the chemical equilibrium in such a way that the precipitation of calcium carbonate (CaCO₃; **Fig. 1 after treatment**) is favoured.

The CO₂ and the hydrated cement undergo a chemical reaction and form limestone, which binds to the concrete granulate. While this carbonation process also takes place in nature, Neustark technology accelerates it a thousand-fold. This is due to the high CO₂ concentration in the reaction silos (> 98% instead of the 0.04% in the ambient air).

Demolition concrete can permanently store an average of 10 kg of CO₂ per tonne, while the absorption potential of slag and ash is significantly higher. Within the first two hours of storage, the demolition material typically reaches around 80% of its CO₂ absorption capacity (**Fig. 2**). Particularly fine-grained material has a greater absorption capacity because it offers the CO₂ a larger reaction surface. In addition, mineralisation releases so much heat per kilogram of CO₂ that the temperature of 1,000 kg of concrete aggregate increases by around 2.5 °C.

CaCO₃ is considered to be one of the most durable ways of binding carbon, with a storage period of thousands of years. Only temperatures above 600 °C or very strong acids can release the bound CO₂ once again [3, 4]. This ensures that the CO₂ remains stored in the concrete, even if it is demolished again after reuse. Permanence plays an important role in assessing CO₂ storage technologies.

3 Value chain

Neustark's entire value chain is summarised in **Figure 3**.

Béton de démolition minéralisé au service des constructeurs de tunnel

Le CO₂ provient de sources biogènes, telles que les usines de biogaz. Il est ensuite liquéfié afin de favoriser son acheminement vers des sites de stockage. Puis il est injecté dans des produits minéraux et des déchets (ex. : béton démolé, scories et cendres). Ces matériaux minéralisés sont ensuite recyclés ou détruits.

L'industrie du creusement de tunnels a ainsi l'opportunité de recycler le béton démolé issu des travaux de rénovation des tunnels, l'enrichir en CO₂ et exploiter ledit béton recyclé pour ses infrastructures.

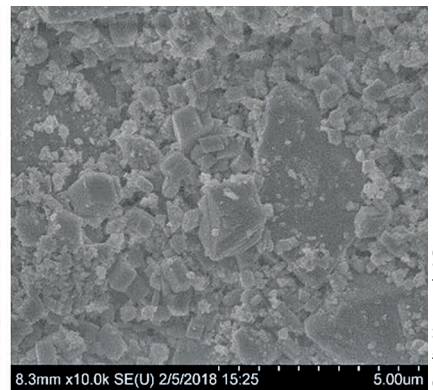
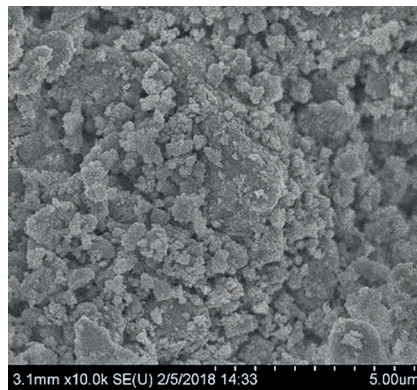
Utilizzo di calcestruzzo riciclato e carbonizzato

Per la costruzione e il risanamento di gallerie si presentano occasioni per l'impiego del calcestruzzo riciclato, ossia ricavato da demolizioni, e trattato con CO₂.

Nello specifico, la CO₂ viene recuperata da fonti biogeniche, come impianti di biometano che di solito la liberano nell'atmosfera, e liquefatta per un efficiente trasporto. Viene poi immessa nel calcestruzzo di recupero tritato e preparato per la lavorazione tramite un impianto di Neustark, ad esempio nelle gallerie.

3.1 CO₂ capture at biogas source points

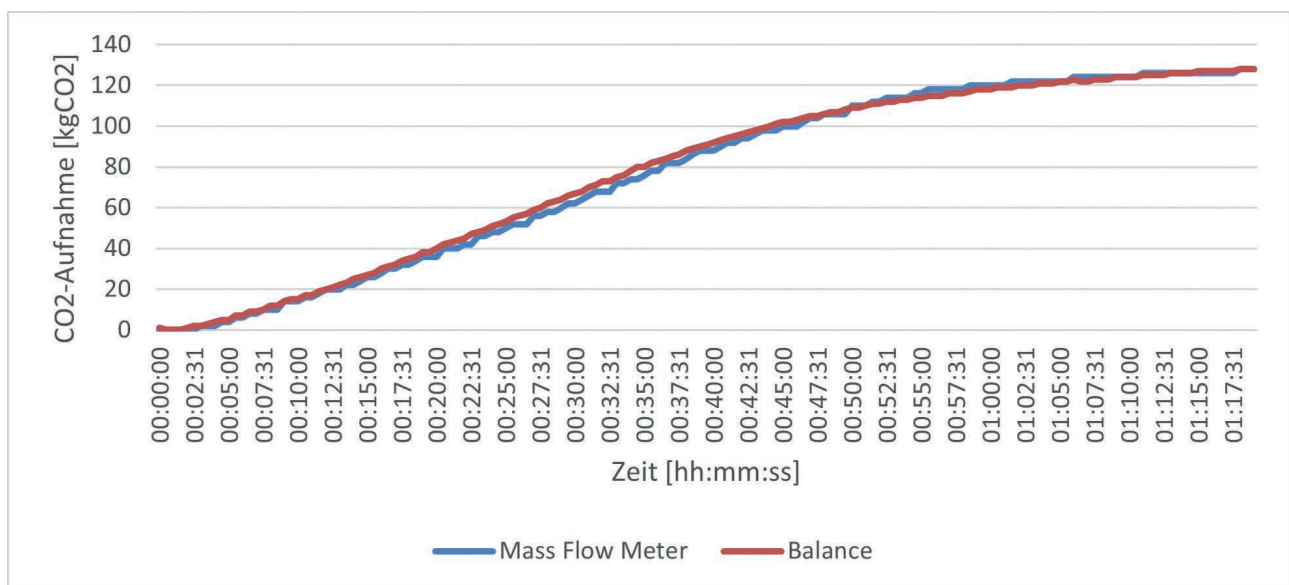
Biogenic CO₂ is primarily used for storage in mineral waste streams. Biogenic CO₂ emissions come from processing organic materials such as plants and trees (e.g., through incineration or fermentation). Burning biomass releases CO₂, which is part of the biogenic carbon cycle. This is in contrast to burning fossil fuels, which releases CO₂ that has been trapped in the ground for millions of years. In other words: When biomass is burned, the CO₂ that was absorbed during plants' growth is simply released back into the atmosphere. The process is CO₂-neutral in itself.



1 Electron microscope image of demolition concrete granulate before carbonation (hydrated cement phases) and after carbonation (limestone, CaCO₃)

Credit: Neustark AG

The CO₂ content in the atmosphere is around 0.04%. Filtering out CO₂, for example through direct air capture (DAC), is a complex and cost-intensive process. In contrast, the capture of CO₂ during the conversion of biogas into biomethane is much simpler and more effective.



Credit: Neustark AG

2 CO₂ absorption of demolition concrete aggregate during carbonation over time

Carbonated demolition concrete in tunnelling

For this reason, Neustark works together with biomethane plants to capture their CO₂ directly on site. This type of separation does not interfere with the ongoing operation of the systems. On the contrary, it creates added value by offering the possibility of further utilising the CO₂ that is actually produced as a by-product.

The CO₂ is compacted to make it transportable. The first step is to cool down and compress the CO₂ so that it can then be transported in liquid form in tankers to the storage facilities. Here, the CO₂ is converted back into a gaseous state by means of a vaporiser, brought together with the mineral material flow in a reactor and permanently removed from the atmosphere through storage. This is how decisive negative emissions are created together.

3.2 CO₂ storage on building material recycling sites

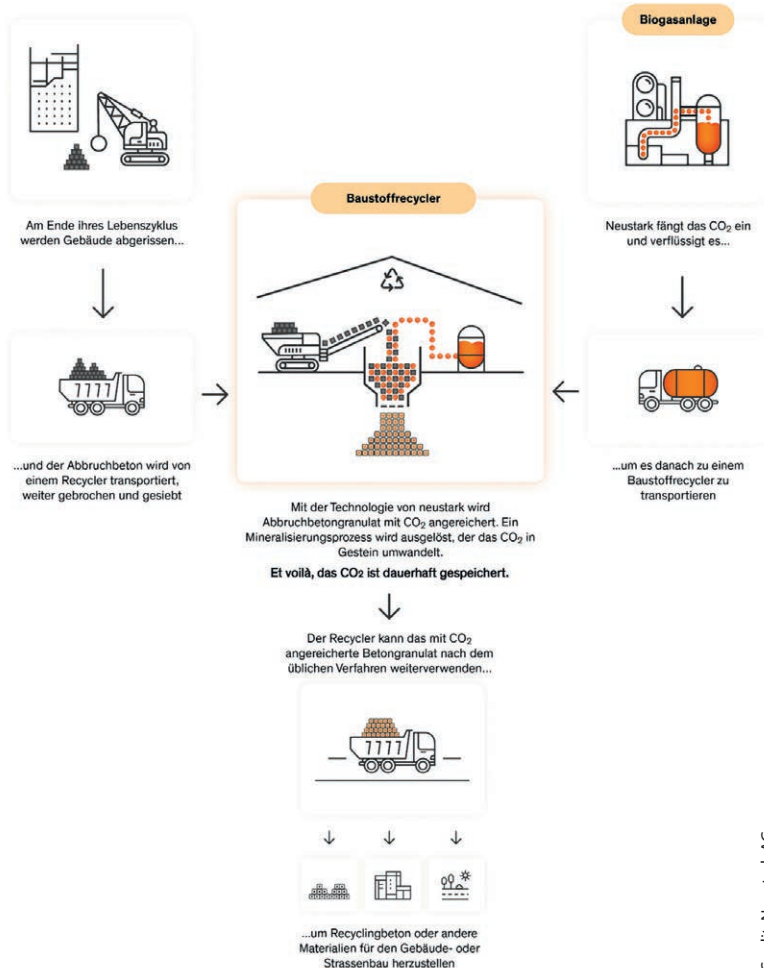
Construction material recyclers collect demolition concrete and other mineral waste and crush and sieve the material in their plants in order to prepare it for further use. In the storage facility, the mineral material flow is gasified with the CO₂ captured at the biogas plant before the material is reused or disposed of.

All of this takes place alongside the existing process of the recycler without affecting the operation of the plant. The storage system is set up on site at the recycling plant and the treatment process is supplemented by a work process.

The granulate mixed with CO₂ can then be reused normally, for example, for the construction of roads or other infrastructure or for the production of fresh, recycled concrete. It is in no way inferior to conventional concrete in terms of quality.

3.3 Sale of CDR certificates on the voluntary market

There is one final and important step at the end of the value chain: The storage services provided generate climate certificates that Neustark sells to companies with ambitious climate targets. In addition to their own reduction measures, companies can offset emissions that are difficult to avoid and thus achieve their net zero targets.



3 Neustark value chain

4 Life Cycle Assessment

In a life cycle analysis, losses (leakages and losses during handling) and grey emissions (electricity consumption for liquefaction, fuels for transport, etc.) are deducted as CO₂ equivalents from the stored quantities in order to only show the net stored CO₂ quantities as CDR certificates.

The CO₂ footprint of the country in which the CO₂ source is located is considered, which is heavily dependent on the electricity mix. In addition to the clear cost optimisation, a short transport route between the CO₂ source and the storage facility also pays off in the quantity of CDR certificates that can be sold.

Neustark's CO₂ removal technology achieves an efficiency of 94% in the life cycle analysis for Switzerland [5]. This means that storing 1,000 tonnes of CO₂ produces around 64 tonnes of process emissions (Fig. 4).

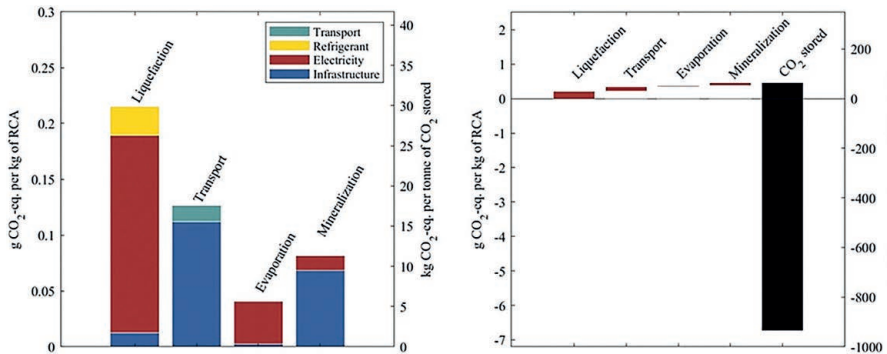
5 Applying Neustark technology in tunnelling

There are various possibilities for tunnelling in terms of material input and output.

Credit: Neustark AG

Carbonated demolition concrete in tunnelling

Material input for new construction projects: According to the Swiss company Lombardi, the use of CO₂-loaded recycled concrete in the input for tunnel construction projects is permitted under the current legal situation, particularly as a base concrete and filler concrete. Other applications also seem possible. However, there is little clarity on this issue, as there is still no precedent



Credit: Technological Demonstration and Life Cycle Assessment of a Negative Emission Value Chain in the Swiss Concrete Sector (2021)

for its use as an input material in tunnelling. See Table 1 for more info.

Other possible input streams for tunnelling sites are base layers or frost protection layers within the construction site infrastructure.

Material output from demolition/renovation projects:

During tunnel refurbishment or in the initial construction processes, significant quantities of concrete and therefore cement-containing mineral by-product streams are produced, all of which are suitable for carbonation. This material can be treated with CO₂ both on site and at the building materials recycler.

4 Life Cycle Assessment: 94% CO₂ permanently removed

During tunnel refurbishment or in the initial construction processes, significant quantities of concrete and therefore cement-containing mineral by-product streams are produced, all of which are suitable for carbonation. This material can be treated with CO₂ both on site and at the building materials recycler.

		Components or areas of application*															
Sprayed concrete and other concrete types		Backfills, fissures and cavities	Immediate support	Excavation support	Lining, single-shell finish	Base concrete	Filling concrete	Base lining (unreinforced, not in the portal area)	Vault lining (unreinforced, not in the portal area)	Suspended ceiling	Segments	Utility duct	Hard shoulder portal area	Inner hard shoulder	Cable conduit block	In-situ concrete shaft	Lining and interior fittings for underground control centres
Sprayed concrete according to SIA 198	SC 1	x															
	SC 2		x														
	SC 3			x													
	SC 4			x													
	SC 5			x													
	SC 6				x												
	SC 7				x												
In-situ concrete according to SN EN 206	NPK 0					x	x										
	NPK A																
	NPK B													x			x
	NPK C							x	x								x
	NPK D														x	x	
Other							x	x	x	x	x	x					

Credit: Lombardi AG

Table 1 Possible applications for recycled concrete in tunnelling

- Inadmissible because the required exposure or compressive strength classes cannot be achieved
- Theoretically possible. Further clarification required, as not conclusively dealt with in the standards
- According to SIA 2030, only permitted after appropriate preliminary investigations
- Admissible

* This table is only valid for RC-C25 (25 wt.-% ≤ 50 wt.-%, in mass per cent, according to SIA data sheet 2030). The application possibilities for other RC concretes are more limited.

6 Conclusion

CO₂ removal technologies are essential for achieving net zero emissions by 2050. Neustark's mineralisation process is one of these technologies and also offers many starting points in tunnelling, both in terms of material input and for the use and recycling of waste streams.

In the market, there is currently a generally high level of interest in approaches to reducing CO₂ emissions in contrast to a small selection of market-ready technical solutions. An increasing demand for carbonated recycling (RC) material is to be expected in the interests of the circular economy and emission reduction.

References

- [1] Miller, N., (2021) The industry creating a third of the world's waste, BBC Future, <https://www.bbc.com/future/article/20211215-the-buildings-made-from-rubbish> (accessed March 28, 2024)
- [2] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2019) Negative Emissions Technologies and Reliable Sequestration: A Research Agenda, <https://nap.nationalacademies.org/catalog/25259/negative-emissions-technologies-and-reliable-sequestration-a-research-agenda> (accessed March 28, 2024)
- [3] Villain, G., Thiery, M. and Platret, G. (2007), Measurement methods of carbonation profiles in concrete: Thermogravimetry, chemical analysis and gammadensimetry (<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2007.04.015>)
- [4] Teir, S., Eloneva, S., Fogelholm, C. J. and Zevenhoven, R. (2006), Stability of calcium carbonate and magnesium carbonate in rainwater and nitric acid solutions (<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2006.03.021>)
- [5] Tiefenthaler, J. et al. (2021), Technological Demonstration and Life Cycle Assessment of a Negative Emission Value Chain in the Swiss Concrete Sector (<https://doi.org/10.3389/fclim.2021.729259>)

Simone Stürwald, Prof. Dipl.-Ing. (TU), OST-Ostschweizer Fachhochschule, Rapperswil, CH

Zukunftsfähige Tiefbaulösungen

Nachhaltigkeit durch den Einsatz von Beton mit Recyclingmaterialien in Infrastrukturprojekten

Nachhaltigkeit im Tunnelbau ist von entscheidender Bedeutung für die langfristige ökonomische, soziale und ökologische Entwicklung. Grundlage sind die Schweizer Klimastrategie und die darauf aufbauenden Gesetze und Normen. Für Tunnel sind die Vorstudien entscheidend für ein nachhaltiges Gesamtkonzept. Erst danach wird die Baustoffwahl oder Betonoptimierung relevant.

1 Nachhaltigkeit und Klimaziele

Nachhaltige Entwicklung bedeutet, wirtschaftlich, gesellschaftlich und ökologisch eine langfristig bestmögliche Lösung zu erarbeiten. Das ist selten so elementar und wichtig wie im Tunnelbau, da Projekte enorme wirtschaftliche, gesellschaftliche und ökologische Folgen haben. Der grösste Einfluss auf alle Faktoren ist in den frühen konzeptionellen Projektphasen 1 bis 3 gemäß SIA 112.

Betrachtet man im Bauwesen die ökologische Nachhaltigkeit, so kann diese als Umweltauswirkung je Funktionseinheit und Lebensdauer formuliert werden.

$$\text{Ökologische Nachhaltigkeit} = \frac{\text{Summe der Umweltauswirkungen}}{\text{Funktionseinheit} \times \text{Lebensdauer}}$$

Die Funktionseinheit kann dabei beispielsweise ein Meter Strassentunnel mit zwei Fahrspuren sein. Alternativ kann man auch den Tunnel global als eine Einheit betrachten. Der Lebensdauer wird bei dieser Betrachtung eine besondere Bedeutung beigemessen. Als Bezugsgrösse können die in der Norm geforderten Lebensdauern von 80 bis 100 Jahren herangezogen werden.

1.1 Nachhaltige öffentliche Beschaffung in der Schweiz

Die Schweiz hat in ihrer langfristigen Klimastrategie 2021 verabschiedet, dass bis 2050 unter dem Strich keine Treibhausgase mehr ausgestossen werden sollen, und legt im revidierten CO₂-Gesetz eine Reduktion der Emissionen um 50 % bis 2030 fest.

Darauf und auf die allgemeine Nachhaltigkeitsdefinition baut das revidierte Bundesgesetz für öffentliche Beschaffung (BöB, Januar 2021) auf, das gem. Art.2 „den wirtschaftlichen und den volkswirtschaftlich, ökologisch und sozial nachhaltigen Einsatz der öffentlichen Mittel“ bezweckt und zum Ziel hat, dass das vorteilhafteste Angebot den Zuschlag erhält.

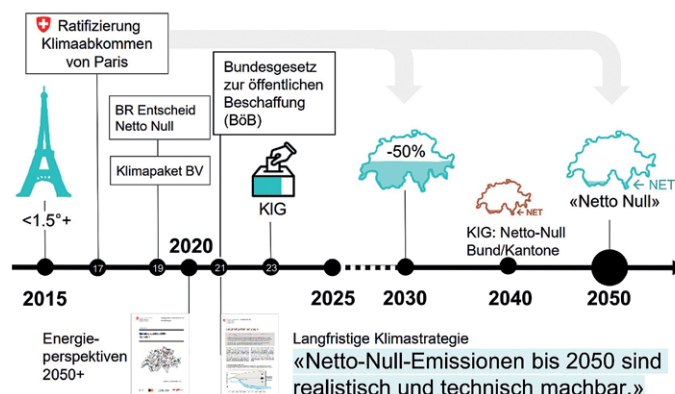
Zusätzlich werden mit der Annahme des Bundesgesetzes über die Ziele im Klimaschutz, die Innovation und die Stärkung der Energiesicherheit (KIG) im Jahr 2023 weitere Massnahmen definiert. Für Bund und Kantone wird Netto-Null schon ab 2040 gefordert. Das Gesetz wird voraussichtlich 2025 in Kraft treten.

Insgesamt sind daher in Zukunft immer stärkere Forderungen nach Nachhaltigkeit von öffentlichen Bauherren zu erwarten.



Quelle: eigene Darstellung

1 Wirtschaftliche, gesellschaftliche und ökologische Nachhaltigkeit



Quelle: Salome Schori, BAFU, Tagung nachhaltige öffentliche Beschaffung 2024; eigene Ergänzungen zum BöB und KIG

2 Nachhaltige öffentliche Beschaffung in der Schweiz

Solutions durables en matière de génie civil

Utiliser le béton et les matériaux recyclés dans les projets d'infrastructures pour parvenir à la durabilité

Les exigences en matière de durabilité pour les nouveaux projets de construction d'infrastructures deviennent plus strictes dans la loi fédérale suisse sur les marchés publics (LMP) et avec la future loi sur le climat et l'innovation. La SIA 112/2 a créé un cadre pour la construction durable dans le domaine du génie civil et de la construction d'infrastructures, dont les objectifs peuvent être intégrés dans les critères d'adjudication des futurs contrats. En conséquence, les décisions globales relatives au projet, telles que l'emplacement, le cubage et la gestion des matériaux, revêtent une importance significative. Les matériaux de construction et la construction elle-même doivent avant tout répondre aux exigences de durabilité écologique et peuvent ensuite être optimisés en conséquence.

Soluzioni sostenibili di ingegneria civile

Sostenibilità attraverso l'uso di calcestruzzo di materiali riciclati nei progetti infrastrutturali

Nella legge federale sugli appalti pubblici (LApub) e con la prossima SNC aumentano le esigenze di sostenibilità nelle nuove infrastrutture. Nel SIA 112/2 è stato elaborato un quadro per l'edilizia sostenibile sotterranea e infrastrutturale, i cui obiettivi possano essere integrati nei criteri di aggiudicazione degli incarichi futuri. Di conseguenza le decisioni progettuali globali come la posizione, la cubatura e la gestione dei materiali hanno un peso determinante. I materiali e la costruzione devono in primo luogo rispettare i requisiti di durabilità ai fini della sostenibilità ecologica e possono quindi essere ottimizzati.

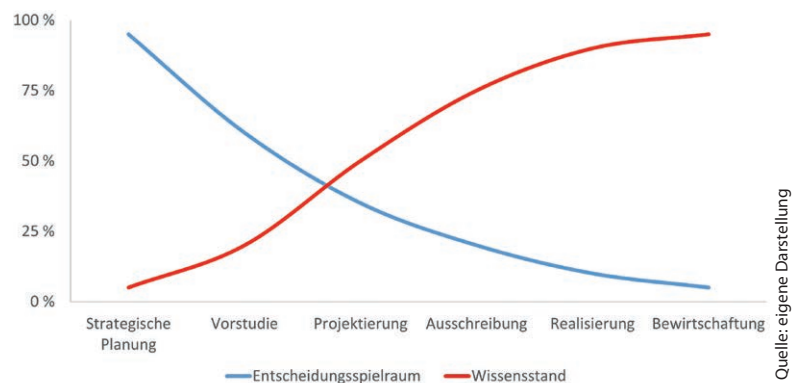
1.2 Nachhaltigkeit im Tief- und Infrastrukturbau nach SIA 112/2 und BöB

Normativ werden Kriterien der Nachhaltigkeit im Tief- und Infrastrukturbau in SIA 112/2 definiert. Darin werden übergeordnete Ziele an die Nachhaltigkeit von Infrastrukturbauten definiert und dann aufgeschlüsselt nach Teilzielen in den Bereichen Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt. Dabei geht es um Aspekte der Raumentwicklung und Siedlungen, Gemeinschaftsinteressen, Sicherheit, betriebswirtschaftliche und volkswirtschaftliche Kosten, Umweltbelastungen, Energie-, Boden- und Ressourcennutzung.

Vor jeder Planung steht eine vertiefte Situationsanalyse, bei der Varianten der Infrastrukturmassnahme nach relevanten Teilzielen des nachhaltigen Bauens bewertet werden. Aus den Zielen können dann in der Beschaffung zusätzliche Leistungen und Bewertungskriterien für die bestehenden Leistungen festgelegt werden. Beispielsweise ist ein Teilziel ein „umwelt- und ressourcenschonender Materialeinsatz“ und dann könnte eine zusätzliche Leistung ein Konzept für die Materialbewirtschaftung sein. Dabei sollte weniger die Massnahme (Konzept Materialbewirtschaftung) und mehr die Wirkung der Massnahme (z. B. tatsächliche Reduktion der Materialmengen) ausschlaggebend sein. Mit Gewichtungen der Zuschlagskriterien kann dann die Einhaltung im Vergabeprozess gesteuert werden.

1.3 Nachhaltigkeit im Tunnelbau

Tunnel sind diejenigen Infrastrukturbauten mit den grössten Auswirkungen auf Raum, Landschaft, Sicherheit, Ressourcenverbrauch und sie verursachen die höchsten Kosten. Zudem sind Tunnel sehr langfristig angelegte Infrastrukturen. Viele der in SIA 112/2 geforderten Aspekte werden im Tunnelbau aufgrund der gesellschaftlichen, wirtschaftlichen und ökologischen Ausmasse seit jeher umgesetzt. Dabei ist die Konzeptphase mit Vorstudien von entscheidender Bedeutung, da Trassenverläufe oder die Wahl des Querschnitts, beeinflusst durch die vorhandenen geologischen Bedingungen, einen erheblichen Einfluss auf die Tunnellänge und den daraus resultierenden Bau-massnahmen haben. Auch der Eingriff in die Landschaft, die globale Ausbruchmenge, die erforderlichen Betonkubaturen und daraus folgend die Gesamtkosten werden mit diesen anfänglichen Entscheidungen bereits festgelegt.



3 Entwicklung von Entscheidungsräumen und Wissensstand über den Projektverlauf

Zukunftsfähige Tiefbaulösungen • Nachhaltigkeit durch den Einsatz von Beton mit Recyclingmaterialien in Infrastrukturprojekten

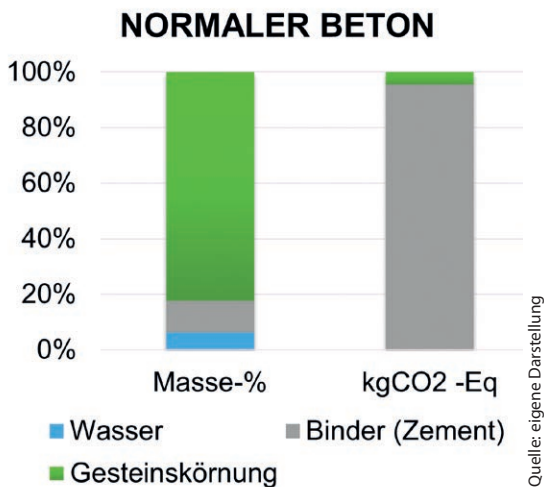
In der Projektierung erfolgt die detailliertere Umsetzung der Teilziele. Hier könnten beispielsweise die Baustoffwahl und die Prüfung geeigneter Varianten im Vordergrund stehen.

2 Nachhaltige Betone im Tunnelbau

Die nachfolgende Nachhaltigkeitsbewertung von Betonen im Tunnelbau wird in diesem Artikel auf die Betrachtung der ökologischen Nachhaltigkeit beschränkt.

2.1 Betone mit reduzierten CO₂-Emissionen

Beton ist für rund 8 % der globalen und auch schweizweiten CO₂-Emissionen verantwortlich. Ursache ist der konventionelle Zement, der im Zementofen mit der Hilfe von Brennstoff auf rund 1500 °C erhitzt wird, damit der Kalkstein (CaCO₃) kalzinieren kann und CaO und CO₂ entsteht. Rund 95 % der CO₂-Emissionen des Betons sind auf den Zement zurückzuführen. Daher kann die Reduktion der CO₂-Emissionen nur über die Zemente gelingen.



Betone mit reduzierten CO₂-Emissionen in der Herstellung werden im Wesentlichen durch 4 Ansätze erreicht:

1. Klinkerarme Kompositzemente und alternative, nachhaltigere Bindemittel
2. Höhere Packungsdichte der Gesteinskörnung
3. Wiederaufnahme von CO₂ durch die Karbonatisierung des Zementsteins
4. Kompensation der CO₂-Emissionen, beispielsweise durch Pflanzenkohle

Optimalerweise kann man die ersten drei Massnahmen kombinieren. Bei der Packungsdichteoptimierung wird die Sieblinie optimiert und Füller hinzugefügt, sodass der Hohlraumgehalt im Beton reduziert wird, weniger Zementleim und damit weniger Zement erforderlich wird. Dabei müssen die Gesteinskörnungen allerdings eine gleichbleibende Sieblinie aufweisen und der Beton mit einer höheren Präzision gemischt werden, da solche Betone schneller instabil werden. Tendenziell geht die Reduktion des Klinkeranteils einer Mischung mit einem verminderten Chlorid- und Karbonatisierungswiderstand einher.

4 Massenanteile der Betoninhaltsstoffe und deren CO₂-Emissionen

Da optimierte Mischungen schnell 20 % und mehr an Zement einsparen, sind diese dennoch attraktiv. Normativ wird dies im grösseren Ausmass möglich, wenn mit dem neuen Anhang ND der SN EN 206 die Mindestzementmengen und Wasser-Zement-Werte gekippt werden und zusätzlich die neuen Fassungen der Normen SIA 215/1 (Revision) und SIA 215/2 (neu) die Zulassung neuer Zemente und Zusatzstoffe ermöglichen. An der Fachhochschule OST wird an einem KI-basierten Tool zur Rezepturoptimierung geforscht, das Betonwerke künftig anwenden können.

Die Wiederaufnahme von CO₂ – auch CO₂-Uptake genannt – findet statt, wenn der Kalzinierungsprozess im Zementstein (Klinkeranteil) rückwärts verläuft und daraus wieder neutraler Kalkstein entsteht. Im bewehrten Beton geht damit der Korrosionsschutz verloren und sollte daher unbedingt erst im Recyclingprozess forciert werden. Bei unbewehrtem Beton kann die Karbonatisierung im eingebauten Zustand von Vorteil sein, da sich das Gefüge verdichtet.

Da die CO₂-Menge, die durch Karbonatisierung chemisch aufgenommen werden kann, durch die Klinkermenge im Beton begrenzt wird und Karbonatisierung ein langsamer Prozess an der Oberfläche ist, wird der Klinker nie vollständig karbonatisiert. Natürlich können etwa bis zu 60 % im Recyclingprozess karbonatisieren. Mit weiteren Behandlungen, wie etwa einer CO₂-Behandlung, kann der

Prozess beschleunigt und effektiver werden.

Zement	Menge [kg/m ³]	w/z [-]	Zementsteinvolumen [l/m ³]	CaO im Klinker [kg/m ³]	CO _{2,abs} BG2 [kg/t]	CO _{2,abs} BG3 [kg/t]
CEM I	300	0.55	276	185	5.6	11.3
CEM I	290	0.64	288	179	5.1 (-0.5)	10.4 (-0.9)
CEM I	310	0.49	266	191	6.0 (+0.4)	12.1 (+0.8)
CEM II/A-LL	300	0.55	277	160	4.8 (-0.8)	9.7 (-1.6)
CEM I*	300	0.55	276	185	7.0 (+1.4)	14.1 (+2.8)

* gerechnet mit einer CO₂ Absorption im karbonatisierten Zementstein von 75 anstatt 60%

Quelle: Leemann; Karbonatisierungsgrad Betongranulat; Cemsuisse, 2021 [1]

Die EMPA hat in einer Studie [1] publiziert, dass 5 bis 14 kg CO₂-eq./Tonne Betongranulat unter natürlichen Umständen aufgenommen werden.

Tabelle 1 Werte der CO₂-Absorption bezogen auf die Gesamtemission der Betongranulate

Zukunftsfähige Tiefbaulösungen • Nachhaltigkeit durch den Einsatz von Beton mit Recyclingmaterialien in Infrastrukturprojekten

Weitere Massnahmen wie etwa die Reduktion der Rohstofftransporte oder Optimierungen der Produktion haben unter normalen Voraussetzungen nur einen geringen Einfluss.

2.2 Recyclingbetone

Beton ist zum Massenbaustoff unserer Zeit geworden. Mit einem schweizweiten Ausstoss von rund 15 Mio. Kubikmetern im Jahr gemäss dem Fachverband der Schweizerischen Kies- und Betonindustrie (FSKB) ist Beton der meistverbaute Baustoff. Gleichzeitig fallen in der Schweiz rund 5 Mio. Tonnen Betonabbruchmaterial an, was den grössten Massenstrom der Bauabfälle darstellt. Betongranulate und Mischgranulate fallen insbesondere in den dichter besiedelten Regionen der Schweiz an. Insgesamt werden rund 85 bis 90 % wieder in den Kreislauf zurückgebracht.

Recyclingbetone können aus Betongranulat (reinem Betonabbruch) oder Mischgranulat (mit Ziegelanteilen) hergestellt sein. Da die Körner und insbesondere der anhaftende Zementstein weicher und poröser sind als primäre Gesteinskörnung, haben sie eine 2- bis 7-fache Wasserabsorption. Daher hat Recyclingbeton einen höheren Wasseranspruch, was in der Regel eine höhere Zementleimmenge zur Folge hat. Aus dem Grund haben Betone mit rezyklierten Gesteinskörnungen in der Regel eine leicht geringere Druckfestigkeit, einen geringeren E-Modul, erhöhte Kriech- und Schwindmasse, eine geringere Frostfestigkeit und einen reduzierten Chloridwiderstand. Der Nachweis von AAR-Beständigkeit ist für RC-Beton sehr zeitaufwendig. Folglich ist Recyclingbeton für die Tiefbaubetonarten E, F und G gemäss dem SIA-Merkblatt 2030 nicht zugelassen. Für häufig verwendete Hochbaubetone, Pfahlbetone oder Mager- und Füllbetone mit geringen Dauerhaftigkeitsanforderungen eignet sich Recyclingbeton recht gut.

Recyclingbetone mit Betongranulatanteilen > 25 % haben tendenziell nicht geringere CO₂-Emissionen. Durch eine höhere Zementleimmenge muss mehr Zement zugefügt werden, der wiederum CO₂-Emissionen erhöht. Mit dem CO₂-Uptake des Betongranulates können – je nach Menge – wieder CO₂-Emissionen kompensiert werden. Ein Beispiel: Ein Beton mit 300 kg Zement, der in der Herstellung etwa 210 kg CO₂-eq./m³ Beton emittiert, kann durch einen Betongranulatanteil von 50 % rund 10 kg CO₂-eq./m³ Beton kompensieren [1]. Nach den jetzigen Normen schaffen es einige Hersteller, Recyclingbeton mit der Mindestzementmenge herzustellen und zusätzlich die Karbonatisierung des Betongranulats für sich zu nutzen.

Recyclingbetonklasse	Betonsorte gemäss SN EN 206:2013+A2:2021, Tabellen NA.5 und NA.8									
	0	A	B	C	D	E	F	G	Pfahlbeton P1, P2, P3, P4	
RC-C25	zulässig				1)	unzulässig			zulässig	
RC-C50	zulässig				1)	unzulässig			1)	
RC-M10	zulässig			1)	unzulässig					1)
RC-M40	zulässig	1)			unzulässig					1)

Tabelle 2 Verwendung von Recyclingbeton gemäss SIA-Merkblatt 2030

Quelle: SIA-Merkblatt 2030, 2021

Beton aus Ausbruchmaterial eines Tunnels kann als eine Form des Recyclingbetons aufgefasst werden. Die Eigenschaften sind dabei sehr von der angetroffenen Gesteinskörnung abhängig und können bei gebrochenem Gestein wie bei einem Beton aus Primärmaterial mit gebrochener Gesteinskörnung sein.

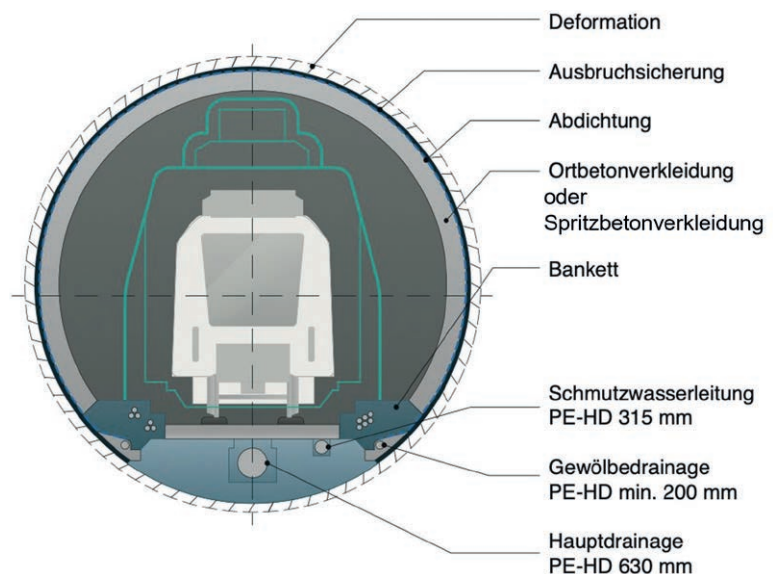
2.3 Nachhaltige Betone im Tunnelbau

Im Tunnelbau wird Beton zu sehr verschiedenen Zwecken eingesetzt. Eine Übersicht gibt die folgende Darstellung.

Je nach Tunnel und Anwendung im Tunnel wirken angreifendes Bergwasser (lösender Angriff und Versinterung, ggf. Sulfat), Karbonatisierung und Chloridangriff (bewehrter Beton), Frost, Brand oder andere Angriffe aus der Nutzung auf den Beton ein.

2.3.1 Spritzbeton

Spritzbeton wird als Spezialbeton vor Ort gemischt und muss bereits viele Anforderungen in der Verarbeitung erfüllen. Es wurde bereits mit Feinmaterial aus dem Aus-



5 Betone im Tunnelquerschnitt

Quelle: BauPraxis – Der Untertagebau, Band 2; Heinz Ehrbar, Olivier Böckli, Christian Ammon

Zukunftsfähige Tiefbaulösungen • Nachhaltigkeit durch den Einsatz von Beton mit Recyclingmaterialien in Infrastrukturprojekten

bruchmaterial gearbeitet. Rezyklierte Betongranulate sind weniger zu empfehlen, da dadurch die Konsistenz und Verarbeitbarkeit ungünstig beeinflusst werden kann.

2.3.2 Ortbeton

Ortbeton kann für sehr unterschiedliche Anwendungen zum Einsatz kommen.

Bewehrte Ortbetonbauteile, insbesondere mit höheren Expositionsclassen und angreifendem Wasser, können bei entsprechender Eignung mit Ausbruchmaterial ausgeführt werden, sind aber weniger für die Verwendung von Betongranulat geeignet. Zemente sollten nach technischer Erfordernis eingesetzt werden, da Einsparungen zulasten der Lebensdauer die Nachhaltigkeit mindern.

Für unbewehrte Betone ohne starke Angriffe können Betone mit Ausbruchmaterial und auch rezyklierte Gesteinskörnungen gut zum Einsatz kommen. Für grosse Tunnelprojekte in den Bergregionen wäre allerdings die regionale Verfügbarkeit von rezyklierten Gesteinskörnungen zu prüfen. Für unbewehrte Füll- und Magerbetone sollte auch der Zementgehalt auf Optimierungspotenzial oder alternatives Füllmaterial geprüft werden.

2.3.3 Fertigteile

Fertigteile für den Tunnelbau werden seltener in einer Feldfabrik und in der Regel in einem entfernteren Fertigteilwerk hergestellt. Potenziell könnten in den Fertigteilwerken rezyklierte Gesteinskörnungen zum Einsatz kommen, wenn diese regional verfügbar sind.

Als Fertigteile kommen insbesondere Tübbinge im Tunnelbau zum Einsatz, die in der Regel bewehrt ausgeführt werden und je nach Wasser verschiedenen Angriffen ausgesetzt sind. Diese Bauteile eignen sich eher nicht für den Einsatz von Betongranulat. Auch Rinnen und Bankette sind aggressiven Medien oder der Nutzung ausgesetzt und weniger geeignet.

Für weitere Betonprodukte ist der Einsatz rezyklierter Gesteinskörnungen denkbar.

3 Fazit

Im Tunnelbau sind die ersten 3 Projektphasen gemäss SIA 112 entscheidend für die Nachhaltigkeit eines Tunnels. Abwägungen zu Trassenführung, Querschnitt, Kubatur oder Materialbewirtschaftung und Logistik sind von massgebender Bedeutung.

Ökologisch steht bei Tunnelbauwerken die Lebensdauer im Vordergrund und Materialoptimierungen sollten immer die Dauerhaftigkeitsanforderungen einhalten. Bei Ortbeton kann geeignetes Ausbruchmaterial oder allenfalls Betonabbruch aus temporären Bauteilen des Tunnels oder der Region verwendet werden.

Für Fertigteile kann grundsätzlich regionales Betongranulat eingesetzt werden, jedoch sind auch deren oft hohe technische Anforderungen einzuhalten. Potenzial wird bei Füll- und Magerbetonen gesehen, die entweder durch alternative Materialien ersetzt werden können oder mit Ausbruchmaterial oder rezyklierter Gesteinskörnung hergestellt werden können.

Grundsätzlich sollte für alle Betone überprüft werden, ob die Kubatur reduziert, alternative Materialien eingesetzt oder die Zementmenge reduziert werden können.

Referenzen

[1] Leemann, A.: Karbonatisierungsgrad Betongranulat; cemsuisse-Projekt 201906 – Mai 2021

Sustainable civil engineering solutions • Achieving sustainability by using concrete with recycled aggregates in infrastructure projects

Simone Stürwald, Prof. Dipl.-Ing. (TU), OST-Eastern Switzerland University of Applied Sciences, Rapperswil, CH

Sustainable civil engineering solutions

Achieving sustainability by using concrete with recycled aggregates in infrastructure projects

Sustainability in tunnelling is of crucial importance for long-term economic, social and ecological development. The basis is the Swiss climate strategy and the laws and standards that build upon it.

For tunnels, preliminary studies are crucial for a sustainable overall concept. Only after these studies does choosing building material or optimising concrete become relevant.

1 Sustainability and climate goals

Sustainable development means finding the best possible long-term solution in terms of the economy, society and environment. This is rarely as fundamental and important as it is in tunnelling, where projects have enormous economic, social and ecological consequences. The greatest influence on all of these factors is in the early conceptual project phases 1 – 3 after SIA 112.

If environmental sustainability is considered in the construction industry, it can be formulated as environmental impact per functional unit and service life.

$$\text{Ecological sustainability} = \frac{\text{Sum of environmental impacts}}{\text{Functional unit} \times \text{Service life}}$$

A functional unit can include, for example, one metre of tunnel road divided into two lanes. Alternatively, the tunnel can be considered globally as a single unit. In this context, particular importance is attached to service life. A standardised service life of 80 to 100 years can be used as a reference value.

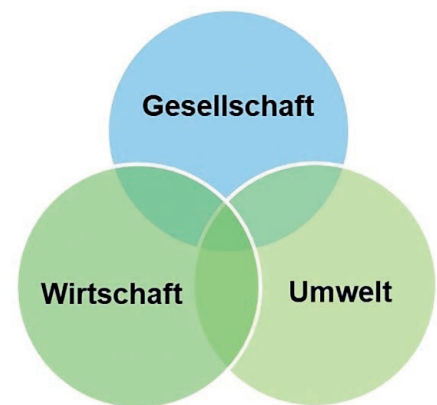
1.1 Sustainable public procurement in Switzerland

In its long-term climate strategy for 2021, Switzerland has adopted a target of zero greenhouse gas emissions by 2050 and has stipulated a 50% reduction in emissions by 2030 in its revised CO₂ Act.

The revised Swiss Federal Act on Public Procurement (PPA January 2021) builds upon this framework along with the general definition of sustainability, which, according to Art. 2, aims to ensure “the economically, ecologically and socially sustainable use of public funds” so that the most advantageous tender is awarded a contract.

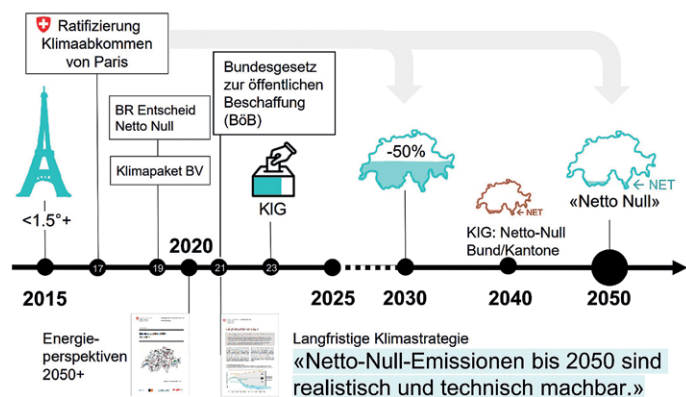
In addition, the adoption of the Federal Act on Climate Protection Targets, Innovation and Strengthening Energy Security (CISA) in 2023 will define further measures and require net zero emissions for the Swiss Confederation and cantons from 2040. The Act is expected to come into force in 2025.

Overall, therefore, ever greater demands for sustainability can be expected from public contractors in the future.



Credit: an illustration

1 Economic, social and ecological sustainability



Credit: Salome Schori, Federal Office for the Environment, Conference on Sustainable Public Procurement 2024; own additions to the BöB and Climate and Innovation Law

2 Sustainable public procurement in Switzerland

Solutions durables en matière de génie civil

Utiliser le béton et les matériaux recyclés dans les projets d'infrastructures pour parvenir à la durabilité

Les exigences en matière de durabilité pour les nouveaux projets de construction d'infrastructures deviennent plus strictes dans la loi fédérale suisse sur les marchés publics (LMP) et avec la future loi sur le climat et l'innovation. La SIA 112/2 a créé un cadre pour la construction durable dans le domaine du génie civil et de la construction d'infrastructures, dont les objectifs peuvent être intégrés dans les critères d'adjudication des futurs contrats. En conséquence, les décisions globales relatives au projet, telles que l'emplacement, le cubage et la gestion des matériaux, revêtent une importance significative. Les matériaux de construction et la construction elle-même doivent avant tout répondre aux exigences de durabilité écologique et peuvent ensuite être optimisés en conséquence.

Soluzioni sostenibili di ingegneria civile

Sostenibilità attraverso l'uso di calcestruzzo di materiali riciclati nei progetti infrastrutturali

Nella legge federale sugli appalti pubblici (LApub) e con la prossima SNC aumentano le esigenze di sostenibilità nelle nuove infrastrutture. Nel SIA 112/2 è stato elaborato un quadro per l'edilizia sostenibile sotterranea e infrastrutturale, i cui obiettivi possano essere integrati nei criteri di aggiudicazione degli incarichi futuri. Di conseguenza le decisioni progettuali globali come la posizione, la cubatura e la gestione dei materiali hanno un peso determinante. I materiali e la costruzione devono in primo luogo rispettare i requisiti di durabilità ai fini della sostenibilità ecologica e possono quindi essere ottimizzati.

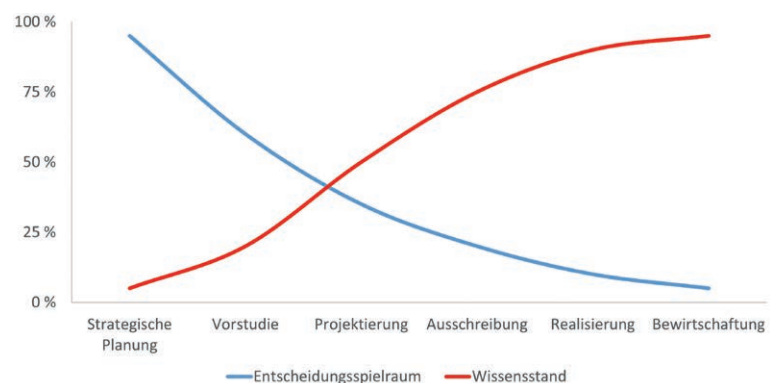
1.2 Sustainability in civil engineering and infrastructure construction in accordance with SIA 112/2 and the PPA

Sustainability criteria in civil engineering and infrastructure construction are defined in SIA 112/2. The guideline defines overarching goals for the sustainability of different types of infrastructure and then breaks them down into sub-goals in the areas of society, the economy and the environment. The focus here lies on aspects of spatial development and settlements, community interests, safety, business and economic costs, environmental pollution, energy, land and resource utilisation.

An in-depth situation analysis is carried out before any planning, in which infrastructure variants are evaluated according to the relevant sub-goals of sustainable construction. Additional services and evaluation criteria for the existing services can then be defined from the goals in procurement. For example, one sub-goal could include "environmentally friendly and resource-efficient use of materials" while an additional service could focus on a materials management concept. The measure (materials management concept) should be less important than the measure's effect (e.g., actual reduction in material quantities). Compliance in the contract award process can then be controlled by prioritising the tender criteria.

1.3 Sustainability in tunnelling

Tunnels are the infrastructure projects with the greatest impact on space, landscape, safety and resource consumption; they also incur the highest costs. In addition, tunnels are infrastructure designed for the long term. Many of the requirements stipulated in SIA 112/2 have always been implemented in tunnelling due to social, economic and ecological dimensions. The concept phase with preliminary studies is of paramount importance, as the alignment or cross-section selection, influenced by the prevailing geological conditions, significantly impacts the tunnel length and the resulting construction measures. The impact on the landscape, the global excavation volume, the required concrete cubature and the resulting total costs are also already determined within these initial decisions.



3 Development of decision-making processes and knowledge about the course of the project

Credit: an illustration

Sustainable civil engineering solutions • Achieving sustainability by using concrete with recycled aggregates in infrastructure projects

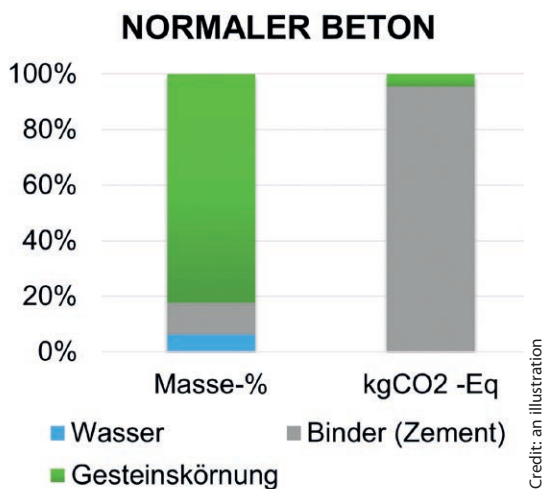
The detailed implementation of these sub-goals takes place during project planning. For example, choosing building materials and testing suitable variants could be a priority here.

2 Sustainable concretes in tunnelling

The assessment of types of concretes used in tunnelling is limited in this article to the consideration of ecological sustainability.

2.1 Types of concrete with reduced CO₂ emissions

Concrete is responsible for around 8% of global and Swiss CO₂ emissions. This is due to the process of creating conventional cement, which is heated to around 1500 °C in a cement kiln with the help of fuel so that the limestone (CaCO₃) can calcinate to produce CaO and CO₂. Around 95% of CO₂ emissions from concrete are attributable to cement. Therefore, reducing CO₂ emissions can only be achieved through changing the way cement is used.



4 Mass proportions of concrete constituents and their CO₂ emissions

here are four main approaches to producing types of concrete with reduced CO₂ emissions:

1. Low-clinker composite cement and alternative, more sustainable binders
2. Higher packing density in the aggregate
3. Re-absorption of CO₂ through carbonation of the hardened cement paste
4. Compensation of CO₂ emissions, for example through vegetable carbon

Ideally, the first three measures can be combined. When it comes to optimising packing density, the grading curve is optimised and filler is added so that the hollow content in the concrete is reduced, meaning less cement paste and therefore less cement required. However, the aggregates must have a consistent grading curve and the concrete must be mixed with greater precision, as such types of concrete become unstable more quickly. The reduced clinker content of a mixture tends to go hand in hand with reduced chloride and carbonation resistance. As optimised mixes can quickly economise 20%

or more on cement, they are still an attractive option. In terms of standards, this process will be possible to a greater extent if the new ND Annex of SN EN 206 overturns the minimum cement quantities and water/cement values and the new versions of the SIA 215/1 (revision) and SIA 215/2 (new) standards also enable the approval of new cements and additives. The OST University of Applied Sciences is currently researching an AI-based tool for optimising recipes that concrete plants will be able to use in the future.

The reabsorption of CO₂ – also known as CO₂ uptake – takes place when the calcination process in the hardened cement paste (clinker component) is reversed and neutral limestone is produced once again. In reinforced concrete, corrosion protection is thus lost and should therefore only be enforced in the recycling process. When using unreinforced concrete, carbonation in the set form can be advantageous, as the structure becomes denser.

As the amount of CO₂ that can be chemically absorbed through carbonation is limited by the amount of clinker in the concrete, and because carbonation takes place slowly on the surface, the clinker is never fully carbonated. Up to 60% can carbonate in the recycling process. The process can be accelerated and made more effective with additional treatments, such as CO₂ treatment.

Zement	Menge [kg/m ³]	w/z [-]	Zementsteinvolumen [l/m ³]	CaO im Klinker [kg/m ³]	CO _{2,abs} BG2 [kg/t]	CO _{2,abs} BG3 [kg/t]
CEM I	300	0.55	276	185	5.6	11.3
CEM I	290	0.64	288	179	5.1 (-0.5)	10.4 (-0.9)
CEM I	310	0.49	266	191	6.0 (+0.4)	12.1 (+0.8)
CEM II/A-LL	300	0.55	277	160	4.8 (-0.8)	9.7 (-1.6)
CEM I*	300	0.55	276	185	7.0 (+1.4)	14.1 (+2.8)

* gerechnet mit einer CO₂ Absorption im karbonatisierten Zementstein von 75 anstatt 60%

Table 1 Values of CO₂ absorption in relation to the total emission of concrete granulates

Credit: Leemann; Carbonation degree of concrete granulate; Cemsuisse, 2021 [1]

The EMPA (Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research) published the following in a study [1]: a total of 5–14 kg CO₂-eq./tonne of concrete granulate is absorbed under natural conditions.

Sustainable civil engineering solutions • Achieving sustainability by using concrete with recycled aggregates in infrastructure projects

Other measures, such as reducing transport of raw materials or optimising production, only have minor impacts under normal conditions.

2.2 Concrete with recycled aggregates

Concrete has become the standard construction material of modern times. With an annual output of around 15 million cubic metres throughout Switzerland according to the Association of the Swiss Gravel and Concrete Industry, concrete is the most widely used construction material. At the same time, around 5 million tonnes of concrete demolition waste (CDW) are produced in Switzerland, which represents the largest amount of construction waste. Recycled aggregates are particularly produced in the more densely populated regions of Switzerland. In total, around 85 – 90% is returned to circulation.

Concrete with recycled aggregates can be made from purely concrete demolition waste or mixed demolition waste containing also brick components. As the particles of recycled aggregates and, in particular, the adhering hardened cement paste are softer and more porous than the primary aggregate, they absorb two to seven times more water. Concrete with recycled aggregates therefore has a higher water demand, which generally results in a higher quantity of cement paste. For this reason, concretes with recycled aggregates generally have a slightly lower compressive strength, a lower modulus of elasticity, increased creep and shrinkage values, lower frost resistance and reduced chloride resistance. The verification of alkali-aggregate reaction resistance is very time-consuming for recycled aggregates. Consequently, concrete with recycled aggregates is not authorised for civil engineering concrete types E, F and G in accordance with SIA Guideline 2030. concrete with recycled aggregates is quite suitable for frequently used structural types of concrete, pile concrete or lean and filling concrete with low durability requirements.

Concrete with recycled aggregates content > 25% does not tend to have lower CO₂ emissions. A higher quantity of cement paste means that more cement needs to be added, which in turn increases CO₂ emissions. Depending on the quantity, CO₂ emissions can

be offset once again with the recycled aggregates' CO₂ uptake. For example, concrete with 300 kg of cement, which emits around 210 kg CO₂-eq./m³ of concrete during production, can compensate for around 10 kg CO₂-eq./m³ of concrete with a recycled aggregates content of 50% [1]. According to current standards, some manufacturers are able to produce recycled concrete with the minimum amount of cement and also take advantage of recycled aggregates carbonation.

Concrete made from excavated material from a tunnel can be considered a form of recycled concrete. The properties are highly dependent on the aggregate encountered and can be the same for crushed rock as for concrete made from primary material with crushed aggregate.

2.3 Sustainable concrete in tunnelling

Concrete is used for many different purposes in tunnelling. Fig. 5 provides an overview.

Depending on the tunnel and application in the tunnel, aggressive incoming water (dissolving and sintering effects, possibly sulphate), carbonation and chloride effects (reinforced concrete), frost, fire or other influences from usage have an impact on the concrete.

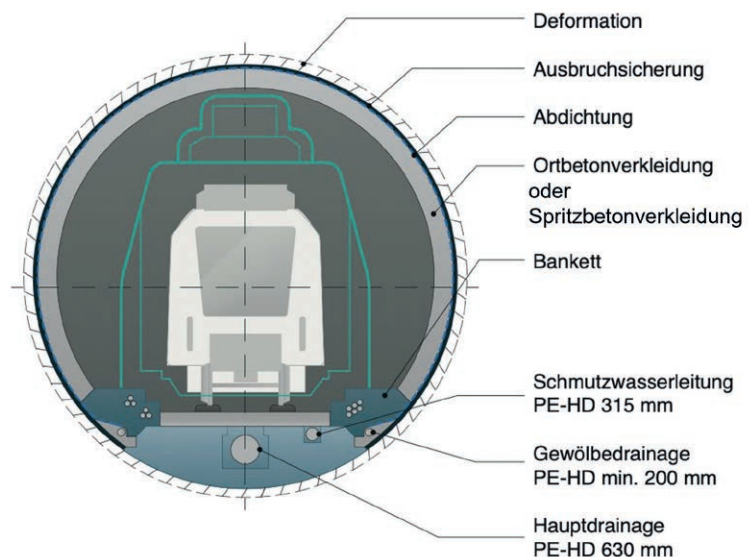
2.3.1 Sprayed concrete

Sprayed concrete is mixed on site as a special type of concrete and already needs to fulfil numerous processing requirements. Fine material from the excavated material

Recyclingbetonklasse	Betonart gemäss SN EN 206:2013+A2:2021, Tabellen NA.5 und NA.8									
	0	A	B	C	D	E	F	G	Pfahlbeton P1, P2, P3, P4	
RC-C25	zulässig				1)	unzulässig			zulässig	
RC-C50	zulässig				1)	unzulässig			1)	
RC-M10	zulässig			1)	unzulässig			1)		
RC-M40	zulässig	1)			unzulässig			1)		

Table 2 Using recycled concrete in accordance with SIA Guideline 2030

Credit: SIA Guideline 2030, 2021



5 Concrete in tunnel cross-section

Credit: BauPraxis – Underground Construction, Volume 2; Heinz Ehrbar, Olivier Böckli, Christian Ammon

Sustainable civil engineering solutions • Achieving sustainability by using concrete with recycled aggregates in infrastructure projects

has already been used. Recycled concrete aggregates are less recommended, as this can have an unfavourable effect on consistency and workability.

2.3.2 In-situ concrete

In-situ concrete can be used for very different applications.

Reinforced in-situ concrete components, especially with higher exposure classes and aggressive water, can be implemented with excavated material if suitable, but they are less suitable for using recycled concrete aggregates. Cement should be used according to technical requirements, as cost savings at the expense of service life reduce sustainability.

Concrete including excavation materials and recycled aggregates can be effectively used for unreinforced concrete exposed to lower quantities of aggressive water. For largescale tunnelling projects in mountainous regions, however, the regional availability of recycled aggregates should be examined. For unreinforced filling and lean concrete, the cement content should also be checked for optimisation potential or alternative filling material.

2.3.3 Prefabricated components

Prefabricated components for tunnelling are rarely produced in a factory in the field and are usually manufactured in a more remote prefabrication plant. Recycled aggregates could potentially be used in the prefabrication plants if they were available regionally.

Segmental tunnel lining in particular is used as prefabricated components in tunnelling, which are usually reinforced and exposed to various types of stress depending on the water conditions. These components are not suitable for the use of recycled aggregates. Gutters and hard shoulders are also exposed to harsh fluids or increased use and are less suitable for this purpose.

Using recycled aggregates is conceivable for other concrete products.

3 Conclusion

In tunnelling, the first three project phases according SIA 112 are decisive for the sustainability of a tunnel. Considerations regarding the route, cross-section, cubature or materials management and logistics are of crucial importance.

From an ecological point of view, tunnel structures should focus on service life and material optimisation should always comply with durability requirements. Suitable excavated material or, if necessary, demolished concrete from temporary components of the tunnel or the region can be used for in-situ concrete.

In principle, regional recycled concrete aggregates can be used for prefabricated components; however, their often high technical requirements must also be met. There is potential for fill and lean concrete, which can either be replaced by alternative materials or produced using excavated material or recycled aggregate.

In principle, for all types of concrete, a review should be carried out to determine whether the cubature can be reduced, alternative materials used or the amount of cement reduced.

References

[1] Leemann, A.: Carbonation degree of concrete granulate; Cemsuisse Project 201906 – May 2021

Florian Ott, MSc, Head of Services, ORIS, Vienna/AUT
Alain Mardo, MSc Eng, Project Director, ORIS, Paris/FRA
Nicolas Miravalls, MSc Eng., CEO, ORIS, Paris/FRA
Isabelle Armani, M.A., Head of Germany, ORIS, Stuttgart/GER

Tunnel Construction and Design

Designing more sustainable linear infrastructure projects using advanced digital technologies

This article outlines the significance of material optimisation in linear infrastructure construction, which accounts for a significant percentage of material use and CO₂ footprint. Advanced technologies and early design impact assessments offer opportunities for more sustainable infrastructure. A case study highlights the potential for substantial sustainability gains in infrastructure projects.

1 Introduction

Between 30 and 40% of all construction materials are used in the construction of linear infrastructure like roads and railways. The materials used in an infrastructure project account for 85% of its CO₂ footprint. A high footprint is, for example, linked to the production of cement, bitumen, and steel. To reduce the CO₂ footprint of a road or rail project, the right design choice is critical. The design choice is mainly dependent on the traffic load, surrounding factors like the local geology and locally available materials, and indirectly through the cost and location of local suppliers. The effect of changing climatic conditions, as well as the impact of alternative design options on the CO₂ footprint of a project, have not been in focus in the planning phase so far.

2 Current Developments

With rising awareness on the topic of climate change, through NGOs, citizens, entrepreneurs and politicians, the pressure to act is growing and the focus on the construction industry (especially cement and steel producers) is increasing heavily.

Environmental, social and governance (ESG) reporting – and therefore the need to track CO₂ emissions – is becoming mandatory for many companies. Current changes at European level, such as the new EU taxonomy, are leading to a massive focus on sustainable construction to guarantee the funding of a project. Additionally, requests from other stakeholders, like local interest groups, also lead to the need for rethinking how we source and use construction materials in a project.

3 Methodology

To be able to significantly reduce the footprint of an infrastructure project, the first step is to measure the impact of its design. It is important to use the same base for measurements to be able to directly compare different options later. To quickly calculate these footprints, algorithms and standard methodologies are necessary to automate these calculation processes.

To measure the impact, certain parameters need to be known, first of course the length, width, and height of a design. Second, the materials to be used need to be known (base layer, railway ballast, tracks, sleepers and so on). Combining the materials with the alignment of the track will give the quantities of the different materials needed.

The calculation of the impact of an infrastructure project follows the lifecycle assessment approach. It starts with the calculation of the CO₂ footprint of the production of materials which will be used in the project. If we use the example of an aggregate supplier, the production of this material would be subdivided into extraction or raw material supply (A1 stage), transport from extraction to manufacturing (A2 stage), and manufacturing (A3 stage) until the material is loaded onto the truck. For more complex materials such as concrete, the production stages (A1–A3) consider the CO₂ emissions of all the components in the recipe, including cement, additives, sand, coarse aggregates, fly ash and others.

In the next step, the potential sourcing sites need to be assessed. Several potential suppliers will be identified (different local quarries, precast producers). The transport distance from these suppliers to the construction site is calculated, enabling us to

Tunnelbau und Design

Gestaltung von nachhaltigeren linearen Infrastrukturprojekten unter Einsatz fortschrittlicher digitaler Technologien

Dieser Artikel befasst sich mit den Umweltauswirkungen von linearen Infrastrukturprojekten, wobei Materialien als primäre CO₂- und Kostenfaktoren im Vordergrund stehen. Er erläutert das aktuelle Bewusstsein für Klimaschutz, das sich auf das Bauwesen auswirkt, sowie den Schwerpunkt der EU auf nachhaltige Praktiken. Der Artikel beschreibt auch eine Methodik, die digitale Werkzeuge und die Lebenszyklusanalyse zur Messung der Auswirkungen des Designs nutzt. Anhand einer Fallstudie eines finnischen Eisenbahnprojektes wird gezeigt, wie digitale Modellierung und lokale Beschaffung die CO₂-Emissionen und Kosten erheblich senken und damit die Nachhaltigkeit verbessern können.

Construction et conception de tunnels

Concevoir des projets d'infrastructures linéaires plus durables à l'aide de technologies numériques avancées

Cet article examine l'impact environnemental des projets d'infrastructures linéaires, en mettant l'accent sur les matériaux en tant que principaux facteurs de CO₂ et de coûts. Il aborde la question de la sensibilisation actuelle au climat, qui affecte la construction, et l'accent mis par l'UE sur les pratiques durables. L'article présente une méthodologie qui s'appuie sur les outils numériques et l'évaluation du cycle de vie pour mesurer l'impact de la conception. Il présente une étude de cas d'un projet ferroviaire finlandais, montrant comment la modélisation numérique et l'approvisionnement local peuvent réduire de manière significative les émissions de CO₂ et les coûts, et améliorer ainsi la durabilité.

Costruzione e progettazione di gallerie

Sviluppo di progetti infrastrutturali lineari e sostenibili impiegando tecnologie digitali avanzate

Questo articolo si occupa dell'impatto ambientale dei progetti infrastrutturali lineari, sottolineando i materiali come fattori primari di CO₂ e di costo; illustra l'attuale consapevolezza ambientale, che si riflette sull'edilizia, nonché l'accento posto dall'UE sulle pratiche sostenibili. L'articolo descrive anche un metodo che utilizza gli strumenti digitali e l'analisi del ciclo vitale per misurare l'impatto della progettazione. Sulla base di un caso di studio di un progetto ferroviario finlandese, verrà mostrato come la modellazione digitale e l'appalto locale riducono notevolmente i costi e le emissioni di CO₂ e dunque possono migliorare la sostenibilità.

evaluate the CO₂ emissions related to the transport of materials. This part is called the A4 module in the lifecycle assessment approach and covers transport CO₂ emissions from production to the construction site.

The last step of the initial CO₂ assessment is the A5 module, which covers the construction phase. This step includes the energy consumption of the vehicles used during construction (wheel loader, excavator, grader and so on). The lifecycle assessment continues with the use phase (B) and concludes with the end-of-life phase.

4 Case Study

The Länsirata is a partially double-track railway connection between Helsinki and Turku, currently in the planning phase. The new route from Espoo to Salo includes the construction of various section types, among them 100 km of new railway beds, over 20 tunnels, 100 bridges, and over 100 new roads. To optimise material flows, the ORIS software calculates the environmental impacts of different options, considering transport distances, interim storage, and other factors. The main tasks were to assess if a new alignment would be more sustainable than using and extending the existing track network and to assess the impact of possible use of the excavated materials from the track construction and tunnelling. This study focuses on the second aspect.

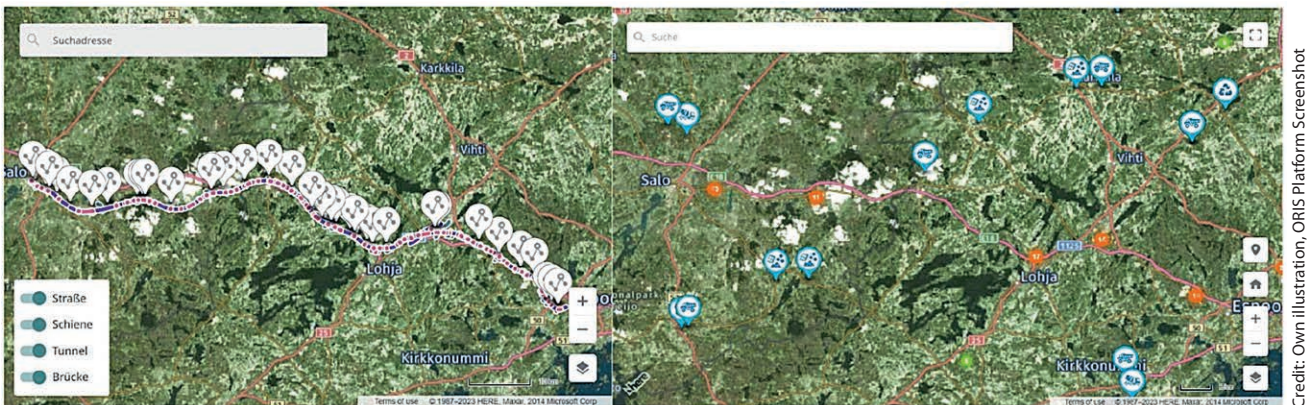
The key activities of the project encompass a broad range of analyses and strategies aimed at enhancing sustainability and efficiency. These include conducting a detailed carbon emissions and cost analysis specifically for the Espoo–Salu railway segment and evaluating the project's resilience to climate change over a 40-year period, which also involves deriving early adaptations to anticipated climate changes. Additionally, the project leverages the ORIS platform for a comprehensive as-

Tunnel Construction and Design • Designing more sustainable linear infrastructure projects using advanced digital technologies

assessment of emissions, costs, and material consumption, ensuring an informed decision-making process. A significant focus is also placed on the optimisation of resource use, notably through the reuse of excavated materials, alongside evaluating and enhancing the circular economy aspects of the project. Finally, the development of key performance indicators is prioritised to facilitate the reduction of CO₂ emissions and costs, underlining the project's commitment to environmental stewardship and economic viability.

4.1 Project Set Up

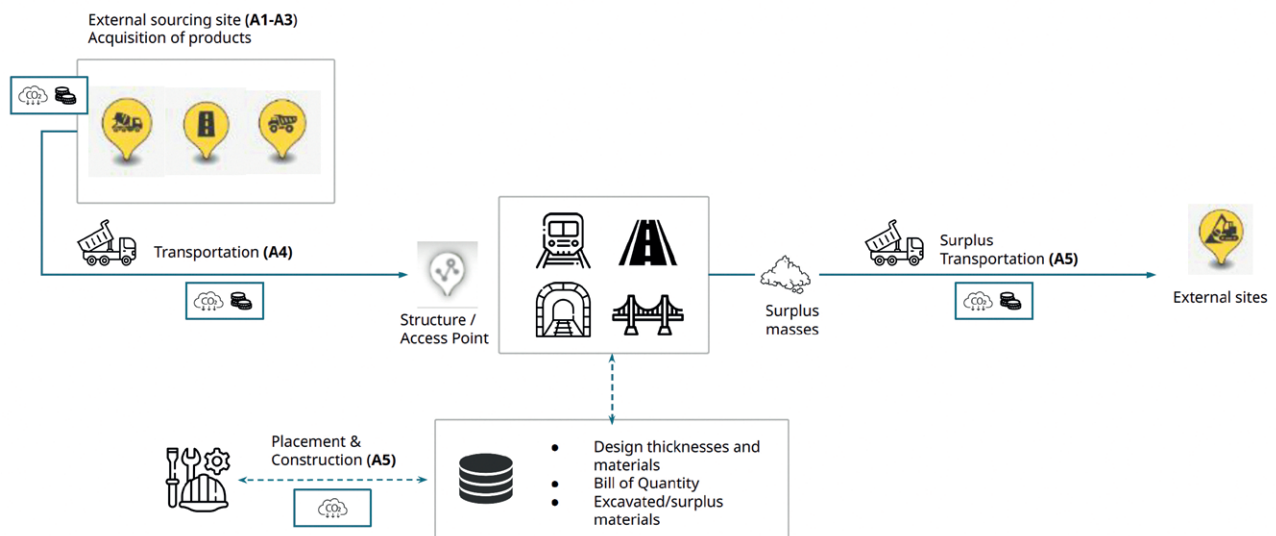
Local suppliers in the area were identified and the access points to the project were defined. As seen in Fig.1, many production sites are available around the project; different icons indicate different material types, for example the dumper truck for quarries and the RMX truck for ready-mix (concrete) sites. The problem we face is the accessibility to the project from the suppliers. For this reason, the project managers identified around 30 access points along the track length.



1 Left image shows access points to the project; right image shows sourcing sites for different materials in the same area; numbers indicate the number of sites in the area.

4.2 Base Case

A base or reference scenario is essential for comparative analysis to serve as a benchmark for evaluating other scenarios and determining their degree of improvement or decline. The base scenario entails the sourcing of materials from external sites and typical materials suppliers, with no consideration of stockpiles in the analysis. Materials extracted from the project are transported to the nearest disposal sites with no use of surplus masses in the project.



2 This figure shows a process sheet for material handling.

4.3 Optimised Material Flow and Low-Carbon Scenarios

Since significant volumes of rock materials will be excavated through tunnelling and other processes, the potential advantage of

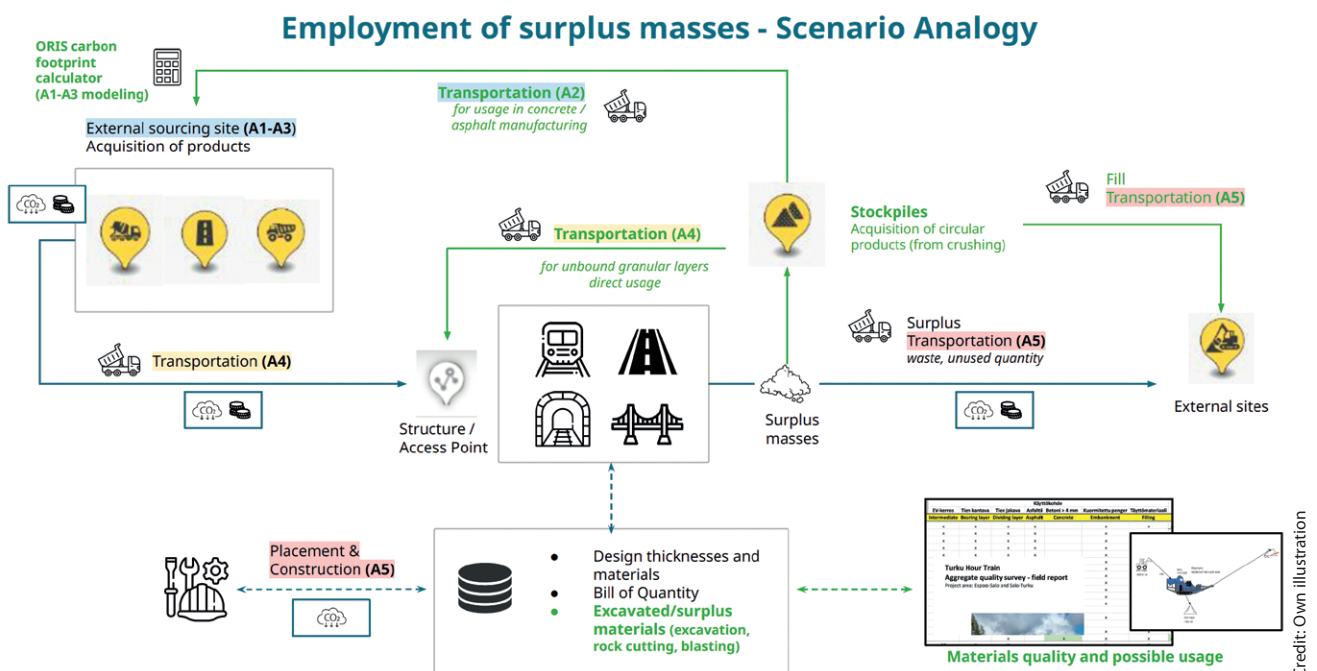
Tunnel Construction and Design • Designing more sustainable linear infrastructure projects using advanced digital technologies

using these materials for the project was of great interest. This would offer several benefits, such as reducing the need to transport material from suppliers further away, which reduces CO₂ and cost.

To be able to validate the excavated materials regarding potential usage on site, different factors must be analysed. First, it was necessary to get a full understanding of the geology along the planned rail track. Local geologists and the Geological Survey of Finland retrieved a proper mapping of the in-situ geology. Samples were taken along the planned track and different laboratory analyses were performed to check the mechanical and chemical properties (for example, the Los Angeles test and the Micro Deval test). The material along the track was then categorised in different groups, based on the potential use: not usable at all, for use as base material, as railway ballast, as aggregate for concrete, or as aggregate for asphalt. In the next step, the amount of the different materials was quantified and compared with the volumes needed. The results showed that large volumes of the excavated materials could be processed and used during construction.

To estimate the impact of reuse of excavated materials, it was necessary to simulate the processing on site with different equipment. For this reason, software was used to model what mobile equipment (crusher, screens, and other equipment) must be used, how much of this equipment would be needed and where it should be positioned to reduce internal transportation in the project and therefore transport CO₂.

This alternative scenario entailed the reuse of surplus masses and was compared to the base scenario. As of this iteration, the starting point is the surplus masses (Fig. 4). When the quality and quantity allowed for it, the excavated material from tunnels or rock cutting was transported (A5) to a stockpile for processing (A1–A3). The processed materials from the stockpiles were then used in various applications, such as (1) immediate use in unbound granular layers or (2) processing into concrete or asphalt before being sourced to the structures based on demand. The transportation cost and carbon emissions are accounted for the A4 stage (1) as it is transported from the sourcing site (stockpile in that case) to the access point and in the A2 stage (2) as it concerns the transport of raw material used in concrete or asphalt production. To produce concrete or asphalt (A1–A3), this involved using



3 This process map shows how excavated materials will be either processed and reused or transported to a landfill site.

geolocated mixing sites that interacted with the sourcing environment of raw materials around, allowing for precise modelling of the concrete or asphalt production process. The location of the mixing sites was placed identically to the existing external concrete and asphalt plants.

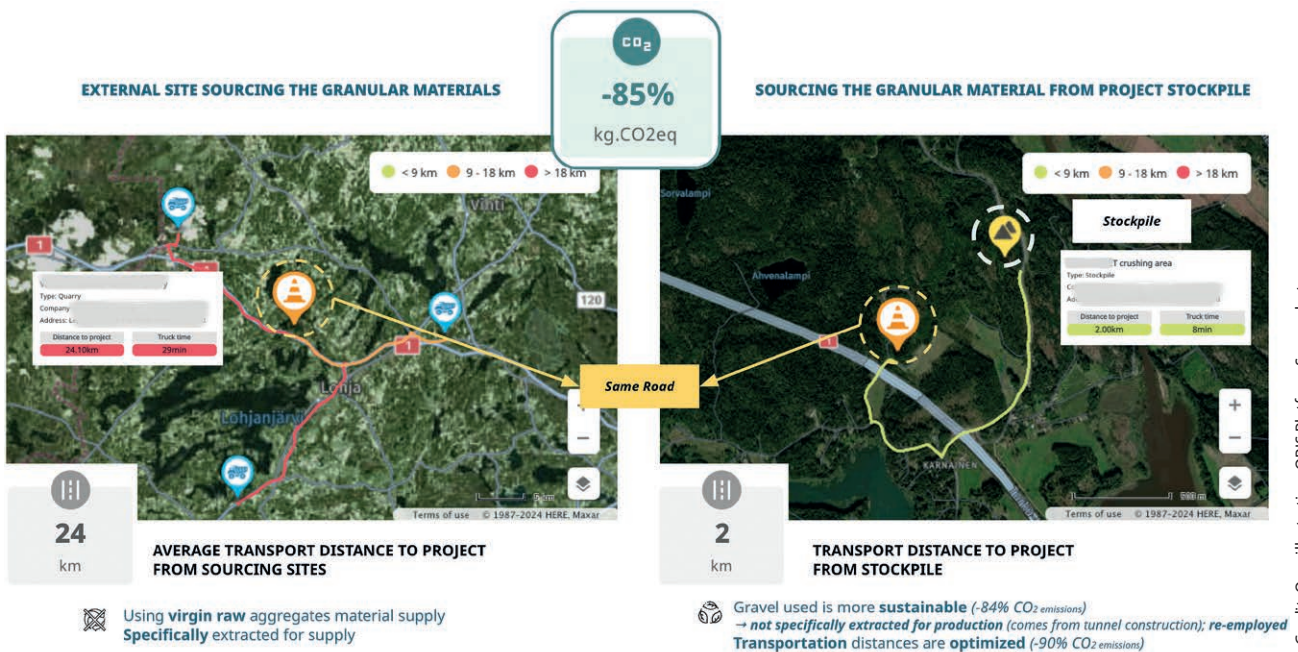
Combining all the above-mentioned tasks and gathering all the information, it was possible to reduce the transport CO₂ footprint significantly. As an illustration, see Figures 4 and 5, which show the transport distances for two examples from the use of rock excavated from a tunnel in a road from the same project.

Tunnel Construction and Design • Designing more sustainable linear infrastructure projects using advanced digital technologies



Credit: Own illustration, ORIS Platform Screenshot

4 This figure shows an example of transporting the excavated material to a disposal site (left) versus a stockpile (right) and their effect on the CO₂ footprint.



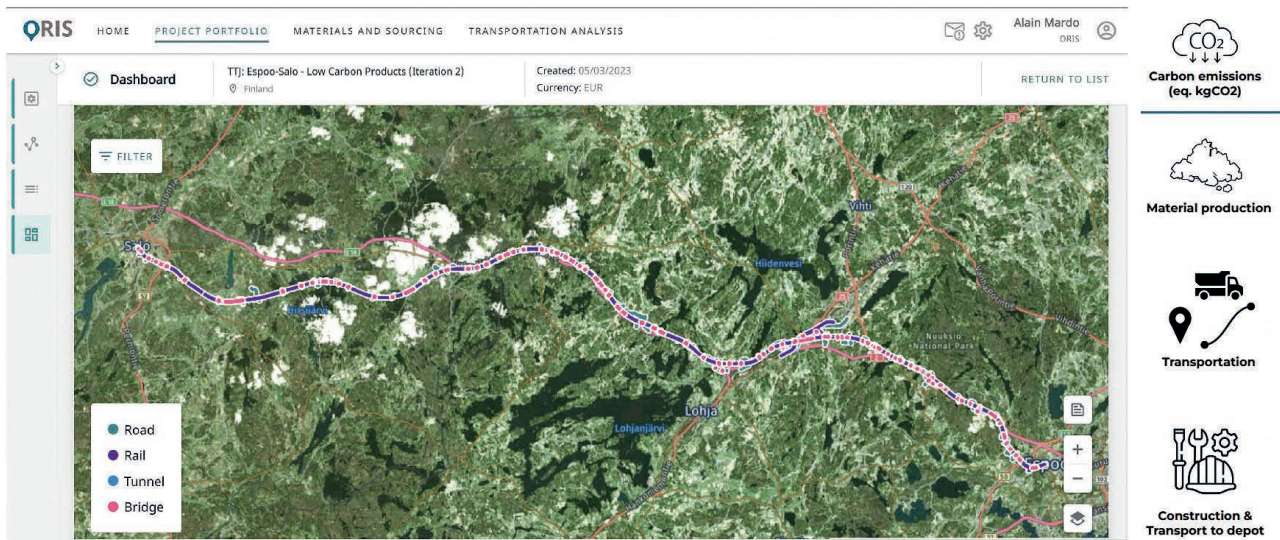
Credit: Own illustration, ORIS Platform Screenshot

5 This figure compares the use of virgin material which is transported 24 km (left) and taking the material from the stockpile (right) and their effect on the CO₂ footprint.

These examples can be applied to many different elements of the project, like obtaining virgin raw materials from quarries in the vicinity versus using ballasted rock sourced from nearby tunnels, which is a byproduct of tunnel construction. This not only enhances sustainability but also optimises transportation due to the strategic placement of the processing stockpiles.

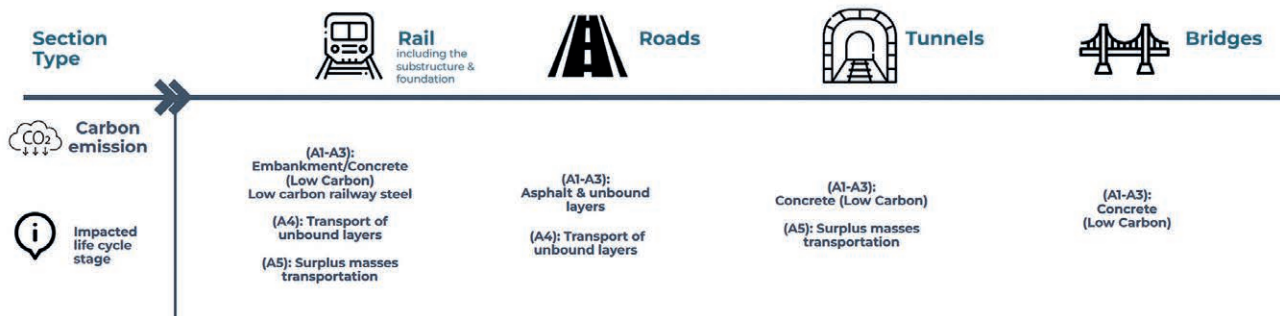
Next to material flow optimisation, the project investigated the application of low-carbon products like low-carbon concrete and low-carbon railway steel. Carbon emissions can potentially be reduced by a low two-digit percentage at project level by implementing low-carbon materials.

Tunnel Construction and Design • Designing more sustainable linear infrastructure projects using advanced digital technologies



Credit: Own illustration, ORIS Platform Screenshot

6 This figure depicts the scope of sections to which this principle has been applied. Actual reductions of the project cannot be disclosed yet.



Credit: Own illustration

7 This figure depicts the results of the study by section type of rail, roads, tunnels and bridges and the lifecycle stage affected in the scope of the study.

4.4 Resilience Analysis

In the pursuit of environmental sustainability, this project also included a comprehensive resilience analysis next to assessing the carbon footprint and circularity options. The analysis places a significant emphasis on understanding and mitigating the effects of climate change on the infrastructure. It predicts an average increase in yearly maximum temperature along the project line to 23.15°C by 2050, resulting in minimal structural impact with no countermeasures recommended. However, the analysis projects a more concerning 52% increase in freeze–thaw cycles, translating to 30 additional cycles per year by 2050. This substantial increase is expected to have a significant impact on structural integrity over time, necessitating adaptation and mitigation strategies at the design stage to avoid the need for increased maintenance and repairs. Unbound granular layers and concrete structures could face decreased resilience and integrity due to these climatic changes, with potential for increased rutting, cracking, and loss of bearing capacity. The analysis suggests using more resistant materials and improving drainage as possible adaptation measures. Additionally, a 40% increase in cumulative yearly rainfall is anticipated, necessitating further analysis to identify and mitigate flow level impacts based on terrain models and other factors. These findings underscore the critical importance of incorporating climate resilience into the project's design and planning stages.

5 Conclusion

Leveraging digital tools, infrastructure projects can incorporate circular options and self-sufficiency, further enhancing sustainability. These assessments, once digital systems are established, offer immediate insight into the impacts on key performance indicators of any adjustments made. Early-stage design planning and optimisation become crucial, allowing a broader range of alternatives to be explored swiftly, thus enriching the decision-making pool with more sustainable choices. Furthermore, scheduling emerges as a critical factor in maintaining the potential reductions in resources and avoiding conflicts related to material availability. As such, it is vital that scheduling considerations are integrated into later stages of project planning. Finally, adopting a Living-System approach invites a holistic engagement with the ecosystem, interlinking all project phases. This integrative strategy not only streamlines the planning process but also expands the scope of potential designs that can be evaluated promptly, fostering an extensive array of sustainable options for the project.

Armani, Isabelle	ORIS, Stuttgart
Barnes Davin, Laury	Vicat, L'Isle-d'Abeau
Bureau, Éric	Circulère, L'Isle-d'Abeau
Bürki, Matthias	Ciment Vigier SA, Péry
Calderara, Davide	SBB Infra, Renens
Champeau, Benoît	Institut Géologique A. de Lapparent, Veyre-Monton
Defert, Raphaël	WSP, Lausanne
Eichenberger, John	Gruner AG, Renens
Espinosa, Thomas	EBP Schweiz AG, Zürich
Fayot, Bertrand	Induni et Cie SA, Lancy
Garin, Étienne	WSP BG Ingénieurs Conseils SA, Lausanne
Heim, Alexander	Implenia France SA, Le Bourget-du-Lac
Hundhausen, Anna	Neustark AG, Bern
Inniger, Markus	Emch+Berger AG, Bern
Lequertier, Cathie	CFF Infrastructure, Renens
Livers, Lorenz	Gähler und Partner AG, Ennetbaden
Lunardi, Giuseppe	Rocksoil S.p.A., Milano
Mardo, Alain	ORIS, Paris
Matsch, Stefan	EBP Schweiz AG, Zürich
Meistro, Nicola	WeBuild, Milan
Métraiiller, Alain	Dénériaz Groupe Holding, Sion
Miravalls, Nicolas	ORIS, Paris
Ott, Florian	ORIS, Vienna
Pellissier, Dr Vincent	État du Valais, Sion
Phan, Julie	Vigier Béton Romandie, Lausanne
Portner, Jürg	EBP Schweiz AG, Zürich
Reichlin, Daniel	Bundesamt für Strassen ASTRA, Winterthur
Schackenberg, Götz	Bundesamt für Strassen ASTRA, Zofingen
Schneider, Klaus	ÖBB-Infrastruktur AG, Graz
Senn, Patrick	Amberg Engineering, Regensdorf
Steiner, Helmut	ÖBB-Infrastruktur AG, Graz
Stürwald, Simone	OST-Ostschweizer Fachhochschule, Rapperswil
Voiron, Jérémy	WSP BG Ingénieurs Conseils SA, Genève
Wick, Raphael	Gähler und Partner AG, Ennetbaden
Wyss, Alexander	Simatec Maschinenbau AG, Horw

Hauptsponsoren • Main Sponsors



Innovative und sichere
Lösungen im Tunnelbau



CONTRIBUTING TO A SMART USE OF SPACE

The optimized use of above-ground and underground spaces is a key success factor in today's tunnelling projects. The Amberg Group provides a unique combination of knowledge, technology and logistics for the efficient and cost-effective construction of infrastructures.

Products and services of the Amberg Group cover the entire life cycle of the infrastructures and all engineering and technology aspects in a digitalized manner.

[amberggroup.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

SANDVIK MINING AND CONSTRUCTION CENTRAL EUROPE GMBH
Hafenstrasse 280 D-45356 Essen Deutschland Tel +49 (0) 201-1785-300
www.construction.sandvik.com

AVESCO AG Hasenmattstrasse 2 CH-4900 Langenthal Tel +41 (0) 848 832 832 www.avesco.ch
AVESCO AG Österreich Anzing 33 AT-4413 St.Martin im Mühlkreis Tel +43 (0) 7232 299 44 90 www.avesco.at



B+S
INGENIEURE UND PLANER

Bei uns steht
der Mensch im
Vordergrund.

Intelligente Ingenieurösungen für
eine lebenswerte Zukunft. Dafür
setze ich mich 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 800 Mitarbeitenden an 30 Standorten sind
wir national und international präsent und nahe
bei unseren Kunden.

www.emchberger.ch



Frutiger

Mit Freude
bauen wir.

frutiger.com



GÄHLER PARTNER
INTEGRIERTE BAUPLANUNG



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!



Ihr Partner im Untertagebau



HERRENKNECHT
AT YOUR SIDE

Mega Move at Gotthard

An extreme challenge at Gotthard:
360 tonnes, 4 kilometers, only a few millimeters of space – a thrilling ride.

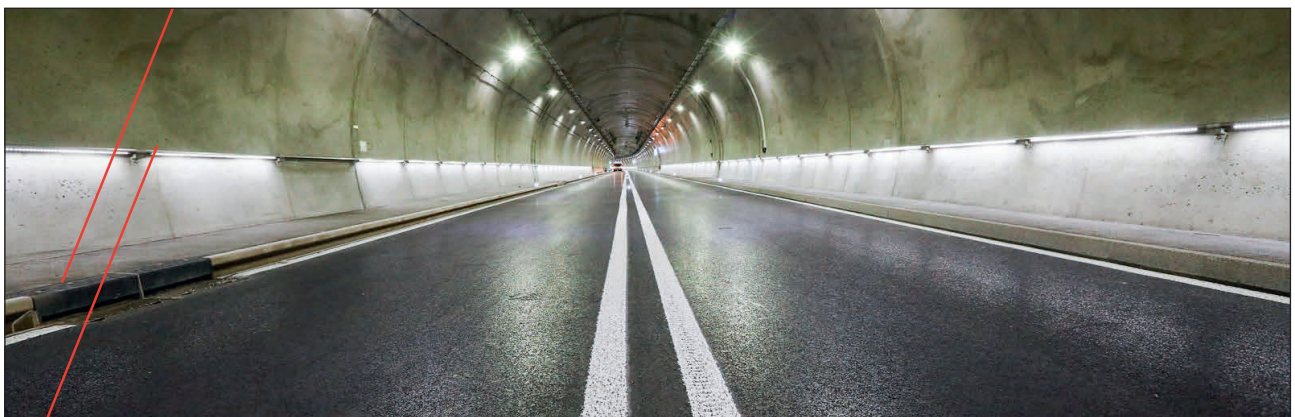
Check out the video



**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

**WIR BAUEN DIE
INFRASTRUKTUR
VON MORGEN**

AKTUELL AUCH AM GUBRIST

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



Infra Tunnel SA
Travaux souterrains
et génie civil spécialisé

Infra Tunnel SA
Rue de la Gare 15c
CH-2074 Marin
+41 (0)32 753 74 74
<https://www.infratunnel.ch/>
secretariat@infratunnel.ch





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



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

Baustelle Aufbereitungsanlage Stalvedro,
 2. Röhre Gotthard Stantentunnel



MARTI BAUT



Marti verfügt in sämtlichen Sparten des Tunnelbaus über qualifizierte und erfahrene Mitarbeitende. Der hochmoderne Maschinenpark beinhaltet u.a. Teilschnittmaschinen, Bohrjumbos und Tunnelbohrmaschinen mit verschiedenen Durchmessern.

Marti Tunnel AG

Seedorffeldstrasse 21 CH-3302 Moosseedorf
Tel. +41 31 388 75 10 tunnel@martiag.ch www.marti-tunnel.ch

**MASTER[®]
BUILDERS**
SOLUTIONS



MasterRoc[®]
MSL 345

Spritzbare Abdichtungsmembran



master-builders-solutions.ch



Tailormade engineering

Dank unserer Erfahrung mit Grossprojekten in Europa und hunderten Tunnelkilometern in der Schweiz und weltweit bezeichnen wir heute den Untertagebau als die Seele unseres Unternehmens.



 More on our LinkedIn profile

#pinigroup
#smartengineering
#joinus



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



HS2-SCS High Speed London – Birmingham (United Kingdom)
www.rowa-ag.ch



persönlich, pünktlich, schnell

≡ **SABAG** ≡

Bauprodukte

Bewehrungsstahl für Ihre Baustelle erhalten Sie im SABAG Stahlcenter Biel/Bienne und bei Matériaux SABAG in Delémont.

sabag.ch



Swiss Tunnel Congress
KKL Luzern | 5. - 7. Juni 2024
Wir freuen uns auf Sie!

INNOVATIVE TUNNEL- LÖSUNGEN FÜR GENERATIONEN

Vor über 100 Jahren schrieb Sika Geschichte mit der Abdichtung des Gotthardtunnels. Dieses Spezialwissen für professionelle Lösungen im Tunnelbau wird seither stetig weiterentwickelt. So auch bei der Abdichtung des Riedbergtunnels mit der neuen Vollverbundabdichtung SikaProof®-200.

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



www.sika.ch

BUILDING TRUST



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



**Ensemble, planifions
les tunnels de demain.**

**Gemeinsam planen wir
die Tunnel von morgen.**

Pour encore plus d'expertise, le
Groupe BG a uni ses forces avec WSP.

Für noch mehr Expertise hat die BG-
Gruppe ihre Kräfte mit WSP vereint.

Image/Bild : Tunnel des Evouettes



SWISS TUNNEL CONGRESS 2024

Fachtagung für Untertagbau

ISBN 978-3-033-10603-1



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