

SWISS TUNNEL CONGRESS 2022

Fachtagung für Untertagbau

Band 20

2022

ISBN 978-3-033-09093-4

SWISS TUNNEL CONGRESS



Band 20

SWISS TUNNEL CONGRESS 2022

Fachtagung für Untertagbau

Kolloquium

1. Juni 2022
in Luzern

Kongress

2. Juni 2022
in Luzern



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



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

SWISS TUNNEL CONGRESS 2022



Organizing Committee

Stefan Maurhofer, Dipl. Ing.	President Swiss Tunnelling Society
Stefan Moser, Dr. sc. techn., Dipl. Ing.	Swiss Tunnel Congress
Adrian Müller, Dipl. Ing.	Swiss Tunnel Congress
Richard Kocherhans, Dipl. Ing.	Swiss Tunnel Kolloquium
Eric Carrera, Dipl. Ing.	Swiss Tunnel Kolloquium, STSym
Viktor Gjorgjiev	Secretariat

Advisory Board

Gérard Seingre	Chairman, STS
Davide Fabbri	STS
Pedro Ramírez Rodríguez	AETOS
Robert Galler, Prof. Dr.	ITA Austria
Roland Leucker, Dr.	STUVA/DAUB
Giuseppe Lunardi	SIG
Emmanuel Humbert	AFTES

© 2022 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: Mohn Media Mohndruck GmbH, Gütersloh/DE
Druck: Bösmann Medien und Druck GmbH & Co. KG, Detmold/DE

ISBN 978-3-033-09093-4

Swiss Tunnel Congress 2022 – Fachtagung für Untertagbau
Umschlagfoto: RBS, Foto: Stefan Kubli, mit Genehmigung der Basler & Hofmann AG

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 2022

Fachtagung für Untertagbau

1.–3. Juni 2022



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

Kongress

6	Maurhofer, Stefan	Vorwort • Preface
10	Braun, Matthias	Jahrhundertprojekt – der Weg zum Tiefenlager – Wie die Nagra die Zukunft vor der Vergangenheit schützt <i>Project of the Century – the Path to the Deep Geological Repository – How Nagra Protects the Future from the Past</i>
16	Bregy, Jodok	Sicherheitsstollen Kerenzertunnel – Erfahrungen aus der Planung, Ausschreibung und Realisierung <i>Kerenzertunnel Road Tunnel Safety Gallery – Experiences from Design, Invitation to Tender and Execution</i>
28	Hrunek, Martin Weiss, Eva-Maria	Der Wiener U-Bahn-Ausbau U2xU5 – der lange Weg zu noch mehr öffentlicher Mobilität <i>Metro Extension U2xU5 – Towards Even More Public Transport in Vienna</i>
38	Pélissier, Vincent Lonfat, Sébastien Gatti, Gianluca Michel, Pierre Carron, Christophe Lequertier, Gilles Tagand, Benoit	Tunnel de contournement des Evouettes – Du besoin des usagers à la conception et la réalisation d'un tunnel routier dans un contexte géologique défavorable <i>Les Evouettes Bypass Tunnel – From the Need of Users, to the Design and the Construction Stages of a Road Tunnel within an Adverse Geological Context</i>
54	Müller, Stefan Casanova, Fabio	Herausforderungen im städtischen Bauen aus Sicht des Unternehmers – Zukunft Bahnhof Bern, RBS Los 2.4 <i>Challenges in Urban Construction from the Contractor's Perspective – Future of Bern Station, RBS Lot 2.4</i>
66	Gielchen, Stefan	N4 Neue Axenstrasse: zwei Tunnel für mehr Sicherheit – Verantwortung der Bauherrschaft N4 <i>Neue Axenstrasse: Two Tunnels for More Safety – Responsibility of the Developer</i>
79	Marottoli, Alessandro Fossati, Andrea	Il lotto più a sud della galleria di base del Brennero, il "sottoattraversamento del fiume Isarco" <i>The Southernmost Lot of the Brenner Base Tunnel, the "Eisack River Crossing"</i>
96	Schneider, Martin	Développement des métros automatiques m2 et m3 – Sous la ville, mais proche de la surface <i>Development of Automated Metro Lines m2 and m3 – Below the city but close to the surface</i>
110	Caggia, Francesco Civetta, Filippo Amberg, Francesco De Salvo, Francesco Merlini, Davide Zampieri, Marcello	N2-Tunnel Melide-Grancia – Teil 1: Beschreibung des Bauwerks und Bruchereignis – Teil 2: Verstärkung der Innenschale <i>N2 Melide-Grancia Tunnel – Part 1: Description of the Structure and the Breakage Event – Part 2: Reinforcement of the Inner Lining</i>



- 125** Zanolì, Roberto Rinnovo della centrale idroelettrica del Ritom – Le sfide inattese dello scavo del pozzo forzato
 Massignani, Sergio *Renovation of the Ritom Hydroelectric Power Station – The Unexpected Challenges of Digging the Penstock*

Kolloquium

Betrieb und Unterhalt (Facility Management) von Untertagbauwerken
Operation and Maintenance (Facility Management) of Underground Structures

- 136** Sabato, Lorenzo Der Gotthard-Strassentunnel vor der Erneuerung – Zwischen maximaler Verfügbarkeit und Sicherstellung der Betriebsbereitschaft
 Manzoni, Curdin *The Gotthard Road Tunnel Prior to Refurbishment – Between Maximum Availability and Ensuring Operational Readiness*
 Haas, Hanspeter
- 146** Züger, Simon Von der Inspektion bis zur Inbetriebnahme – Erfahrung mit Erneuerungsprojekten für Eisenbahn- und Strassentunnel
 Merlini, Davide *From the Inspection to the Start of Operation – Experience with Renovation Projects for Railway and Road Tunnels*
 Motta, Sue
- 157** Bertholet, Simon Sanierung Lötschberg-Scheiteltunnel – Bauen unter Betrieb: logistische und organisatorische Herausforderungen für den Unternehmer
Lötschberg Summit Tunnel Renovation – Construction during Operations: Logistical and Organisational Challenges for the Contractor
- 167** Nodioli, Gian Paolo Equipements et systèmes – Cycle de vie et évolution technologique du tunnel
 Tillet, Damien *Equipment and Systems – Life Cycle and Technological Evolution of the Tunnel*
 Sanfilippo, Rita
 O’Neil, James
 Klaus, Pascal
- 177** Binder, Robert Querschlags-Wandmodul für Verkehrstunnel und die Auswirkungen auf den Unterhalt *Cross-Passage Wall Module for Traffic Tunnel and the Effects on Module Maintenance*
- 186** Kufus, Nilson Der Digital Twin als Plattform für Softwarelösungen rund um die Planung, den Betrieb und die Erhaltung von Infrastruktur – Erklärt am Fallbeispiel der Brücke
 Steffen, Dominique *The Digital Twin as Platform for Software Solutions for the Planning, Operation and Service & Maintenance of Infrastructures – Explained Taking the Bridge as an Example*





Vorwort • Preface

Stefan Maurhofer

Präsident der Fachgruppe
für Untertagbau

President of the Swiss
Tunnelling Society

Sehr geehrte Damen und Herren
Liebe Kolleginnen und Kollegen

Nach zwei entbehrrungsreichen Jahren, in welchen der Swiss Tunnel Congress (STC) aufgrund der Pandemie (COVID-19) nicht mit persönlicher Anwesenheit durchgeführt werden konnte, freut es mich ausserordentlich, dass der STC 2022 vom 1. bis 2. Juni 2022 im Konzertsaal des Kultur- und Kongresszentrums Luzern (KKL) stattfinden wird. Die Exkursionen werden entsprechend am 3. Juni 2022 durchgeführt. Mit Stolz blicke ich auf die erfolgreichen Kongresse vor der Pandemie zurück, welche auf nationaler wie auch internationaler Ebene grosse Aufmerksamkeit und Anerkennung gefunden haben. Es ist mir daher eine besondere Freude, dass sich die Vertreter des Untertagbaus im Rahmen des STC wieder persönlich begegnen und austauschen können.

Der STC 2022 wird in seiner bewährten Form, bestehend aus Kolloquium, Kongress, Ausstellung, Abendveranstaltungen und Exkursionen, durchgeführt. Da das neu eingeführte Flying Dinner auf grosse Zustimmung gestossen ist, werden wir es in diesem Jahr wieder anbieten. Das Konzept ermöglicht sehr einfach den wertvollen und ungezwungenen Austausch unter Gästen und Kollegen. Wir sind sicher, dass der STC 2022 als eine der bedeutendsten Plattformen für die gesamte Tunnelbauindustrie an die Jahre vor der Pandemie anknüpfen kann. Erfahren Sie Neuigkeiten aus erster Hand zu ausgewählten Tunnelbauprojekten und pflegen Sie, nach zwei entbehrrungsreichen Jahren, den Kontakt zu Freunden, Bekannten und Geschäftspartnern!

Schon im Jahr 2021 konnten wir das Swiss Tunnel Kolloquium, entgegen den Umständen, mit ca. 250 persönlich anwesenden Teilnehmern durchführen. Die Tagung war in jeglicher Hinsicht ein grosser Erfolg. Der Titel des Kolloquiums

Ladies and Gentlemen
Dear Colleagues

After two years of privation in which the Swiss Tunnel Congress (STC) could not be held with personal attendance due to the COVID-19 pandemic, I am extremely happy that the STC 2022 will take place in the concert hall of the Lucern Culture and Congress Centre (Kultur- und Kongresszentrum Luzern – KKL) from 1 to 2 June 2022. The excursions will be held on 3 June 2022. I look back with pride at the successful congresses before the pandemic, which found a great deal of attention and recognition on both the national and international level. Therefore it makes me extremely happy that representatives of tunnelling can meet again personally and exchange ideas within the framework of the STC.

The STC 2022 will be held in its proven form, consisting of colloquium, congress, exhibition, evening events and excursions. As the newly introduced flying dinner met with great approval, we will offer it again this year. The concept makes it very easy for guests and colleagues to have a valuable and unforced exchange. We are certain that the STC 2022, as one of the most important platforms for the entire tunnel construction industry, can build on the years before the pandemic. Learn about innovations first-hand regarding select tunnel construction projects, and maintain contact with friends, acquaintances and business partners after two years of privation!

In 2021 we were already able to hold the Swiss Tunnel Colloquium, despite the circumstances, with about 250 participants attending in person. The conference was a great success in every respect. The title of the 2022 colloquium is "Facility management of underground

2022 lautet «Betrieb und Unterhalt (Facility Management) von Untertagbauwerken». Das Thema ist nicht neu, allerdings werden die Ansprüche und Anforderungen an den Betrieb und den Unterhalt von Untertagbauwerken immer grösser. Dies liegt zum einen an der zunehmenden Alterung der Infrastrukturlandschaft, zum anderen aber auch an der immer intensiveren Nutzung der Bauwerke.

Das Kolloquium wird wieder in Zusammenarbeit mit den STS young members (STSym) organisiert. Es liegt der FGU weiterhin am Herzen, junge, ambitionierte Tunnelbauerinnen und Tunnelbauer in ihrer Entwicklung zu fördern. Deshalb bieten wir wieder ein attraktives «STSym-Paket» an, welches den Kongress, das Kolloquium, das Flying Dinner und eine Exkursion zu einem Vorzugspreis beinhaltet.

Das Kongressprogramm ist auch in diesem Jahr voller interessanter und kurzweiliger Beiträge. Unsere ausgewählten Referenten werden Sie in den Vorträgen über die Schweizer Untertagbauwerke SiSto Kerenzberg, den Tunnel Les Evouettes, RBS Bern, Métro Lausanne, Tunnel Axenstrasse, A2 Melide-Grancia und das Kraftwerk Ritom 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. Schliesslich freuen wir uns sehr, dass Herr Dr. Matthias Braun, CEO Nagra, das Einführungsreferat zum Thema «Ein Jahrhundert-Projekt – der Weg zum Tiefenlager» halten wird.

Die angebotenen Exkursionen führen uns zu den Projekten SiSto Kerenzberg, Tunnel Les Evouettes, RBS Bern, Hochwasserentlastungstollen Sarnen und zum Kraftwerk Ritom. Den Teilnehmern werden verschiedene Bereiche der Baustellen gezeigt, sodass sie sich selber einen umfassenden Einblick in die Arbeiten verschaffen können.

Das alles wäre ohne das grosse Engagement unserer treuen Sponsoren nicht umsetzbar. Deshalb gebührt ihnen mein besonderer Dank. Mein Dank richtet sich aber auch an die Referenten, die Aussteller und die Organisatoren, welche es uns ermöglichen, den STC in einer solch hohen Qualität durchführen zu können. Ich wünsche Ihnen viele interessante und lehrreiche Stunden am STC 2022 und einen schönen Aufenthalt in Luzern!

Es grüsst Sie herzlich Ihr
Stefan Maurhofer, Präsident

STS Swiss Tunnelling Society
FGU Fachgruppe für Untertagbau

structures". The topic is not new, but the demands and requirements for the facility management of underground structures are constantly increasing. This is due on the one hand to the increasing ageing of the infrastructure landscape, and on the other to the more and more intensive utilisation of the structures.

The colloquium is again being organised in collaboration with STS young members (STSym). Supporting the development of young, ambitious tunnel builders continues to be extremely important for the STS. Therefore we are again offering an attractive "STSym package", which includes the congress, the colloquium, the flying dinner and an excursion for a special price.

This year the congress programme is once again full of interesting and diverting contributions. In their presentations, our selected speakers will inform you about the current state of projects involving SiSto Kerenzberg Swiss underground structures, the Les Evouettes Tunnel, RBS Bern, Métro Lausanne, the Axenstrasse Tunnel, A2 Melide-Grancia and the Ritom power station. Additionally, case studies and lessons learned will be presented. The presentations from our international tunnel construction projects promise an exciting, technical exchange of experiences across national borders. Finally, we are very happy that Dr Matthias Braun, CEO of Nagra, will hold the introductory presentation on the topic "A hundred-year project – the path to the deep repository".

The offered excursions will take us to the SiSto Kerenzberg, Les Evouettes Tunnel, RBS Bern, Sarnen flood drainage tunnels projects and to the Ritom power station. The participants will be shown different areas of the construction sites so that they themselves can gain comprehensive insight into the work.

None of this would be possible without the outstanding engagement of our loyal sponsors. They therefore deserve my special thanks. However, my gratitude is also directed at the speakers, the exhibitors and the organisers who make it possible for us to hold the STC at such a high level of quality. I wish you many interesting and instructive hours at STC 2022 and a wonderful stay in Lucern!

Sincere greetings from
Stefan Maurhofer, President

STS Swiss Tunnelling Society

Hauptsponsoren • Main Sponsors



Amberg Engineering AG
Amberg Loglay 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



Belloli SA, Grono
Rowa Tunnelling Logistics AG,
Wangen SZ



Herrenknecht AG,
Schwanau (DE)



BG Ingénieurs Conseils SA
BG Ingenieure und Berater AG,
Lausanne



Holcim (Schweiz) AG, Zürich



csc costruzioni sa, Lugano



ILF Beratende Ingenieure AG,
Zürich



Emch+Berger Gruppe, Bern



Implenia Schweiz AG, Opfikon

Sponsoren • Sponsors



Infra Tunnel SA, Marin



PCI Bauprodukte AG,
Holderbank



IM Maggia Engineering AG,
Locarno
IUB Engineering AG, Bern



Pini Gruppe AG, Lugano



Lombardi AG
Bellinzona-Giubiasco, Luzern,
Fribourg



Renzo Tarchini Cantieri &
Contratti SA, Lugano



Marti Technik AG, Moosseedorf



SABAG Biel/Bienne Stahlcenter



Marti Tunnel AG, Moosseedorf



Sika Schweiz AG, Zürich



Bellini Personal AG, Zürich

Co-Sponsoren • Co-Sponsors

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

ACO AG, Netstal

AFRY Schweiz AG, Zürich

Bekaert (Schweiz) AG, Baden

CSD INGÉNIEURS SA, Fribourg

EBP Schweiz AG, Zürich

Epiroc Schweiz AG, Studen BE

GIPO AG, Seedorf

Gruner Stucky SA, Renens

JAUSLIN STEBLER AG, MuttENZ

LDS Construct, Overijse (BE)

Liebherr-Baumaschinen AG, Reiden

Locher Ingenieure AG, Zürich

MAPEI SUISSE SA, Sorens

PORR SUISSE AG, Altdorf

Promat AG, Münchwilen

Robert Aebi AG, Regensdorf

Rothpletz, Lienhard + Cie AG, Aarau

Société Suisse des Explosifs (SSE), Brig

Matthias Braun, CEO Nagra, Wetztingen/CH

Jahrhundertprojekt – der Weg zum Tiefenlager

Wie die Nagra die Zukunft vor der Vergangenheit schützt

Radioaktiver Abfall muss bis zu einer Million Jahre getrennt von Mensch und Umwelt gelagert werden. Viele Länder planen zurzeit den Bau von Tiefenlagern, auch die Schweiz. Die Nagra (Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle) plant ein ca. 50 km langes Stollensystem mehrere hundert Meter unter der Erde in der Gesteinsschicht Opalinuston. Darin soll der radioaktive Abfall die Jahrtausende überdauern.

Project of the Century – the Path to the Deep Geological Repository

How Nagra protects the Future from the Past

Radioactive waste must be isolated from humans and the environment for up to a million years. Many countries, including Switzerland, are currently planning to build deep repositories. Nagra, the National Cooperative for the Disposal of Radioactive Waste, is planning a 50-km-long tunnel system several hundred meters below ground in the Opalinus Clay rock layer. The radioactive waste will be kept here for millennia.

1 Tunnelbau einmal anders

Sie alle sind Tunnelbauerinnen und Tunnelbauer mit Herzblut. Sie bauen Tunnel, um von A nach B zu kommen. Ziel ist es, den Tunnel möglichst robust auszulegen. Man will ihn lange brauchen können, sodass kommende Generationen davon profitieren können. Die Nagra wird auch Tunnel bauen – rund 50 Kilometer –, allerdings mit einer anderen Zielsetzung. Die Nagra ist aber gewissermassen Tunnelbauerin wider Willen. Für uns sind Tunnel ein Mittel zum Zweck. Für das Tiefenlager bauen wir Tunnel, um sie möglichst schnell wieder zu verschliessen. In unseren Stollen lagern wir die gesamten radioaktiven Abfälle der Schweiz auf eine Art und Weise, dass sich zukünftige Generationen nicht mehr darum kümmern müssen.

In unseren Tunnels lagern die radioaktiven Abfälle so lange, bis sie nicht mehr gefährlich sind. Unser Betrachtungszeitraum beträgt dabei rund eine Million Jahre. Doch wie baut man ein Tunnelsystem, das eine Million Jahre hält? Die Antwort gibt der folgende Text – auch die Antworten darauf, was ein klassisches Tunnelprojekt von unserem Jahrhundertprojekt unterscheidet.

1.1 Das Schweizer Tiefenlager

Der Schlüssel zum geologischen Tiefenlager liegt im Gestein, in welchem man das Lager baut, nicht im massiven Ausbau der Tunnel. Anders als bei einem Tunnelbauprojekt, bei dem der Anfang und das Ende vorgegeben sind, kann die Nagra den besten Standort für ein Tiefenlager auswählen. In einem

1 A Different Way of Tunnel Construction

You are all dedicated tunnel builders. You build tunnels to get from A to B. The goal is to design the tunnels as robustly as possible. People want to be able to use them for a long time so that future generations can benefit from them. Nagra is going to build tunnels as well – around 50 kilometres – but with a different set of objectives. But Nagra is, to a certain extent, a tunnel builder against its will. For us, tunnels are a means to an end. We build tunnels for the deep repository in order to close them again as quickly as possible. In our tunnels, we store all of Switzerland's radioactive waste in such a way that future generations will not have to worry about it.

In our tunnels, the radioactive waste will be enclosed until it is no longer hazardous. Our period of consideration here is around one million years. But how do you build a tunnel system that lasts a million years? The following text provides the answer – including the answers to what sets apart a classic tunnel project from our project of the century.

1.1 The Swiss Deep Geological Repository

The key to the deep geological repository lies in the rock in which the disposal tunnels and caverns are built, not in the solid lining of the tunnel. Unlike a conventional tunnel project, where the beginning and the end are clearly defined, we can choose where we want to build our repository. We have searched all over Switzerland for suitable rock layers and decided on one type of rock: the Opalinus Clay.

Le projet du siècle – le chemin qui mène au stockage en couche géologique profonde

Comment la Cedra (Nagra) protège l'avenir des déchets du passé

Les déchets radioactifs doivent être stockés sans entrer en contact avec la vie humaine ou l'environnement jusqu'à un million d'années. De nombreux pays, à l'instar de la Suisse, planifient actuellement la construction de sites de stockage en profondeur. La Cedra prévoit un système de galeries à plusieurs centaines de mètres sous terre dans la couche géologique des argiles à Opalinus. Les déchets radioactifs devraient y reposer pendant des millénaires jusqu'à ne représenter aucun danger. Il faudra environ 50 ans pour que tous les déchets soient stockés en sécurité en profondeur, et environ 100 ans pour que l'entrée du site soit condamnée. Le projet du siècle au sens propre du terme.

Un progetto del secolo – la via che porta al deposito in strati profondi

Come la Nagra protegge il futuro dal passato

Le scorie radioattive devono essere stoccate lontane dalle persone e dall'ambiente per un tempo che può arrivare a un milione di anni. Molti Paesi – tra cui la Svizzera – stanno attualmente progettando la costruzione di depositi in strati profondi. La Nagra sta progettando un sistema di cunicoli di diverse centinaia di metri sottoterra, nello strato roccioso di argilla opalina. Le scorie radioattive dovrebbero rimanere all'interno dello stoccaggio per migliaia di anni – fino a quando non saranno più pericolose. Ci vorranno ancora circa 50 anni prima che le scorie possano essere stoccate nel deposito in strati profondi e ancora circa 100 anni prima che il deposito venga chiuso. Un progetto del secolo in tutto e per tutto.

mehrjährigen Verfahren hat die Nagra die gesamte Fläche der Schweiz nach möglichen Gesteinsschichten untersucht und im Opalinuston, wegen seiner Eigenschaften, das geeignete Gestein gefunden. Das mag auf den ersten Blick etwas irritieren, da der Opalinuston weich und bröckelig ist. Es ist tatsächlich eine Herausforderung, in diesem Gestein Tunnel zu bauen, aber es ist möglich, dafür gibt es viele Beispiele.

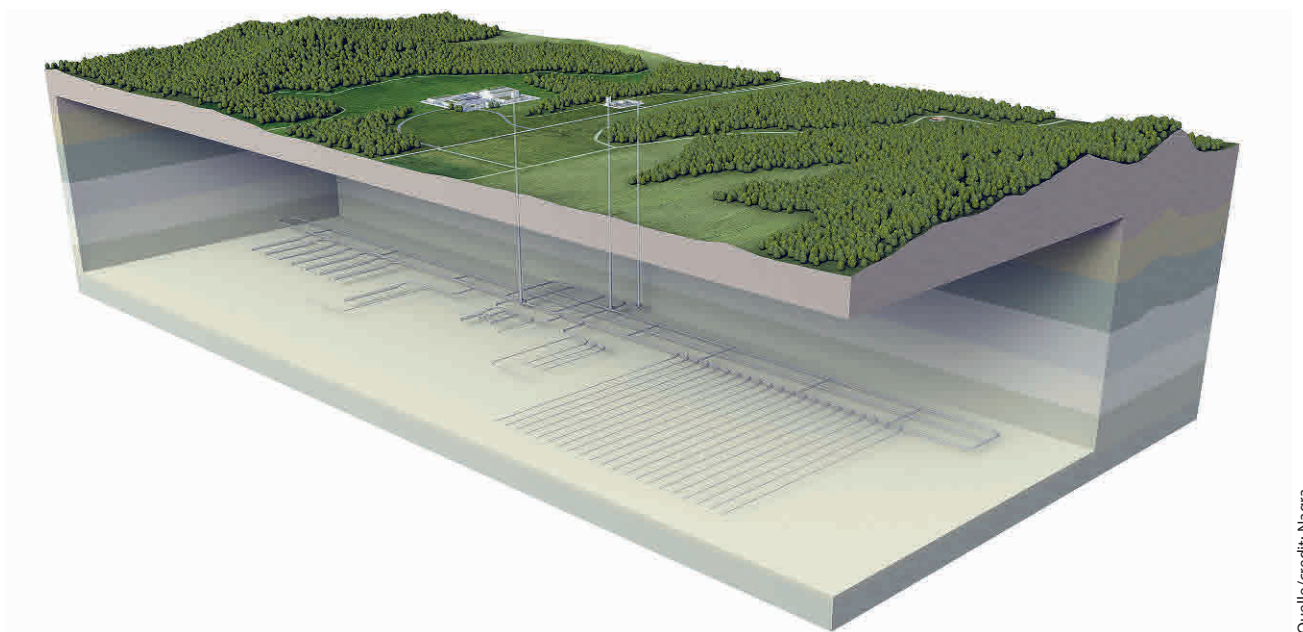
1.2 Das Entsorgungskonzept

Warum fiel die Wahl auf ein Tongestein? Gemäss Entsorgungskonzept ist vorgesehen, dass die am stärksten und

This may seem a bit irritating, as the Opalinus Clay is soft and brittle. It is a challenge to build tunnels in this rock, but it is possible, there are many examples.

1.2 The Waste Disposal Concept

Why was a clay rock chosen? According to the disposal concept, it is envisaged that high-level and long-lived type of radioactive waste, the spent fuel assemblies from the nuclear power plants, will be packaged in thick-walled steel-canisters. These form the first safety barrier. The canisters will prevent the release of radioactive elements for



1 Ein geologisches Tiefenlager ist ein unterirdisches Stollenssystem, in welchem der radioaktive Abfall der Schweiz entsorgt wird
A deep geological repository is a tunnel system below ground in which Switzerland's radioactive waste will be disposed of

Quelle/credit: Nagra

Jahrhundertprojekt – der Weg zum Tiefenlager • Wie die Nagra die Zukunft vor der Vergangenheit schützt



Quelle/credit: Comet Photoshopping GmbH, Dieter Enz

2 Einlagerungsmodell für abgebrannte Brennelemente aus den Kernkraftwerken. Der Endlagerbehälter aus Stahl wird im Stollen platziert, der Stollen mit Bentonitgranulat verfüllt. Die Hauptsicherheitsbarriere stellt das Gestein Opalinuston dar

Storage model for spent fuel assemblies from nuclear power plants. The steel disposal canisters will be emplaced in tunnels, and the tunnels will be backfilled with bentonite granulate. The Opalinus Clay rock provides the most important safety barrier

längsten radioaktiven Abfälle, die abgebrannten Brennelemente aus den Kernkraftwerken, in dickwandige Endlagerbehälter aus Stahl verpackt werden sollen. Diese bilden die erste Sicherheitsbarriere. Die Behälter verhindern das Freisetzen von radioaktiven Elementen während einiger – bis vieler – Jahrtausende. Gemäss unseren Modellrechnungen ist zu erwarten, dass die Endlagerbehälter im Zeitraum zwischen 10 000 und 100 000 Jahren korrodieren und undicht werden. Die weiteren Sicherheitsbarrieren bieten nun den geeigneten Schutz für den gesamten weiteren Zeitraum.

Konkret handelt es sich um die zweite Barriere, die mechanisch installiert wird, und anschliessend die dritte und wichtigste: die natürliche Barriere, der Opalinuston.

Nachdem die Endlagerbehälter im Lagerstollen platziert worden sind, wird der gesamte Tunnel mit Bentonitgranulat verfüllt – die zweite wichtige Barriere. Bentonit besteht hauptsächlich aus Tonmineralien und hat sehr ähnliche Eigenschaften wie das Tongestein, welches anschliessend die Abfälle einschliesst.

Tonmineralien verfügen über zwei Eigenschaften, welche sehr nützlich sind, um radioaktive Abfälle langfristig einzuschliessen: Bentonit und Opalinuston sind beide sehr gering durchlässig für Wasser. Bei Feuchtigkeitzutritt quillen Tonmineralien und dichten dadurch Risse und Klüfte ab. Dies verhindert, dass fliessendes Wasser an die Abfälle gelangen kann. Zudem binden die Tonminerale radioaktive Stoffe und

several millennia. According to our model calculations, the repository containers are expected to corrode and leak within the period of 10,000 to 100,000 years. The further safety barriers will then provide the appropriate protection for the remainder of the set timeframe. Specifically, it is the second barrier, which is installed mechanically, and the third and most important one: the natural barrier, the Opalinus Clay.

After the repository containers have been emplaced in the storage tunnel, the entire tunnel is backfilled with bentonite granulate – the second important barrier. Bentonite consists mainly of clay minerals and has very similar properties to the clay rock that will subsequently retain the waste.

Clay minerals have two properties that are very useful for long-term containment of radioactive waste: Bentonite and Opalinus Clay both have very low permeability to water. When moisture enters, clay minerals swell, sealing cracks and fissures. This prevents flowing water from reaching the waste. In addition, the clay minerals bind radioactive substances and thus retain them. The diffusion of radionuclides, i.e. the migration of radioactive elements through solid rock, is thus greatly slowed down.

In all three regions considered for a repository, the Opalinus Clay is about 100 meters thick and is located at a depth of between 600 and 800 meters.

Project of the Century – the Path to the Deep Geological Repository •

How Nagra Protects the Future from the Past

halten sie so zurück. Die Diffusion von Radionukliden, also das Wandern von radioaktiven Elementen durch festes Gestein, wird dadurch stark verlangsamt.

In allen drei Regionen, welche für ein Tiefenlager zur Auswahl stehen, ist der Opalinuston ca. 100 Meter mächtig und befindet sich in einer Tiefe zwischen 600 und 800 Meter.

1.3 So wenig wie möglich, so viel wie nötig

Der fundamentale Unterschied zwischen einem Tunnel und dem Tiefenlager ist, dass ein Tunnel seine Funktion erfüllt, wenn er offen ist, das Tiefenlager aber, wenn die Tunnel verschlossen sind. Es ist vorgesehen, dass die Lagerstollen nur so lange offen bleiben, bis die Abfälle darin platziert sind. Die anschließende Verfüllung hat Auswirkungen auf den Ausbau der Tunnel. Einerseits werden die Tunnel so wenig wie möglich, aber so viel wie nötig verstärkt – da der Tunnel per se nur während der kurzen Zeit der Verfüllung seine Funktion als Tunnel wahrnehmen muss. Andererseits wird das gesamte Material, das in den Untergrund gebracht wird, im Tiefenlager bleiben.

Ziel ist es, das Gestein und das natürliche Gleichgewicht im Untergrund so wenig wie möglich zu stören, damit die natürliche Barriere ihre Funktion bestmöglich wahrnehmen kann und stabile Bedingungen herrschen. Konkret heisst das: den Wasserzutritt minimieren und den Rückhalt von radioaktiven Stoffen gewähren. Das Bauwerk im Untergrund wird nur für kurze Zeit offen und für Menschen zugänglich sein, das Lager an sich wird tief unter der Erde jedoch die Jahrtausende überdauern.

2 Auf dem Weg zum Tiefenlager

Die Details zur Suche nach dem besten Standort sind im «Sachplan geologische Tiefenlager» festgehalten. Der Bund führt dieses breit abgestützte Verfahren, welches in drei Etappen gegliedert ist und seit 2008 läuft. In der ersten Etappe ging es darum, Gebiete festzulegen, die aufgrund sicherheitstechnischer und geologischer Kriterien als Standorte von Tiefenlagern in Frage kommen. Ausgangspunkt war eine weisse Landkarte der Schweiz, das heisst, es wurden in der ganzen Schweiz in Frage kommende Gebiete und Gesteinsschichten betrachtet. So konnten wir sechs mögliche Standortgebiete identifizieren, die dann vom Bundesrat zur weiteren Untersuchung festgelegt wurden.

In der zweiten Etappe hat die Nagra den Untergrund der möglichen Standortgebiete unter anderem mit seismischen Messungen untersucht. Anschliessend folgte ein sicherheitstechnischer Vergleich aller Gebiete anhand von Vorgaben der Bundesbehörden. Am Ende der zweiten Etappe legte der Bundesrat die Standortgebiete Jura Ost (Kanton Aargau), Nördlich Lägern (Kantone Aargau und Zürich) und Zürich Nordost (Kantone Thurgau und Zürich) fest.

Diese drei Gebiete wurden in der dritten Etappe vertieft untersucht. Das Untersuchungsprogramm umfasst die bereits

1.3 As Little as Possible, as Much as Necessary

The fundamental difference between a tunnel and the deep repository is that a tunnel fulfils its function when it is open, but the deep repository when the tunnels are closed. It is envisaged that the repository tunnels will remain open only until the waste has been placed in them. The subsequent backfilling has implications for the liners of the tunnels. On the one hand, the tunnels will be reinforced as little as possible, but as much as necessary – since the tunnel per se, only has to perform its function as a tunnel during the short period of backfilling. On the other hand, all the material that is brought underground will remain in the repository.

The aim is to disturb the rock and the natural equilibrium in the underground as little as possible, so that the natural barrier can perform its function in the best possible way and the stable conditions prevail. In concrete terms this means, minimizing water influx and ensuring the retention of radioactive substances. The underground construction will only be open and accessible to people for a short period of time, but the repository itself will remain for thousands of years.

2 The Path to a Deep Geological Repository

The search for the most suitable site is performed in line with the “Sectoral Plan for Deep Geological Repositories”. The federal government is responsible for managing this widely supported process, which is divided into three stages and has been running since 2008. Stage 1 involved identifying potential siting regions for deep repositories on the basis of safety-related and geological criteria. The starting point was a white map of Switzerland, meaning that possible areas and rock layers all over Switzerland were considered. In this way we were able to identify six potential siting regions that the Federal Council designated for further analysis.

In Stage 2, we analysed the potential siting regions by performing seismic measurements and other geological investigations. This was followed by a safety-based comparison of all the siting regions using specifications set out by the federal authorities. At the end of Stage 2, the Federal Council designated the remaining potential siting regions Jura Ost (Canton Aargau), Nördlich Lägern (Cantons Aargau and Zürich) and Zürich Nordost (Cantons Thurgau and Zürich).

We are now analysing these three regions in more detail in Stage 3. The analysis programme includes further seismic measurements (2D and 3D), which have already been carried out, and two different types of borehole campaigns (deep boreholes and Quaternary boreholes). This information will complete the already available overall geological picture of the geological situation in the siting regions. Based on the results of these analyses and the safety-based comparison of the siting regions, we will be able to announce this year which siting region is best suited for a repository from a geological perspective.

Jahrhundertprojekt – der Weg zum Tiefenlager •

Wie die Nagra die Zukunft vor der Vergangenheit schützt

durchgeführten seismischen Messungen (2D und 3D) sowie Quartär- und Tiefbohrungen. Die Bohrungen vervollständigen das bereits vorhandene geologische Gesamtbild des Untergrunds in den Standortgebieten. Auf Basis der Resultate dieser Untersuchungen und des sicherheitstechnischen Vergleichs der Standortgebiete wird die Nagra im Herbst bekanntgeben, welches Standortgebiet sich aus geologischer Sicht am besten für ein Tiefenlager eignet.

2.1 Die nächsten Phasen

Für den von der Nagra vorgeschlagenen Standort wird die Nagra ein Rahmenbewilligungsgesuch ausarbeiten und voraussichtlich Ende 2024 einreichen. Die Bundesbehörden werden dieses daraufhin prüfen, damit als Erstes der Bundesrat und in einem zweiten Schritt das Parlament über die Bewilligung des Tiefenlagers entscheiden kann. Der Parlamentsentscheid untersteht dem fakultativen Referendum, was bedeutet, dass gegen die Erteilung der Bewilligung das Referendum ergriffen werden kann. Sollte dies zustande kommen, gibt es eine Volksabstimmung (ca. 2031).

Voraussichtlich werden zwischen 2050 und 2075 die Abfälle eingelagert und die Stollen verfüllt. Lediglich ein kleiner Teil des Lagers sowie die Zugangsbauwerke sind während der danach folgenden Beobachtungsphase von mehreren Jahrzehnten noch offen. Für 2125 ist geplant, das gesamte Lager mit allen Zugängen zu verschliessen und die Beobachtungsphase zu beenden.

2.2 Kosten und Finanzierung

Die Finanzierung ist über das Verursacherprinzip geregelt. Wer Strom benutzt bzw. Abfall produziert, bezahlt beim Verbrauch auch für die Entsorgung.

Einen Grossteil der radioaktiven Abfälle produzieren die Kernkraftwerke. Kostenpunkt der gesamten Entsorgung: rund 23 Milliarden Schweizer Franken. Der Rückbau der Schweizer Kernkraftwerke kostet gut 3,5 Milliarden. Die restlichen knapp 20 Milliarden fliessen in die Forschung, den Bau, Betrieb und schlussendlich Verschluss des Tiefenlagers. Die gemäss heutigem Planungsstand geschätzten Rohbaukosten für ein geologisches Tiefenlager belaufen sich auf ca. eine Milliarde Schweizer Franken. 90% der Gesamtkosten tragen die Kernkraftwerke und knapp 10% der Bund, der für die Entsorgung der radioaktiven Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung aufkommt.

Kernkraftwerke produzieren einen Grossteil des radioaktiven Abfalls, liefern im Gegenzug gut einen Drittel des Schweizer Strombedarfs. Vom Preis einer genutzten Kilowattstunde Atomstrom fliesst wiederum ca. ein Rappen in die Entsorgung der radioaktiven Abfälle.

2.3 Gemeinsam zum Ziel

Ein Projekt mit noch über 100 Jahren Laufzeit und einem Budget von knapp 20 Milliarden Schweizer Franken kann die Nagra unmöglich im Alleingang stemmen.

2.1 The Next Phases

Nagra will prepare a general licence application for the selected site and is planning to submit this to the federal authorities towards the end of 2024. The authorities will review the application, in order for the Federal Council and, in a second step, the Parliament, to decide on the granting of the deep geological repository. The decision of the Parliament will also be subject to an optional national referendum. This means that the voters of Switzerland could have the final say (in approx. 2031).

It is expected that between 2050 and 2075 the waste will be emplaced, and the tunnels backfilled. Only a small part of the repository and the access structures will remain open during the subsequent observation phase of several decades. For 2125, it is planned to close the entire repository with all accesses and to end the observation phase.

2.2 Costs and Financing

Financing is regulated by the “polluter-pays” principle. Anyone who uses electricity or produces waste also pays for its disposal. Most of the radioactive waste is produced by nuclear power plants. Total disposal costs are estimated to amount to around 23 billion Swiss francs. The decommissioning of the Swiss nuclear power plants will cost about 3.5 billion Swiss francs. The remaining roughly 20 billion Swiss francs will go to research and the construction, operation and finally the sealing of the repository. According to current planning, tunnel construction costs are estimated to amount to approximately one billion Swiss francs. Of the overall costs, 90% will be borne by the nuclear power plant operators and just under 10% by the federal government, which pays for the disposal of radioactive waste arising from medicine, industry and research.

Nuclear power plants produce the majority of the radioactive waste and, in return, meet over a third of Switzerland's electricity demand. For each kilowatt hour of nuclear power, the consumer pays around 1 Rappen (Cent) towards the disposal of radioactive waste.

2.3 Working Together towards One Goal

A project with a lifespan of over 100 years and a budget of just under 20 billion Swiss francs: Nagra could not possibly handle such a project on its own.

The various tasks surrounding the Swiss deep geological repository are clearly defined. In order to handle this project, the various players perform their respective tasks. Nagra's tasks are to develop the technology and science required for the safe, long-term disposal of radioactive waste in Switzerland and to identify the most suitable site for a deep geological repository. Nagra will also build and operate the repository. Experts from the Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate (ENSI) review all of Nagra's work and advise the Federal Council in making its decisions. The Federal Office

Project of the Century – the Path to the Deep Geological Repository • How Nagra Protects the Future from the Past

Die verschiedenen Aufgaben rund um das Schweizer Tiefenlager sind klar verteilt. Um dieses Projekt zu stemmen, nehmen die verschiedenen Akteure ihre jeweiligen Aufgaben wahr. Die Nagra hat die Aufgabe, technisch-wissenschaftlich darzulegen, wie der Schweizer Atomabfall langfristig sicher gelagert werden kann und an welchem Ort. Anschliessend wird die Nagra das Tiefenlager bauen und betreiben. Die Experten des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats (ENSI) überprüfen die Arbeiten der Nagra und beraten den Bundesrat bei seinen Entscheidungen. Das Bundesamt für Energie (BfE) leitet die Standort-suche. Die Kantone wirken auf politischer Ebene mit und die Regionalkonferenzen vertreten die Interessen der Regionen. Selbstverständlich beteiligen sich zahlreiche weitere Organisationen und Fachstellen und leisten wertvolle Beiträge.

All diese Akteure arbeiten regelmässig zusammen. Die Zusammenarbeit ist intensiv und macht das Tiefenlager zu einem Schweizer Projekt im besten Sinne. Es ist sehr motivierend zu sehen, wie alle Akteure zusammenarbeiten, um eine Lösung zu entwickeln und zu realisieren.

2.4 Eine Tunnelbaunation

Jahrhundertprojekte realisiert man nur gemeinsam, das ist kein Geheimnis. Das Tiefenlager können wir aber auch nur dann bauen, wenn wir in der Lage sind, gute Tunnel und Stollen zu bauen – auch wenn für dieses Projekt die Stollen und Tunnel nur dazu dienen, den Abfall im stabilen Gestein einzulagern, und der Schlüssel zur langfristigen Sicherheit nicht im Tunnelausbau, sondern im Gestein liegt. Entsprechend erfreulich ist es zu sehen, dass die Schweiz eine wahrhaftige Tunnelbaunation ist! Es gibt unglaublich viel Know-how in allen Disziplinen des Tunnelbaus, das zeigt sich auch an diesem Kongress. Egal, ob man einen Tunnel nun baut, um von A nach B zu kommen oder um zukünftige Generationen vor unseren Hinterlassenschaften zu schützen.

Bis der erste Lagerstollen für radioaktiven Abfall gebaut wird, vergeht noch einige Zeit. Wir werden dann die Tunnel, Schächte und Stollen gemäss dem zukünftigen State of the Art bauen. Aber wer weiss, vielleicht wird der eine oder die andere auch auf irgendeine Art und Weise am Projekt Tiefenlager mitarbeiten. Ich freue mich auf alle Fälle darüber, dieses einzigartige Projekt weiter voranzutreiben und zu realisieren – gemeinsam und mit guten Tunnelbauerinnen und Tunnelbauern!

for Energy manages the site selection process. The cantons contribute on a political level, and the regional conferences represent the regions. Numerous other organisations and specialist departments are involved and make valuable contributions.

All these stakeholders work together on a regular basis. The cooperation is intensive and makes the deep geological repository a Swiss project in the best sense. It is very motivating to see how all the stakeholders are working together to develop a solution that works for Switzerland.

2.4 A Tunnel-Building Nation

It is no secret that projects of the century can only be realised by working together. We will only be able to build the repository if we are able to build good tunnels – even if we “only” use them for waste disposal in stable rock, and the key to long-term safety lies in the rock rather than in the tunnel construction. Accordingly, we are very happy that Switzerland is a true tunnel-building nation! We have an unbelievable amount of expertise in all tunnel-building disciplines, which can also be clearly seen at this congress. Regardless of whether a tunnel is built to get from A to B or to protect future generations from our waste legacy.

It will be a long time before we build the first repository tunnels for radioactive waste. We will build our tunnels, caverns and shafts according to the future state of the art. And who knows, maybe one of you will also cooperate on the deep geological disposal project in some way. In any case, I am happy to further advance and realise this unique project – together and with good tunnel builders!



Quelle/credit: Comet Photoshopping GmbH, Dieter Enz

3 Stollen im Felslabor Mont Terri, wo die Nagra an der Entsorgung von radioaktivem Abfall forscht. Im Holzfenster ist der Opalinuston zu sehen

Tunnel in the Mont-Terri Rock Laboratory where Nagra conducts research on radioactive waste disposal. The Opalinus Clay is visible in the wooden window

Jodok Bregy, Dipl. Bau-Ing. ETH/SIA, Locher Ingenieure AG, Zürich/CH

Sicherheitsstollen Kerenzerbergtunnel

Erfahrungen aus der Planung, Ausschreibung und Realisierung

Der rund 5,7 km lange Kerenzerbergtunnel auf der Nationalstrasse A3 wird 35 Jahre nach der Eröffnung sicherheitstechnisch aufgerüstet und instand gesetzt. Zentrales Element dieser Instandsetzung ist der Neubau eines parallelen Sicherheitsstollens. Das Normalprofil des Sicherheitsstollens ist durch eine kombinierte Nutzung als Werkleitungskanal mit Fluchtweg sowie als Abluftkanal charakterisiert.

Kerenzerberg Road Tunnel Safety Gallery

Experiences from Design, Invitation to Tender and Execution

The 5.7 km long Kerenzerberg Road Tunnel on the A3 national road is undergoing a safety upgrade and maintenance 35 years after it was opened. A key element of this maintenance is the new construction of a parallel safety gallery. The standard cross section of the safety gallery is characterised by combined usage as a service tunnel with an escape tunnel as well as an exhaust duct.

1 Einleitung

Der Kerenzerbergtunnel ist Teil der Nationalstrasse A3 und befindet sich auf dem Gebiet des Kantons Glarus zwischen den Anschlüssen Weesen und Murg. Im Jahr 1986 wurde der 5691 m lange Tunnel für den Verkehr (Fahrtrichtung Chur) freigegeben und erfuhr seitdem keine grösseren Instandsetzungen. Um den Kerenzerbergtunnel den heute gültigen Richtlinien und Normen anzupassen, wird der Strassentunnel sicherheitstechnisch aufgerüstet und instand gesetzt. Das zentrale Element der Instandsetzungsmassnahmen ist der Neubau eines parallelen Sicherheitsstollens.

1 Introduction

The Kerenzerberg Road Tunnel is part of the A3 national road and is located within the region of the Canton of Glarus, between the Weesen and Murg junctions. In 1986 the tunnel measuring 5,691 m was released for traffic (towards Chur) and has not experienced any major maintenance work since then. In order to adapt the Kerenzerberg Road Tunnel to the guidelines and standards applicable today, the road tunnel is undergoing a safety upgrade and maintenance. The key element of the maintenance measures is the new construction of a parallel safety gallery.



1 Situation Kerenzerbergtunnel mit Sicherheitsstollen
Kerenzerberg Rail Tunnel situation with safety gallery

Galerie de sécurité du tunnel du Kerenzerberg

Expérience tirée des phases de planification, soumission et réalisation

Le projet se distingue par les 5,5 km de la galerie de sécurité qui ont servi à la fois de conduit de service avec issue de secours et de conduit d'évacuation d'air. En cas d'incendie, le conduit d'évacuation d'air situé au-dessus est relié au tunnel routier tous les 100 m par des galeries de ventilation. Des liaisons transversales, espacées d'environ 300 m, assurent l'évacuation du tunnel vers le conduit de service situé en dessous. La galerie de sécurité est creusée sur 5 km par un tunnelier à double bouclier et sur les 500 m restants, à l'explosif. L'excavation des liaisons transversales et des galeries d'évacuation d'air est réalisée en parallèle de l'avancement du tunnelier.

Cunicolo di sicurezza della galleria del Kerenzerberg

Esperienze ricavate dalla progettazione, dal capitolato di fornitura e dalla realizzazione

L'uso combinato del cunicolo di sicurezza lungo 5,5 km quale canale di servizio con vie di fuga e quale canale dell'aria di scarico è una peculiarità del progetto. Nel caso in cui si verifici un incendio, il canale dell'aria di scarico soprastante è connesso ogni 100 m con la galleria stradale per mezzo dei cunicoli dell'aria di scarico. I collegamenti trasversali a una distanza di circa 300 m garantiscono la via di fuga dalla galleria al sottostante canale di servizio. Circa 5 km del cunicolo di sicurezza sono realizzati con una fresa meccanica a piena sezione con doppio scudo, 500 m con avanzamento per brillamento. La realizzazione dei collegamenti trasversali e dei cunicoli dell'aria di scarico avviene parallelamente all'avanzamento della fresa meccanica a piena sezione.

2 Planung

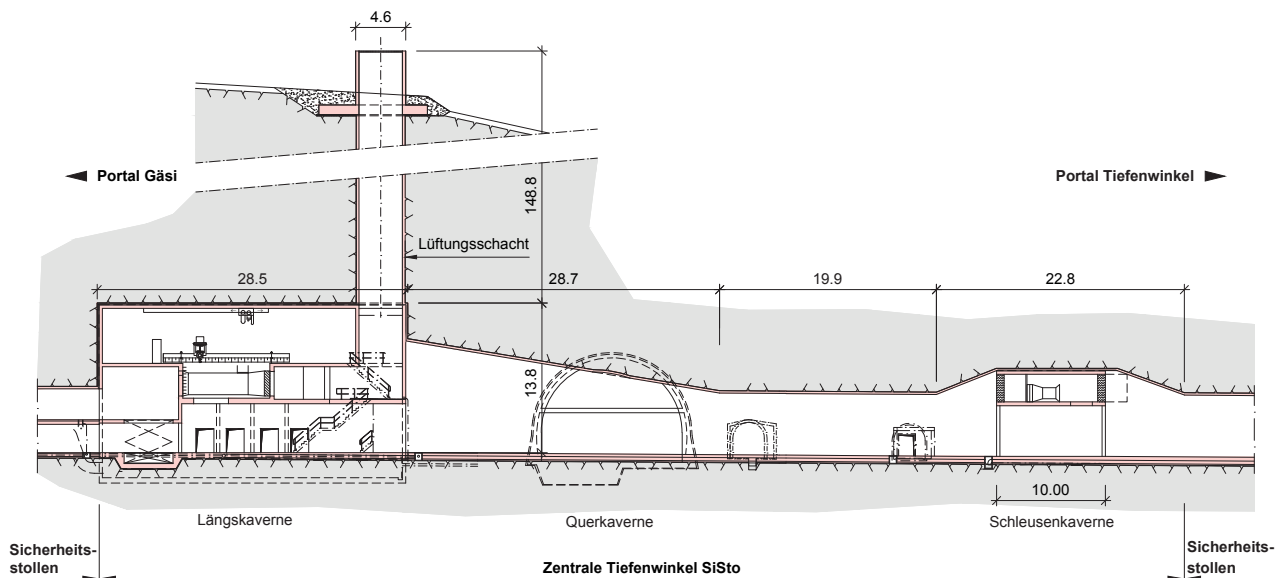
2.1 Linienführung und Projektelemente

Der seeseitig liegende Sicherheitsstollen weist eine Länge von 5504 m auf und verläuft parallel zum Kerenzerbergtunnel (Bild 1). Der Achsabstand beträgt zwischen 20 und 25 m. Im Bereich Hofwald entfernt sich der Sicherheitsstollen bis zu 65 m vom bestehenden Strassentunnel, um die Lüftungszentrale Hofwald zu umfahren. Der Sicherheitsstollen kreuzt stattdessen den angrenzenden Lüftungs- und Fluchtstollen Hofwald. Das im Westen liegende Portal Gäsi mit der Lüftungszentrale Gäsi liegt zwischen dem Einfahrtsportal des Kerenzerbergtunnels sowie dem Ausfahrtsportal

2 Design

2.1 Route Alignment and Project Elements

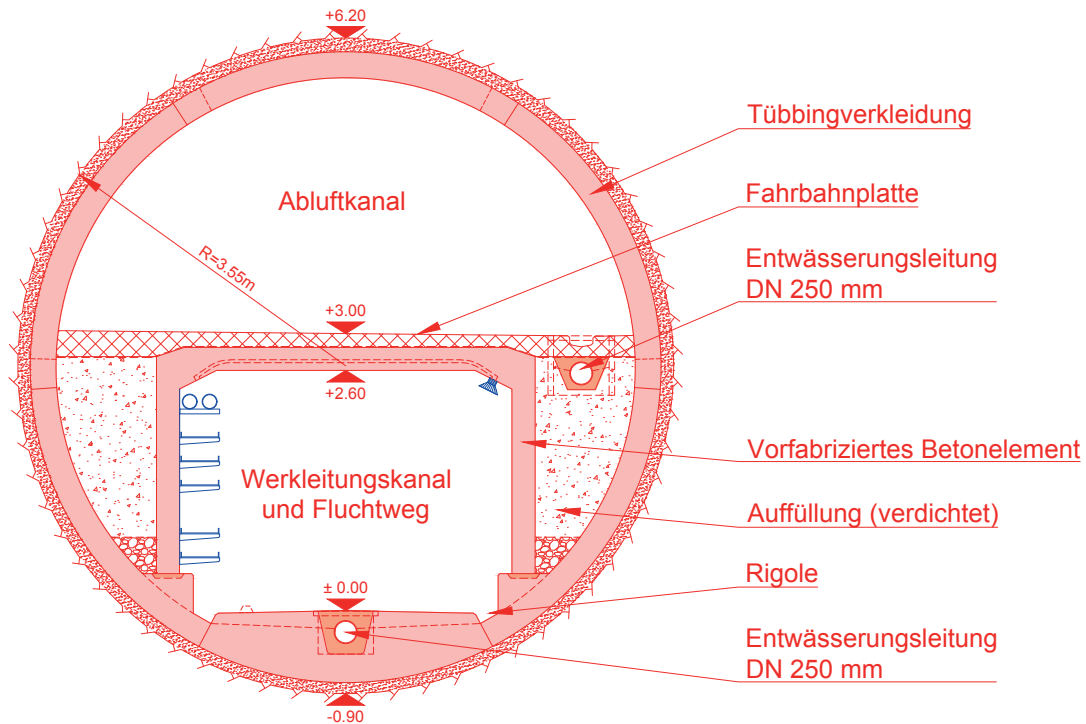
The safety gallery lies on the lakeside and has a length of 5,504 m, running parallel to the Kerenzerberg Road Tunnel (Fig. 1). The tunnel centreline distance is between 20 and 25 m. In the Hofwald area, the safety gallery lies up to 65 m away from the existing road tunnel in order to bypass the Hofwald ventilation centre. Instead, the safety gallery crosses the adjoining Hofwald ventilation and escape tunnel. The Gäsi portal in the west with the Gäsi ventilation centre lies between the entrance portal to the Kerenzerberg Road Tunnel and the exit portal from the Ofenegg Tunnel travelling



Quelle/credit: INGE K2

2 Längsschnitt Zentrale Tiefenwinkel
Tiefenwinkel centre longitudinal section

Sicherheitsstollen Kerenzertunnel • Erfahrungen aus der Planung, Ausschreibung und Realisierung



Quelle/credit: INGE K2

3 Normalprofil Sicherheitsstollen
Standard cross section of safety gallery

des Ofneggtunnels in Fahrtrichtung Zürich. Das Ostportal im Tiefenwinkel liegt rund 180 m nordwestlich des Tunnels an der Kerenzertbergstrasse. Ausschlaggebend für diesen Portalstandort ist ein tiefgründiges Rutschgebiet im Bereich des Ostportals des Kerenzertbergtunnels, welches bereits beim Bau für Hangbewegungen bis zu 25 cm verantwortlich war. Neben der Verlegung des Portals nach ausserhalb des Rutschgebiets wurde die Lüftungszentrale Tiefenwinkel aufgrund der geologischen Verhältnisse im Portalbereich circa 200 m in den Berg verschoben. Diese unterirdische Lüftungszentrale besteht aus einer Längs- und einer Querkaverne, einer Schleusenkaverne sowie einem rund 150 m hohen Lüftungsschacht, welcher im Gebiet Hochschleipfen mit einem 5 m hohen Rauchauslass ins Freie mündet (Bild 2). Zwei kleinere Kavernen in den Viertelpunkten des Sicherheitsstollens ergänzen als Unterzentralen die Energieversorgung.

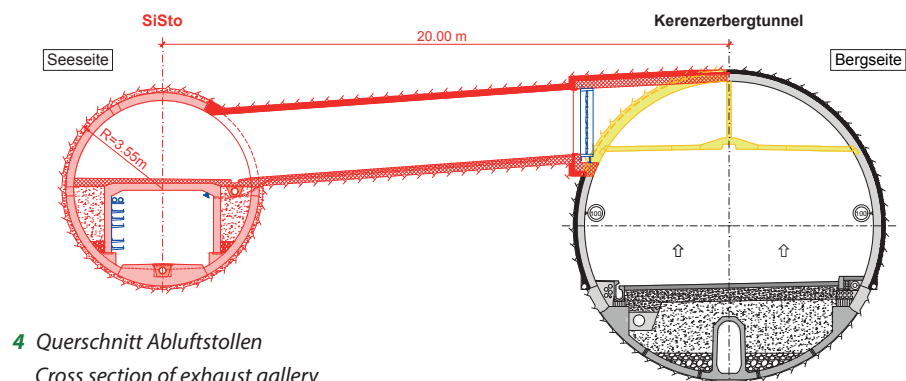
towards Zürich. The east portal in Tiefenwinkel is located around 180 m north-west of the tunnel on the Kerenzertberg road. Pivotal to this portal location is a deep landslip area near to the east portal of the Kerenzertberg Road Tunnel, which was responsible for slope movements of up to 25 cm back during the construction period. Besides relocating the portal outside of the landslip area, the Tiefenwinkel ventilation centre was moved approximately 200 m into the mountain due to the geological conditions in the portal area. This underground ventilation centre consists of a longitudinal and a transverse cavern, a lock cavern as well as a 150 m high ventilation shaft, which leads to the outside with a 5 m high smoke outlet in the Hochschleipfen area (Fig. 2). Two smaller caverns in the quarter points of the safety gallery complement the power supply as sub-centres.

2.2 Normalprofil

Aufgrund der kombinierten Nutzung des Sicherheitsstollens als Fluchtweg sowie als Abluftkanal ist der Querschnitt in zwei getrennte Bereiche unterteilt (Bild 3). Der untere Teilquerschnitt dient im Ereignisfall als Fluchtweg und wird gleichzeitig auch als Werkleitungskanal genutzt. Dieser Bereich ist alle 300 m durch insgesamt 20 Querverbindungen mit dem Kerenzertbergtunnel verbunden. Der obere Bereich

2.2 Standard Tunnel Cross Section

Due to the combined use of the safety gallery as an escape tunnel and an exhaust duct, the cross section is divided into



4 Querschnitt Abluftstollen
Cross section of exhaust gallery

Quelle/credit: INGE K2

Kerenzerberg Road Tunnel Safety Gallery •

Experiences from Design, Invitation to Tender and Execution

des Sicherheitsstollens wird als Abluftkanal genutzt und ersetzt im Endzustand die Funktion des heutigen Lüftungskanals oberhalb der Zwischendecke im Tunnel. Im Brandfall werden die Rauchgase aus dem Fahrraum durch die Abluftstollen abgesaugt und über den Abluftkanal zu den Rauchaussparungen an beiden Portalen geführt (Bild 4). Die 52 Abluftstollen weisen einen Abstand von rund 100 m auf und verbinden den Kalottenbereich des Tunnels mit dem Abluftkanal im Sicherheitsstollen.

Der Sicherheitsstollen weist einen kreisförmigen Querschnitt mit einer Ausbruchfläche von 39,6 m² und einem Aussendurchmesser von 7,10 m auf. Der Ausbau erfolgt einschalig mit vorfabrizierten, stahlfaserbewehrten Tübbingungen. Im Bereich des Abluftkanals werden zur Minimierung von Abplatzungen durch heisse Rauchgase zusätzlich PP-Fasern beigemischt. Vorfabrizierte und seitlich hinterfüllte Betonelemente bilden den Fluchtweg mit Werkleitungskanal. Eine 13 cm starke Betonplatte auf den vorfabrizierten Elementen stellt die dichte Trennung zwischen Fluchtweg und Abluftkanal sicher. Die Platte dient zudem als Schutzschicht der Betonelemente gegen die heissen Rauchgase und ist gleichzeitig Fahrbahn für die Unterhaltsfahrzeuge im Abluftkanal.

2.3 Geologie

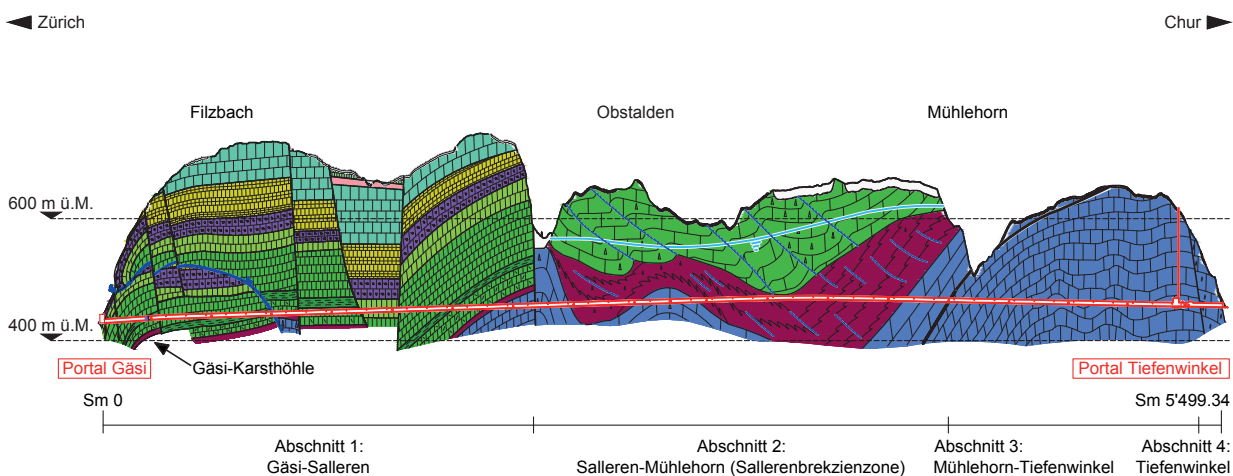
Der Sicherheitsstollen durchfährt zwischen den Portalen Gäsi und Tiefenwinkel die oft flach liegenden Kalk- und Mergelschichten der Helvetischen Mürtschen- und der darunterliegenden Glarner Decke. Es werden vier geologische Abschnitte unterschieden (Bild 5). Im ersten Abschnitt liegen vorwiegend unterschiedlich gebankte, kompakte Kalke mit dazwischenliegenden dünnmächtigen Mergeln vor. Insbesondere in diesem Bereich können Karstphänomene auftreten. Das Gestein weist zudem auf den ersten 1400 m dieses Abschnittes eine geogene Arsenbelastung auf, was bei der Verwertung des Ausbruchmaterials zu berücksichtigen ist. Der zweite Abschnitt führt durch die sogenannte Sallerenbrekzienzone, einen tektonisch unterschiedlich stark

two separate areas (Fig. 3). The lower partial cross section acts as an escape route in an emergency and at the same time is also used as a service tunnel. This area is connected with the Kerenzerberg Road Tunnel every 300 m by a total of 20 cross passages. The upper section of the safety gallery is used as a smoke duct and in its final state will replace the function of the current ventilation duct above the intermediate ceiling in the tunnel. In case of fire, the smoke gases will be extracted from the driving area through the exhaust gallery and directed via the exhaust duct to the smoke outlets at both portals (Fig. 4). The 52 exhaust galleries are spaced around 100 m apart and connect this upper part of the tunnel to the exhaust duct of the safety gallery.

The safety gallery has a circular cross section with an excavated area of 39.6 m² and an outer diameter of 7.10 m. The lining is done as a single shell with prefabricated, steel-fibre-reinforced segments. In the area of the exhaust duct, to minimise spalling caused by hot smoke gases, PP fibres are also mixed in. Prefabricated and laterally backfilled concrete elements form the escape route with a service channel. A 13 cm thick concrete slab on the prefabricated elements ensures the airtight separation between the escape route and exhaust duct. The slab also acts as a protective layer on the concrete elements against the hot smoke gases and at the same time serves as a road for the maintenance vehicles in the exhaust duct.

2.3 Geology

Between the portals of Gäsi and Tiefenwinkel, the safety gallery passes through the often flat limestone and marl layers of the Swiss Mürtschen nappe and the Glarus thrust below it. Four geological sections are distinguished (Fig. 5). In the first section there are predominantly thin to thickly bedded, compact limestones with thin marls between them. Karst phenomena can occur particularly in this area. The rock also features geogenic arsenic contamination on the first 1400 m of this section, which needs to be taken into account



5 Geologisches Längenprofil (3-fach überhöht)
Geological longitudinal profile (inflated 3x)

Quelle/credit: CSD Ingenieure AG

Sicherheitsstollen Kerenzertunnel •

Erfahrungen aus der Planung, Ausschreibung und Realisierung

beanspruchten Bereich der östlichen Mürtschendecke, in welchem vermehrt Wassereintritte erwartet werden. Die Abschnitte drei und vier durchqueren die Quinten-Formation der Glarner Decke. Hier sind die Kalke stark zerrüttet, wobei im vierten Abschnitt eine besonders intensive Zerklüftung vorherrscht und lehmige Spaltenauffüllungen auftreten können.

2.4 Bauablauf

In einem ersten Schritt wird der Sicherheitsstollen mit den Zentralen und Nebenbauwerken erstellt und ausgerüstet. Die Querverbindungen sowie die Abluftstollen werden in dieser Bauphase bis ans Gewölbe des Kerenzertunnels ausgebrochen. Der Anschluss der Querverbindungen und Abluftstollen an den Strassentunnel erfolgt erst später, zusammen mit der Instandsetzung des Kerenzertunnels.

3 Ausschreibung

Der Ausbruch des Sicherheitsstollens ist in zwei Lose aufgeteilt und wird sowohl von Westen als auch von Osten vorgerieben. Das Los 1 ab Portal Gäsi beinhaltet den TBM-Vortrieb bis in die Längskaverne der Zentrale Tiefenwinkel, in welcher die TBM für den Abtransport demontiert wird. Neben dem Auffahren der beiden Unterzentralen sind die 52 Abluftstollen sowie 18 der 20 Querverbindungen Bestandteil von Los 1. Das Los 2 beinhaltet den Gegenvortrieb ab Portal Tiefenwinkel mit dem Ausbruch des Sicherheitsstollens, der unterirdischen Kavernen und des Lüftungsschachtes sowie dem Bau des Rauchauslasses in Hochschleipfen. Der komplette Innenausbau des Sicherheitsstollens, die Verkleidung und der Innenausbau der Kavernen und Unterzentralen sowie der Bau der Portalzentrale Gäsi erfolgen durch das Los 1. Somit kann die Logistik für den Innenausbau durch das Los 1 optimiert werden und bei Bedarf von zwei Portalseiten her erfolgen.

In beiden Losen gab die Bauherrschaft in der Submission lediglich den Termin für den Baustart vor. Weder das Bauende noch der Bauablauf waren vordefiniert. Das Bauende wurde in der Evaluation der Offerten auch explizit nicht bewertet. Insbesondere im Los 1 sollte damit den Anbietenden die Möglichkeit gegeben werden, ihre Angebote baubetrieblich optimal auf den TBM-Vortrieb, die zahlreichen Querverbindungen und Abluftstollen sowie den Innenausbau des 5,5 km langen Sicherheitsstollens abzustimmen. In der Offertevaluation zeigte sich, dass die Anbietenden den baubetrieblichen Ablauf und die Logistik auf unterschiedliche Weise angegangen sind, was sich in der Bauzeit und den Kosten niedergeschlagen hat. Der hauptsächliche Unterschied der Angebote lag im Zeitpunkt der Ausbrucharbeiten für die Querverbindungen und Abluftstollen. Mit den fünf Angeboten für das Los 1 lagen fünf verschiedene Bauabläufe vor. Die Bauzeit variierte dementsprechend zwischen 47 und 70 Monaten. Die Preisspanne der fünf Angebote von Los 1 betrug 57%. Bei den Angeboten mit einer kürzeren Bauzeit war der Ausbruch der Abluftstollen und teilweise auch der Querverbindungen parallel zum TBM-Vortrieb vorgesehen.

when utilising the excavated material. The second section runs through the so-called Salleren breccia zone, an area of the Mürtschen nappe subject to varying tectonic loads, where water ingress is increasingly expected. Sections three and four pass through the Quinten Formation of the Glarus thrust. The limestone here is severely shattered, whereby particularly intensive fissuring prevails in the fourth section and instances of clayey crack filling can occur.

2.4 Construction Workflow

In a first stage, the safety gallery is created and equipped with the control centres and ancillary structures. The cross passages as well as the exhaust galleries are excavated in this construction phase up to the vault of the Kerenzertunnel Road Tunnel. The cross passages and exhaust galleries are not connected to the road tunnel until later, together with the maintenance of the Kerenzertunnel Road Tunnel.

3 Invitation to Tender

The breakout of the safety gallery is divided into two lots and is excavated from both the west and the east. Lot 1 from Gäsi portal includes excavation with the tunnel boring machine up to the lot of the Tiefenwinkel control centre, where the tunnel boring machine is dismantled for its removal. Besides excavating the two sub-centres, the 52 exhaust galleries plus 18 of the 20 cross passages are part of Lot 1. Lot 2 includes the excavation in the opposite direction from Tiefenwinkel portal with the breakout of the safety gallery, the underground caverns and the ventilation shaft as well as the construction of the smoke outlet in Hochschleipfen. The complete interior work on the safety gallery, the lining and interior work on the caverns and sub-centres as well as the construction of the Gäsi portal control centres are done by Lot 1. The logistics for the interior work can therefore be optimised by Lot 1 and carried out if necessary from two portal sides.

In both lots, the client only specified the date for the start of construction in the submission. Neither the end of construc-



6 Installationsplätze Gäsi
Gäsi installation sites

Kerenzerberg Road Tunnel Safety Gallery •

Experiences from Design, Invitation to Tender and Execution



Quelle/credit: ASTRA

7 Hilfsbrücke zum Voreinschnitt Gäsi
Auxiliary bridge for Gäsi pre-cut

Die Angebote mit einer längeren Bauzeit berücksichtigten entweder nur den Vortrieb der Querverbindungen parallel zum TBM-Vortrieb oder einen komplett seriellen Vortrieb des Sicherheitsstollens, der Querverbindungen und der Abluftstollen. Auch bei der Wahl des Logistikkonzepts zeigten sich Unterschiede mit pneu- (Multi Service Vehicle) oder gleisgebundenen Konzepten.

Im Los 2 betrug die Preisspanne der vier eingegangenen Angebote lediglich 9%. Die Bauzeit variierte von 20 bis 28 Monaten. Aufgrund der Geologie sowie der eingeschränkten Zufahrt in Hochschleipfen wurde den Anbietenden die Ausbruchmethode für den vertikalen Lüftungsschacht mit einem Durchmesser von 4,5 m nicht vorgeschrieben. Es konnte ein reines Raise Boring, ein sprengtechnisches Abteufen oder eine Kombination beider Verfahren angeboten werden. Letztendlich basierten alle Angebote auf einem reinen Raise Boring.

4 Bauausführung – erste Erfahrungen

4.1 Los 1 – TBM-Vortrieb Seite Gäsi

4.1.1 Installationen

Die Installationsflächen liegen in der landwirtschaftlich geprägten Linthebene direkt in der Nähe des Einmündungsdeltas des Escherkanals in den Walensee sowie des Campingplatzes Gäsi. Der Hauptinstallationsplatz ist zweigeteilt und befindet sich auf der linken Uferseite des Escherkanals. Die technischen Installationen, die Werkstätten sowie das Tageslager der Tübbinge sind zwischen den beiden Spuren der Nationalstrasse in Verlängerung der Stollenachse platziert. Die Lagerflächen, die Flächen für die Materialbewirtschaftung, die Büroräumlichkeiten sowie die Unterkünfte liegen 200 m weiter südlich, ausserhalb einer Auenwaldreservatsfläche (Bild 6). Die Verbindung des Hauptinstallationsplatzes mit dem Voreinschnitt wird durch eine temporäre Hilfsbrücke sichergestellt (Bild 7). Um das Naherholungsgebiet Walensee sowie das lokale Strassennetz möglichst zu schonen, erfolgt die Erschliessung der Baustelle direkt über die Nationalstrasse A3 durch speziell erstellte provisorische

tion nor the construction workflow were predefined. The end of construction was also explicitly not assessed in the evaluation of the tenders. Particularly in Lot 1, the intention was therefore to give the tendering parties the opportunity to optimally align their offers in terms of construction matters to the tunnel boring machine excavation, the numerous cross passages and exhaust galleries as well as the interior work on the 5.5 km long safety gallery. In the tender evaluation it was revealed that the tendering parties approached the construction process and the logistics in different ways, which came to light in the construction time and the costs. The main difference between the tenders was the timing of the breakout work for the cross passages and exhaust galleries. With the five tenders for Lot 1, five different construction workflows were presented. The construction time varied accordingly between 47 and 70 months. The price span of the five tenders for Lot 1 was 57%. In the case of the tenders with a shorter construction time, the breakout of the exhaust galleries and partly also the cross passages was planned alongside excavation with the tunnel boring machine. The tenders with a longer construction time either took into account only excavation of the cross passages alongside excavation with the tunnel boring machine or a completely serial excavation of the safety gallery, the cross passages and the exhaust galleries. When it came to selecting the logistics concept too, differences were revealed with road (Multi Service Vehicles) or rail-based concepts.

In Lot 2 the price span between the four tenders submitted was a mere 9%. The construction time varied between 20 and 28 months. Due to the geology as well as the limited access in Hochschleipfen, the breakout method for the vertical ventilation shaft with a diameter of 4.5 m was not prescribed to the tendering parties. A pure raise boring method, sinking by means of blasting or a combination of both methods was able to be tendered. All tenders were ultimately based on a pure raise boring method.

4 Construction Work – Initial Experiences

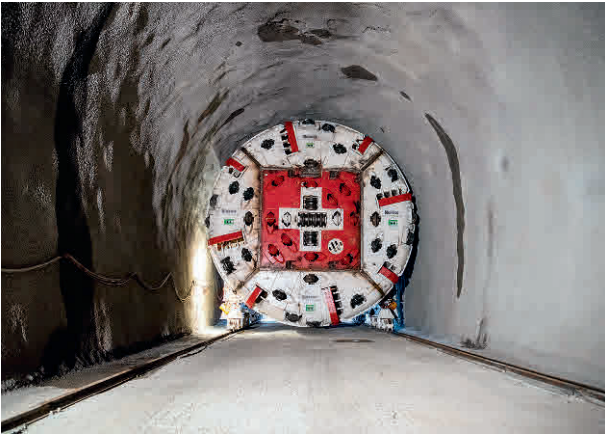
4.1 Lot 1 – TBM Excavation on Gäsi Side

4.1.1 Installations

The installation areas lie in the Linthebene, an area shaped by agriculture, directly near the confluence of the Escher Canal into Lake Walen as well as the Gäsi campsite. The main installation site is divided into two and is located on the left bank of the Escher Canal. The technical installations, the workshops and the daytime storage area for the lining segments are placed between the two carriageways of the national road as an extension to the gallery shaft. The storage areas, the areas for materials handling, the office premises as well as the accommodations are 200 m further south, outside a floodplain forest preservation area (Fig. 6). The link between the main installation site and the pre-cut is secured by a temporary auxiliary bridge (Fig. 7). To preserve the Walensee recreation area and the local road network as much as possible, the construction site is developed directly

Sicherheitsstollen Kerenzerbergtunnel •

Erfahrungen aus der Planung, Ausschreibung und Realisierung



Quelle/credit: ASTRA

8 Einschleiben TBM durch Startröhre
TBM launch through starter tunnel

sche Ein- und Ausfahrten. Diese Anschlüsse können nach Abschluss der Bauarbeiten am Sicherheitsstollen auch für die Instandsetzungsarbeiten des Strassentunnels genutzt werden und ermöglichen so die direkte Einfahrt ab dem Installationsplatz in den Tunnel. Die in der Linthebene anstehenden setzungsempfindlichen Seeablagerungen sowie das Hochwasserrisiko durch den Escherkanal erforderten aussergewöhnliche Massnahmen für die Umsetzung der Installationen. Schüttungen aus Leichtbaustoffen sowie eine Lastbegrenzung auf den Installationsplätzen verhindern unzulässige Setzungen im Bereich der Nationalstrasse und des naheliegenden SBB-Trassees. Die Förderbandanlage für das Ausbruchmaterial, welche entlang des Escherkanals auf dem Dammpfad verläuft, wurde auf Mikropfählen fundiert, die tief unter die Sohle des Escherkanals reichen, um im Falle einer Ufererosion bei Hochwasser Verklausungen durch Förderbandelemente bei den flussabwärts liegenden Brücken zu vermeiden.

4.1.2 Vortrieb

Bereits beim Bau des Kerenzerbergtunnels wurde nach 200 m ein umfangreiches Karsthöhlensystem angetroffen. Vertiefte Untersuchungen im Nahbereich zeigten auch beim Sicherheitsstollen ein erhöhtes Risiko von weiteren Karsterscheinungen auf. Um bautechnische Schwierigkeiten bereits in der Startphase des TBM-Vortriebs zu vermeiden, entschied die Bauherrschaft, die Startröhre auf 250 m zu verlängern und so den kritischsten Bereich im Sprengvortrieb aufzufahren. Nach der Erstellung des Voreinschnittes mit einer bis zu 20 m hohen Nagelwand konnte mit dem Vortrieb der Startröhre begonnen werden. Während des Sprengvortriebs zeigten sich nur untergeordnete Karsterscheinungen im Gebirge. Auch aus weiterführenden Untersuchungen mit Hybridseismik und Georadar resultierten keine grösseren Hohlräume unter der Sohle, sodass die TBM nach Abschluss der Startröhre erfolgreich eingeschoben werden konnte (Bild 8).

Der Vortrieb des Sicherheitsstollens erfolgt mit einer Doppelschildmaschine. Ein Tübbingring besteht aus fünf Steinen sowie dem Sohl-tübbing (Bild 9). Für den Anschluss der Quer-

via the A3 national road using specially created provisional entrances and exits. These connections can also be used after completion of the construction work on the safety gallery for the maintenance work on the road tunnel and thus enable direct entry to the tunnel from the installation site. The pending lake sediment susceptible to settlement in the Linthebene as well as the risk of flooding from the Escher Canal required extraordinary measures for executing the installations. Fills made of lightweight construction materials as well as a load limit on the installation sites prevent inadmissible subsidence in the area of the national road and the nearby SBB railway line. The conveyor belt system for the excavated material, which runs along the Escher Canal on the causeway, was built on micro-piles that reach far below the floor of the Escher Canal in order to prevent obstructions caused by conveyor belt elements at the bridges downriver in the event of bank erosion during flooding.

4.1.2 Excavation

Back when the Kerenzerberg Tunnel was constructed, an extensive karst cave system was encountered after 200 m. In-depth surveys in the immediate area revealed an increased risk of further karst phenomena when constructing the safety gallery too. In order to avoid constructional difficulties during the initial stage of the TBM excavation, the developer decided to extend the launch tunnel to 250 m and hence excavate the critical area by drill and blast. After construction of the pre-cut with an up to 20 m high anchor wall, excavation of the starter tunnel was able to commence. During the drill and blast process, only minor karst phenomena appeared in the rock. Further investigations using hybrid seismic and georadar technology also resulted in no larger cavities under the floor, meaning that the TBM was successfully able to be pushed into the completed starter tunnel (Fig. 8).

The safety gallery is being excavated with a double shield machine. A segmental lining ring consists of five tubbings and one invert segment (Fig. 9). To connect the cross passages and exhaust galleries the segmental lining rings are



Quelle/credit: ASTRA

9 Tübbingauskleidung Sicherheitsstollen
Safety gallery segmental lining

Kerenzerberg Road Tunnel Safety Gallery • Experiences from Design, Invitation to Tender and Execution

verbindungen und Abluftstollen werden die Tübbingringe aufgeschnitten. Vorgängig des Teilrückbaus der Tübbingringe erfolgt eine provisorische Sicherung mit Vollverbundankern. Im Endzustand gewährleisten eingespritzte Gitterträger bei den Abluftstollen und Ortbetonriegel bei den Querverbindungen die Tragsicherheit im Anschlussbereich.

Die ausführende Arbeitsgemeinschaft erstellt die Querverbindungen und Abluftstollen sowie die beiden Unterzentralen parallel zum Vortrieb der TBM. Obwohl mit einem Ausbruchdurchmesser von 7,1 m für einen Sicherheitsstollen komfortable Platzverhältnisse vorliegen, zeigt das parallele Ausführen der verschiedenen Vortriebe auch die Grenzen dieses Querschnittes auf. Insbesondere der Vortrieb der Abluftstollen ab einer speziellen Arbeitsbühne rund 600 m hinter dem Bohrkopf gestaltet sich logistisch als herausfor-



Quelle/credit: INGE K2

10 Arbeitsplattform für den Ausbruch der Abluftstollen
Working platform for breakout of the exhaust galleries

dernd (Bild 10). Neben der Plattform mit Platz für die Gerätschaften, den Schuttertrichter und die Sicherungsmittel sind im Querschnitt die Durchfahrt für die TBM-Logistik sowie die Führung der Lutte und des Förderbandes zu gewährleisten (Bild 11). Der Ausbruch der Abluftstollen und Querverbindungen erfolgt im Sprengvortrieb, im Nahbereich des bestehenden Strassentunnels wird auf einen mechanischen Ausbruch umgestellt. Der kleine Ausbruchquerschnitt der Abluftstollen von nur 4 m² sowie die maximal zulässigen Erschütterungen auf die Zwischendecke im Strassentunnel erschweren hierbei einen effizienten Vortrieb spürbar.

4.1.3 Kreuzungsstelle Hofwald

Der Sicherheitsstollen kreuzt niveaugleich den bestehenden Lüftungs- und Fluchtstollen Hofwald. Dadurch werden der einzige Fluchtweg des in Betrieb stehenden Strassentunnels sowie die Zu- und Abluftkanäle des heutigen Lüftungssystems unterbrochen (Bild 12). Damit der Tunnelbetrieb während des Baus des Sicherheitsstollens aufrechterhalten werden kann, wurden als Vorbereitungsmaßnahmen ein provisorischer Bypass für den Fluchtweg unterhalb und ein provisorischer Bypass für die Lüftung oberhalb des Kreuzungsbereichs erstellt. Für die TBM-Einfahrt in den Kreuz-

cut open. Prior to partly opening up the segmental lining rings, these are provisionally secured with solid compound anchors. In its final state, shotcreted lattice girders are used for the exhaust galleries and in situ concrete bars for the cross passages to ensure the load-bearing safety in the connection area.

The executing consortium is building the cross passages and exhaust galleries as well as the two sub-control-centres alongside the TBM excavation work. Although, with a breakout diameter of 7.1 m for a safety gallery, there is plenty of space, the parallel execution of the various excavation works also revealed the limits of this cross section. In particular, the excavation of the exhaust galleries from a special work platform around 600 m behind the cutterhead is proving to be logistically challenging (Fig. 10). Besides the platform with



Quelle/credit: ASTRA

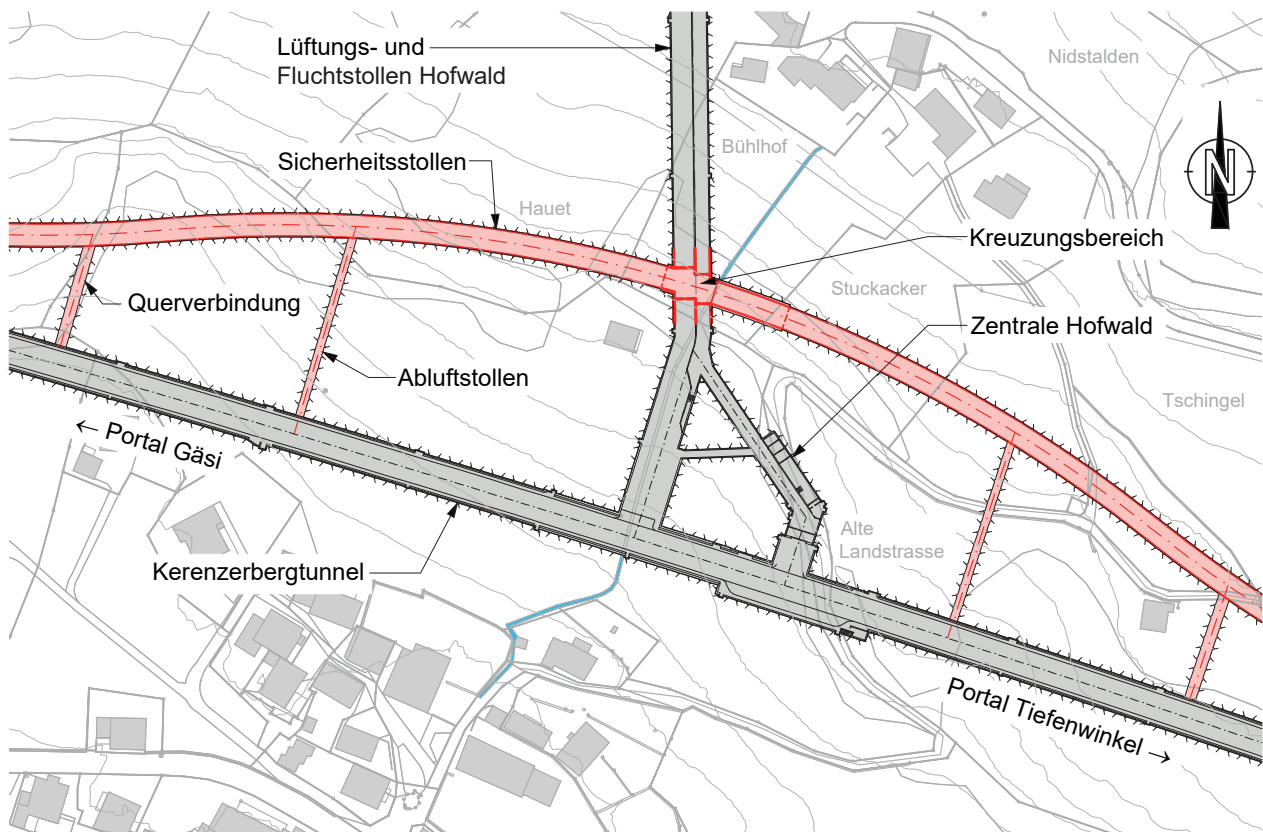
11 Ausbrucharbeiten auf der Arbeitsplattform
Breakout work on the working platform

room for the equipment, the muck chute and the securing devices, the passageway for the TBM logistics as well as the routing for the ventilation duct and the conveyor belt must be ensured in the cross section (Fig. 11). The exhaust galleries and cross passages are broken out by drill and blast whilst work is switched to a mechanical breakout process in the immediate area of the existing road tunnel. The small breakout cross section of the exhaust galleries of just 4 m² as well as the maximum permissible vibrations on the intermediate ceiling in the road tunnel are making an efficient excavation process noticeably difficult in this respect.

4.1.3 Hofwald Intersection

The safety gallery crosses the existing Hofwald ventilation and escape tunnel at the same level. The single escape route in the operating road tunnel as well as the supply and exhaust ducts used in the present ventilation system are interrupted by this (Fig. 12). So that the operation of the tunnel can be maintained during construction of the safety gallery, a provisional bypass for the escape route underneath and a provisional bypass for the ventilation above the intersection area were created as preparation measures. For the TBM entrance to the intersection area and the subsequent on-

Sicherheitsstollen Kerenzerbergtunnel • Erfahrungen aus der Planung, Ausschreibung und Realisierung



Quelle/credit: INGE K2

12 Situation Kreuzungsbereich Hofwald
Hofwald crossroads area situation

zungsbereich und die anschliessende Weiterfahrt sind zudem eine Ziel- und Startröhre sowie provisorische Massnahmen für den Verschub der TBM erforderlich. Die beschränkten Platzverhältnisse, die in Betrieb stehende Zentrale Hofwald, der einzige vorhandene Fluchtweg sowie die Zu- und Wegfahrt über den Kerenzerbergtunnel liessen wenig Spielraum in der Realisierung (Bild 13). Aufgrund des engen Baustellenbereichs und der verschiedenen Überkopfarbeiten konnten die Arbeitsschritte nur einzeln, nacheinander und in kleinen Etappen ausgeführt werden. Wirksame Beschleunigungsmassnahmen waren keine möglich, womit sich schlussendlich die Vorbereitungsarbeiten bei der Kreuzungsstelle Hofwald als sehr aufwendig und zeitintensiv darstellten.

4.1.4 Materialbewirtschaftung von geogen belastetem Ausbruch

Auf den ersten 1400 m des Sicherheitsstollens weist das Gestein eine geogene Arsenbelastung auf. Diese rund 170 000 t Ausbruchmaterial gelten gemäss «Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen» (VVEA Art. 19. Abs. 1) als unverschmutzt und sind so weit wie möglich zu verwerten. Dennoch können geogene Belastungen je nach Verwertung oder Deponierung für die Gefährdung von Grundwasser, Oberflächengewässern und Boden relevant sein. Im Zuge der Erarbeitung des Entsorgungskonzeptes

ward journey, a finish and start tunnel as well as provisional measures for shunting the TBM are also required. The limited space, the operating Hofwald control centre, the only available escape route as well as the access to and from the intersection via the Kerenzerberg Tunnel left little room in terms of implementation (Fig. 13). Due to the tight construction site area and the various types of overhead work, the work steps were only able to be carried out one at a time and in small stages. No effective speeding up measures were possible, which ultimately meant that the preparation work on the Hofwald intersection proved very laborious and time-consuming.

4.1.4 Handling of Geogenically Contaminated Excavated Materials

On the first 1400 m of the safety gallery, the rock features geogenic arsenic contamination. This approximately 170,000 tonnes of excavated material is considered uncontaminated in accordance with the "Ordinance on the prevention and disposal of waste" (VVEA Art. 19. Para. 1) and should therefore be recycled as much as possible. Nevertheless, geogenic contamination may be relevant to the risk to ground water, surface bodies of water and soil depending on how the material is reused or put into landfill. In the course of developing the disposal concept, the relevant authorisations therefore had to be obtained from the local cantons. 40,000



Quelle/credit: ASTRA

13 Überfirstungsarbeiten Kreuzungsbereich Hofwald
Work to raise the tunnel roof at Hofwald intersection

waren deshalb bei den Standortkantonen die entsprechenden Bewilligungen einzuholen. 40 000 t des geogen mit Arsen belasteten Ausbruchmaterials werden im Projekt als Hinterfüllung der vorfabrizierten Betonelemente wiederverwendet. Die restlichen 130 000 t müssen auf Basis der Höhe des Arsengehalts der jeweiligen Deponie zugeführt werden. Das Ausbruchmaterial wird mit dem Förderband bis zum Zwischenlager transportiert und mit dem schwenkbaren Bandabwurf in Haufwerke von zirka 1000 m³ geschüttet und beprobt. Bedingt durch die beschränkten Platzverhältnisse auf dem Zwischenlagerplatz beträgt die Verweildauer des Ausbruchmaterials lediglich zwischen zwei und drei Arbeitstagen, welche als Zeitraum für die Ermittlung des Arsengehalts zur Verfügung stehen. Das Arsen kommt in den Gesteinen primär in der Gesteinsmatrix, aber auch sekundär auf den Kluftoberflächen vor. Je nachdem wo gemessen wird, weisen die Messwerte sehr unterschiedlich hohe Konzentrationen aus. Verschiedene Messungen vom gleichen Haufwerk zeigten dabei sehr grosse Unterschiede. Dies veranlasste die Bauherrschaft dazu, eine von allen Parteien anerkannte und verbindliche Methodik für die Probeentnahme und für die Bestimmung des repräsentativen Arsengehaltes zu erarbeiten. Dies geschieht mit einem gewichteten Mittelwert aus Kluftflächen und Matrixwerten. Durch das abgestimmte Vorgehen kann die Einhaltung des korrekten Entsorgungswegs für jedes Haufwerk rasch und für alle Parteien eindeutig festgelegt werden.

4.2 Los 2 – Gegenvortrieb im SPV

Im Tiefenwinkel liegt das Ostportal des Sicherheitsstollens in steilem Gelände an der kantonalen Kerenzerbergstrasse.

tonnes of the geogenic excavated material contaminated with arsenic will be reused as backfill for the prefabricated concrete elements in the project. The remaining 130,000 tonnes must be sent to the relevant landfill based on the level of the arsenic content. The excavated material will be transported to the intermediate storage area by conveyor belt and poured and sampled in aggregate heaps of approximately 1000 m³ using the pivoting belt discharge. Due to the limited space on the intermediate storage area, the time that the excavated material is held is only between two and three working days, which is the period available to determine the arsenic content. The arsenic occurs in the rocks primarily in the rock matrix, but also secondarily on the fissure surfaces. Depending on where the content is measured, the measured values show very different concentrations. Different measurements from the same heap revealed very large differences. This prompted the developer to come up with a binding method approved by all parties for taking the samples and for determining the representative arsenic content. This is done with a weighted average of fissure surfaces and matrix values. Thanks to the agreed procedure, it is possible to determine that the correct disposal method for each heap is being complied with quickly and clearly for all parties.

4.2 Lot 2 – Excavation in the Opposite Direction Using Drilling and Blasting

In Tiefenwinkel, the east portal of the safety gallery lies on a steep slope on the cantonal Kerenzerberg road. Before it was possible to start sinking the pre-cut, rock clearing, rock covering and the preparation of rockfall protection nets were necessary. Due to the tight space available for the pre-cut (Fig. 14), a temporary lane reduction on the cantonal road was necessary. After cutting through a short stretch in loose rock under cover of a pipe roof, it was possible to secure the safety gallery in the shattered Quinten limestone close to the portal with lattice girders. The persistently severely shattered geology, as well as the preliminary probe drillings that had failed several times, caused the project team to decide early to secure the first 150 m of the safety gallery from the portal as far as the cavern, as well as both cross passages, with a



Quelle/credit: ASTRA

14 Voreinschnitt Tiefenwinkel
Tiefenwinkel pre-cut

Sicherheitsstollen Kerenzerbergtunnel • Erfahrungen aus der Planung, Ausschreibung und Realisierung



Quelle/credit: ASTRA

15 Längskaverne Tiefenwinkel
Tiefenwinkel longitudinal cavern

Bevor mit dem Abteufen des Voreinschnitts begonnen werden konnte, waren Felsräumungen, Felsabdeckungen und die Erstellung von Steinschlagschutznetzen notwendig. Aufgrund der knappen Platzverhältnisse beim Voreinschnitt (Bild 14) war ein temporärer Spurabbau auf der Kantonsstrasse erforderlich. Nach Durchörterung einer kurzen Lockergesteinsstrecke im Schutze eines Rohrschirms konnte der Sicherheitsstollen im portalnahen, zerrütteten Quinzenkalk mit Gitterträgern gesichert werden. Die anhaltend stark zerrüttete Geologie sowie die mehrfach gescheiterten Vorauserkundungsbohrungen veranlassten das Projektteam frühzeitig zum Entscheid, die ersten 150 m des Sicherheitsstollens vom Portal bis zur Kaverne sowie die beiden Querverbindungen mit insgesamt 175 m Länge in der SK4 zu sichern. Auf dieser Grundlage konnten für die restlichen Vortriebsstrecken entsprechende Vorteile wie Planungssicherheit, frühzeitige Materialbestellungen sowie die Arbeitsroutine ausgenutzt werden. Weil sich die Geologie auch im Nahbereich der bis zu 15 m hohen Kavernen nicht massgebend verbesserte, musste auch hier ein rascher Entscheid zugunsten verstärkter Sicherungsmassnahmen der Kavernen mit Gitterträgern und Ankern gefällt werden (Bild 15).

Die Erstellung des Lüftungsschachtes mittels Raise Boring in Hochschleipfen erforderte zuerst einen Ausbau der steilen

total length of 175 m in safety requirement class 4. On this basis it was possible for the remaining excavation sections to take advantage of corresponding benefits, such as planning security, early material purchase orders and the work routine. Because the geology in the immediate area of the caverns measuring up to 15 m did not significantly improve either, a quick decision in favour of increased stabilisation measures for the caverns using lattice girders and anchors also had to be made here (Fig. 15).



Quelle/credit: ASTRA

16 Bohrkopf Raise Boring Lüftungsschacht
Raise boring cutterhead for ventilation shaft

Kerenzerberg Road Tunnel Safety Gallery •

Experiences from Design, Invitation to Tender and Execution

Zufahrtswege bis zum Baustellenbereich. Erst anschliessend konnte die 143 m tiefe Pilotbohrung für das Raise Boring abgeteuft werden. Die Pilotbohrung durchhörterte zwei Störzonen, wobei infolge zu grosser Bohrwasserverluste einmal ein Rückbau des Bohrgestänges und eine Zementverfüllung des Bohrlochs zur Gebirgsabdichtung erforderlich waren. Nach dem erfolgreichen Abteufen der Pilotbohrung und der Aufweitung auf den Enddurchmesser von 4,5 m (Bild 16) konnte der Schacht ab einer doppelstöckigen Schachtbühne mit 25 cm stahlfaserbewehrtem Trockenspritzbeton definitiv verkleidet werden. Die Betonarbeiten für den kreisrunden und 5 m hohen Rauchauslass schliessen die Bauarbeiten in Hochschleipfen ab.

5 Ausblick

Während das Los 2 bis Mitte 2022 abgeschlossen sein wird, laufen die Bauarbeiten im Los 1 voraussichtlich bis Ende 2024. Anschliessend erfolgen der Einbau der Betriebs- und Ausrüstungstechnik im neuen Sicherheitsstollen sowie der Start der Instandsetzungsarbeiten für den Strassentunnel. Die Gesamterneuerung wird voraussichtlich Ende 2026 respektive Anfang 2027 komplett abgeschlossen sein.

The creation of the ventilation shaft by means of raise boring in Hochschleipfen first required an expansion of the steep access routes to the construction site area. Only after this it was possible to drill the 143 m deep pilot hole for the raise boring. The pilot hole cut through two fault zones, whereby as the result of too much drilling water being lost it was necessary to dismantle the drill rods and to fill the drill hole with cement to seal the rock. After successfully sinking the pilot hole and raise bore to the final diameter of 4.5 m (Fig. 16), it was possible to finally line the shaft with 25 cm of steel-fibre-reinforced dry shotcrete from a two-deck shaft sinking stage. The concreting work for the circular and 5 m high smoke outlet concluded the construction work in Hochschleipfen.

5 Outlook

Whilst Lot 2 will be completed by mid 2022, the construction work in Lot 1 will probably run to the end of 2024. The operating technology and equipment will then be installed in the new safety gallery and the maintenance work for the road tunnel will be started. The whole renovation process is expected to be fully completed at the end of 2026 or the start of 2027.

PROJEKTDATEN

Region

Nordostschweiz, Kanton Glarus

Bauherr, Projekt- und Oberbauleitung

Bundesamt für Strassen ASTRA, Filiale Winterthur

Planung und Bauleitung

Ingenieurgemeinschaft K2, bestehend aus Locher Ingenieure AG, Lombardi AG Beratende Ingenieure

Ausführung

- Los 1: ARGE KER450, bestehend aus Pizzarotti SA, Jäger Bau GmbH, Heitkamp Construction Swiss GmbH, Strabag AG
- Los 2: ARGE IFK, bestehend aus Implenja Schweiz AG und Frutiger AG

Kenndaten

Bauzeit: 2020 bis 2024
Baukosten Sicherheitsstollen: 185 Mio. Schweizer Franken
Gesamtlänge: 5504 m
Ausbruchquerschnitt: 39,6 m²

Besondere Merkmale

Der Querschnitt des Sicherheitsstollens ist in zwei getrennte Bereiche unterteilt. Der untere Teilquerschnitt ist gleichzeitig Fluchtweg im Ereignisfall sowie Werkleitungskanal für den Strassentunnel und durch 20 Querverbindungen zum Fahrraum angeschlossen. Der obere Bereich des Sicherheitsstollens dient als Abluftkanal und ist mit dem Kalottenbereich des Strassentunnels durch 52 Abluftstollen verbunden.

PROJECT DATA

Region

North-eastern Switzerland, Canton of Glarus

Client, project management and Senior site management

Federal Roads Office (FEDRO), Winterthur branch

Planning and site management

K2 engineering syndicate, consisting of Locher Ingenieure AG, Lombardi AG Consultant Engineers

Construction

- Lot 1: ARGE KER450, consisting of Pizzarotti SA, Jäger Bau GmbH, Heitkamp Construction Swiss GmbH, Strabag AG
- Lot 2: ARGE IFK, consisting of Implenja Schweiz AG and Frutiger AG

Key data

Construction period: 2020 to 2024
Safety gallery construction costs: 185 million Swiss francs
Total length: 5504 m
Excavation cross section: 39.6 m²

Special Features

The cross section of the safety gallery is divided into two separate areas. The bottom partial cross section is simultaneously an emergency escape route as well as a service channel for the road tunnel, and is connected to the driving area by 20 cross passages. The top section of the safety gallery serves as an exhaust duct and is connected to the heading area of the road tunnel by 52 exhaust galleries.

DI Martin Hrunek, Abteilungsleiter Ingenieurbau und Grossprojekte-Management, Wiener Linien GmbH und Co KG, Wien/AT

DI Eva-Maria Weiss, Inspizientin, Wiener Linien GmbH und Co KG, Wien/AT

Der Wiener U-Bahn-Ausbau U2xU5 – der lange Weg zu noch mehr öffentlicher Mobilität

U2xU5 ist das grösste Infrastruktur- und Klimaschutzprojekt Wiens. Durch die Errichtung von zwölf neuen innerstädtischen U-Bahn-Stationen, wovon vier Knotenstationen sind, wird die Kapazität des öffentlichen Verkehrsnetzes der Wiener Linien von derzeit ca. einer Milliarde um weitere 300 Millionen Fahrgäste erweitert. Durch die mögliche Verlagerung von PKW auf öffentliche Verkehrsmittel ergeben sich im Endausbau CO₂-Einsparungen von bis zu 75000 Tonnen jährlich. In einer ersten Baustufe, welche eine Verlängerung der U2 und eine Neuerrichtung der U5 beinhaltet, werden seit Anfang 2021 die umfangreichen Rohbauarbeiten umgesetzt. Entlang der gesamten Trasse sind in den nächsten Jahren eine Vielzahl an Spezialtiefbaumassnahmen erforderlich. Die U5 wird als erste Linie in Wien den voll-automatischen U-Bahn-Betrieb ermöglichen.

Metro Extension U2xU5 – Towards Even More Public Transport in Vienna

U2xU5 is Vienna's largest infrastructure and climate protection project. By building twelve new underground stations in the city centre, four of which are node stations, the current capacity of Wiener Linien's public transport network of approx. one billion passengers will be expanded by an additional 300 million. Due to the possible shift from passenger cars to public transportation, in the final expansion CO₂ emissions will be reduced by up to 75,000 tonnes annually. In the first construction phase, which includes an extension of the U2 line and the new construction of the U5 line, since the beginning of 2021 comprehensive structural work has been implemented. A number of special civil engineering measures will be necessary along the entire route over the next few years. The U5 will be the first line in Vienna to allow for fully automatic underground operation.

1 Allgemeines zu U2xU5

Bereits im Fachkonzept Mobilität zum Stadtentwicklungsplan (STEP) 2025 der Stadt Wien wird der Öffi-Ausbau U2xU5 (eine neue Linie U5 vom Rathaus nach Hernals/Elterleinplatz und eine U2-Verlängerung vom Rathaus in den Süden/Bereich Wienerberg) als eines der prioritären Projekte für die Stärkung der hochrangigen Angebote im öffentlichen Verkehr Wiens genannt.

Durch U2xU5 können wesentliche U-Bahn-Linien (U3, U4, U6), die Strassenbahnlinien 43 und 44 sowie mehrere Umsteigeknoten entlastet werden. Durch die Anbindung der S-Bahn-Stammstrecke bei Matzleinsdorf profitieren Pendlerinnen und Pendler aus dem Süden von der neuen U2-Verbindung mit dem zentralen Bereich Wiens. Der Westen Wiens und vor allem der Bezirk Hernals werden zukünftig durch die neue U5 besser an die Innenstadt angebunden. U2xU5 umfasst in Summe etwa elf Kilometer U-Bahn-Tunnel und zwölf neue Stationen.

1 General Information about the U2xU5 Line Crossing

In the mobility functional specification for the 2025 City Development Plan (STEP) for the City of Vienna, the project U2xU5 (a new U5 line from Rathaus to Hernals/Elterleinplatz and a U2 extension from Rathaus into the south/Wienerberg area) was mentioned as one of the priority projects for strengthening the high-level offerings of public transport in Vienna.

U2xU5 will be able to relieve the burden on important underground lines (U3, U4, U6), tramway lines 43 and 44, and several transfer hubs. Thanks to the connection of the urban railway main line at Matzleinsdorf, commuters from the south will benefit from the new U2 connection with the central area of Vienna. In the future, the western part of Vienna, and the Hernals district in particular, will be better connected to the city centre thanks to the new U5 line.

L'intersection des lignes de métro U2 et U5 à Vienne – le long chemin vers plus de transports publics

En prolongeant les métros U2 et U5 (correspondance U2/U5), Wiener Linien réalise actuellement le plus grand projet d'infrastructure de la ville de lutte contre le dérèglement climatique. Six nouvelles stations de métro sont en travaux, dont quatre permettront des correspondances avec d'autres lignes de métro ou S-Bahn. Ainsi plusieurs nœuds multimodaux de transports publics seront créés (lignes de bus, tramway, métro et grandes lignes de chemin de fer). Les tracés exclusivement urbains des lignes U2 et U5 confrontent l'ensemble des parties prenantes à de nouveaux défis. En outre, la ligne U5 constituera la première ligne de métro entièrement automatisée de la capitale fédérale autrichienne. A l'instar de l'exploitation d'une ligne automatisée qui représente un tout nouveau domaine pour Wiener Linien, les chantiers englobent une foule de sujets couverts par la gestion du projet. Du respect des conditions légales jusqu'à la prise en compte de thèmes spécifiques notamment sur le plan archéologique, Wiener Linien met en œuvre une multitude de mesures propres à la construction souterraine.

Sur les huit chantiers ouverts sur les lignes U2 et U5, il s'agit par exemple de travaux de pieux forés, d'écrans de palplanches, de congélation, de compensation de tassement et de réalisation de puits. Les travaux d'avancement commencent en 2022.

L'incrocio di linee viennese U2xU5 – la lunga via che porta a una mobilità pubblica ancora migliore

Con il potenziamento del trasporto pubblico U2xU5 (incrocio di linee U2xU5), la società pubblica di gestione del trasporto locale Wiener Linien ha attualmente in programma il più grande progetto per la protezione del clima e le infrastrutture di Vienna. Attualmente si sta lavorando a sei nuove stazioni della metropolitana, quattro delle quali sono rappresentate da stazioni di incrocio con altre linee della metropolitana o del treno suburbano. In questo modo verranno creati dei nuovi nodi di raccordo con altre forme di trasporto pubblico (linee di autobus, linee di tram, linee di metropolitana e linee di treni suburbani delle ferrovie austriache). I tracciati della U2 e della U5, che si sviluppano interamente in città, mettono tutti i soggetti coinvolti davanti a delle nuove sfide. Inoltre, la U5 sarà la prima linea della metropolitana che garantirà un funzionamento completamente automatizzato nella capitale austriaca. Così come il funzionamento completamente automatico della metropolitana rappresenta una novità assoluta per la società Wiener Linien, anche i cantieri presentano una varietà di problematiche, che dovranno essere affrontate nel corso del progetto. La società Wiener Linien dovrà affrontare un gran numero di interventi edili sotterranei speciali, garantire il soddisfacimento dei requisiti giuridici e tenere in considerazione tematiche speciali, come gli aspetti archeologici. Attualmente, negli otto lotti delle linee U2 e U5, si stanno svolgendo gli interventi edili sotterranei speciali, come i lavori di posa dei pali di fondazione e delle palancole, il congelamento, le compensazioni degli assetamenti e la costruzione di pozzi. I lavori di avanzamento inizieranno nel 2022.

Dadurch werden sechs neue hochrangige ÖV-Knoten mit Umsteigemöglichkeit zur U-Bahn oder S-Bahn geschaffen.

Für das Gesamtvorhaben U2xU5 ist eine Bauzeit von über zehn Jahren veranschlagt. Begonnen wurde bereits mit der ersten Baustufe U2 vom Absprung aus der U2-Trasse beim Schottentor bis zum Matzleinsdorfer Platz und der ersten Baustufe U5 vom Absprung nach der Station Rathaus bis zur ersten neuen U5-Station Frankhplatz. Danach werden zuerst die zweite Baustufe der U5 bis Hernals und dann die zweite Baustufe U2 bis Wienerberg in Angriff genommen. Die vorläufigen Endstellen des Projektes U2xU5 werden offen für einen weiteren Ausbau konzipiert.

Die Vorarbeiten an der ersten Baustufe haben bereits 2017 begonnen. Seit Anfang 2021 erfolgen die ersten schweren Tiefbaumassnahmen an den Stations- und Tunnelbereichen.

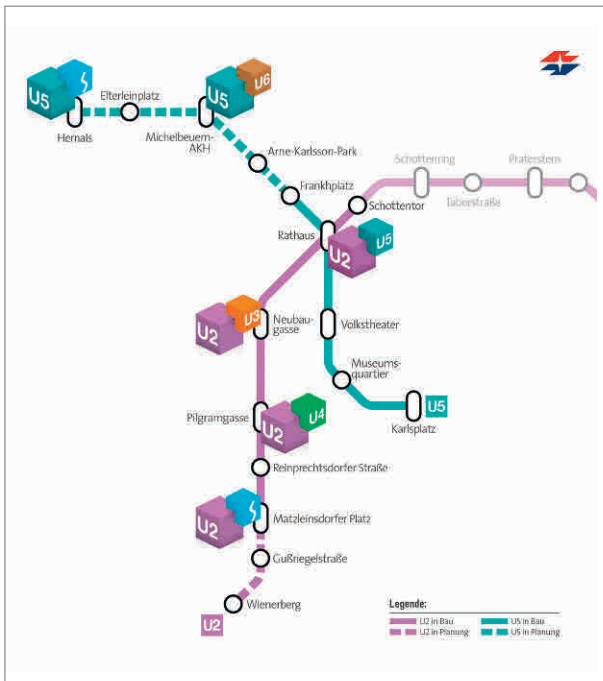
Die komplett innerstädtisch verlaufenden Trassen stellen sämtliche Beteiligten vor neue Herausforderungen. Die

In total, U2xU5 includes about eleven kilometres of underground tunnels and twelve new stations. As a result, six new high-level public transport hubs with the option to transfer to the underground or suburban train will be created.

A construction time of over ten years was estimated for the entire U2xU5 project. Work has already begun with the first construction phase of the U2 from the junction of the U2 route at Schottentor to Matzleinsdorfer Platz and the first construction phase of the U5 from the junction after the Rathaus station to Frankhplatz, the first new U5 station. After that the second construction phase of the U5 to Hernals begins followed by the second construction phase of the U2 to Wienerberg. The preliminary terminal stations of U2xU5 are devised to be open for further expansion.

The preliminary work on the first construction phase began in 2017. Since the beginning of 2021, the first difficult civil engineering actions have been carried out in the station and tunnel areas.

Der Wiener U-Bahn-Ausbau U2xU5 – der lange Weg zu noch mehr öffentlicher Mobilität



Quelle/credit: © Wiener Linien

1 Übersicht U2xU5 (erste und zweite Baustufe)
Overview of the U2xU5 project (1st and 2nd construction phases)

erfolgreiche Projektabwicklung beinhaltet eine Fülle an Themengebieten, unter anderem eine Vielzahl an unterschiedlichen Spezialtiefbaumassnahmen, die Erlangung der rechtlichen Voraussetzungen und auch die Berücksichtigung von Spezialthemen wie archäologischen Belangen.

1.1 Aktueller Stand der Arbeiten

Seit Anfang 2021 laufen die Arbeiten für U2xU5, erste Baustufe. Bei allen Bauabschnitten laufen die Bohrpfahlarbeiten und es wurden bereits etliche oberste Decken hergestellt. Die erforderlichen Hausertüchtigungsarbeiten für den Tunnelbau sind bereits weit vorgeschritten.

Am Bauabschnitt U2xS Matzleinsdorfer Platz wurde im Oktober 2021 mit den Vorbereitungsarbeiten zur Vereisung begonnen. Die ersten Vereisungsbohrungen wurden im November 2021 durchgeführt. Weiters finden die Setzungskompensationen seit Juni 2021 und die ersten Injektionen seit Dezember 2021 statt. Ausserdem werden derzeit bei den Bauabschnitten die Brunnen für die geschlossene Wasserhaltung hergestellt.

Der Beginn der Vortriebe ist am Bauabschnitt Rathaus für den März 2022 und am Bauabschnitt Matzleinsdorfer Platz für den Juni 2022 geplant.

The routes, which run entirely in the city centre, present all participants with new challenges. Successful project management encompasses a wide range of subject areas, including a large number of different specialised civil engineering measures, attaining legal requirements, and also taking into account special topics such as archaeological concerns.

1.1 Current State of Work

Work on the first stage of U2xU5 has been ongoing since the beginning of 2021. Bored pile work is running in all construction phases, and several top roofs have already been created. Necessary support and renovation work on buildings on the surface with regard to the tunnel construction work is already well advanced.

Preparatory work for ground freezing was started in October 2021 on the U2xS Matzleinsdorfer Platz construction phase. Drilling of the first ground freezing bore holes was carried out in November 2021. Furthermore, ground stabilisation works to avoid settlement has been ongoing since June 2021 with the first injections performed in December 2021.

In addition to that wells for the closed water drainage system for each construction section are currently being produced.

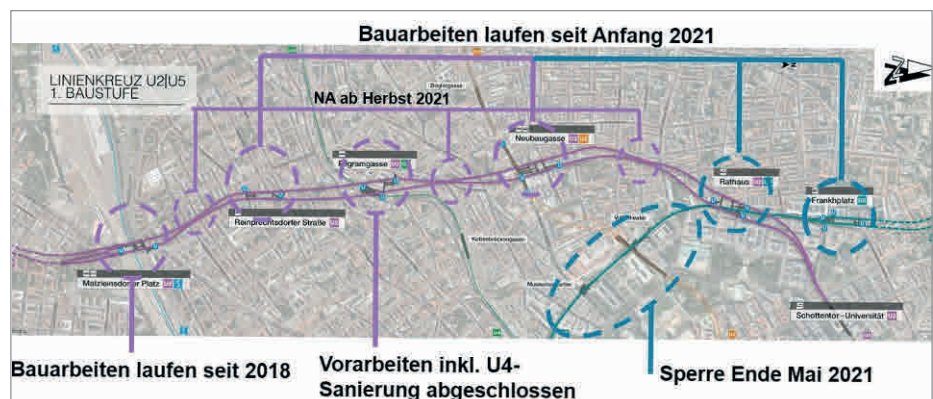
Beginning of the excavations is planned at the Rathaus construction site for March 2022 and at the Matzleinsdorfer Platz site for June 2022.

2 The New U2 Stations

2.1 TBM Excavations of U2

The TBM excavations construction phase begins with the building lot border with the U2xU5 Rathaus building lot on the Augustinplatz track-switching system and ends in the south at the U2xS Matzleinsdorfer Platz construction phase.

The tracks run in subsurface alignment after the Matzleinsdorfer Platz station and in single-track tunnels constructed underground. The start tunnels run in parallel beginning



Quelle/credit: © Wiener Linien

2 U2xU5 – 1. Baustufe
U2xU5 – first construction phase

2 Die neuen U2-Stationen

2.1 TVM-Vortriebe U2

Der Bauabschnitt TVM-Vortriebe beginnt bei der Baulosgrenze mit dem Baulos U2xU5 Rathaus an der Gleiswechsellage Augustinplatz und endet im Süden beim Bauabschnitt U2xS Matzleinsdorfer Platz.

Die Tourengleise verlaufen nach der Station Matzleinsdorfer Platz in Tieflage in eingleisigen Streckenröhren in geschlossener Bauweise. Die Startröhren verlaufen beginnend bei der Bauabschnittsgrenze parallel und mit dem Gelände fallend unter der Bebauung.

2.2 Bauabschnitt U2xS Matzleinsdorfer Platz

Die Station Matzleinsdorfer Platz liegt in Wien 10 westlich der Kreuzung Gürtel/Triester Strasse/Matzleinsdorfer Platz annähernd rechtwinklig unter den Gleisanlagen der ÖBB-Südbahn, dem U-Strab-Tunnel und unter der Hauptverkehrsader Gürtel. Sie bildet die Endstation der ersten Baustufe der U2 und bietet Umstiegsmöglichkeiten zur ÖBB-S-Bahn, zur Wiener Lokalbahn sowie zu einigen Strassenbahn- und Buslinien der Wiener Linien.

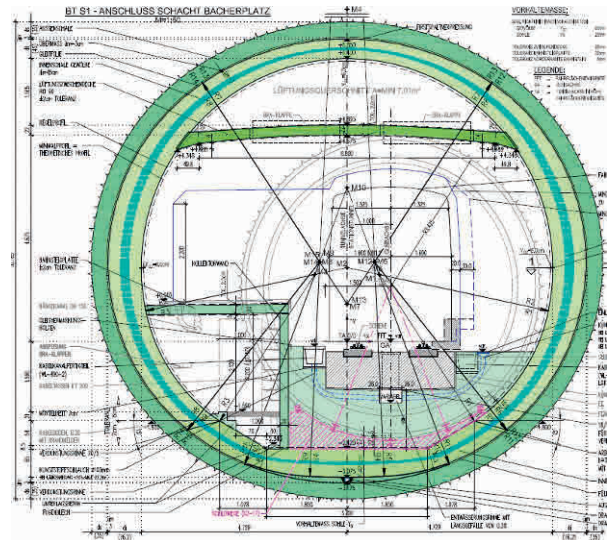
Die Station ist in Tieflage in offener und geschlossener Bauweise mit innen liegenden, parallelen, horizontalen Einzelbahnsteigen konzipiert. Die Bahnsteige sind an ihren Enden und etwa in Bahnsteigmitte verbunden. Die Verbindung an die Oberfläche wird über beidseitige Endaufgänge hergestellt.

Am südlichen Stationsende dient der Südschacht, der unmittelbar südlich der in einfacher Hochlage befindlichen Gleisanlagen der ÖBB-Südbahntrasse liegt, als Anfahrtschacht während der Bauzeit und im Endausbau zur Aufnahme der Aufstiegshilfen und der erforderlichen Betriebsräume. Das Aufnahmegebäude wird südlich an die bestehende Stützmauer der ÖBB-Südbahntrasse angebaut. Bei diesem Aufnahmegebäude sollen die bestehenden Regionalbuslinien und eine neue Buslinie angebunden werden.

Die Verbindung U2-S-Bahn wird über eine unterirdische Passage im Strassenniveau hergestellt, die unter den ÖBB-Gleisanlagen liegt. Diese neue Verbindung wird durch einen Umbau der bestehenden Betriebsräume verbreitert und verschönert.

Die Bahnsteige der U2-Station liegen zum Grossteil in Stationsröhren in geschlossener Bauweise. Etwa in Stationsmitte ist ein doppelter Querschlag als dritte Verbindung der beiden Bahnsteige angeordnet. Von diesem gehen der Fahrtreppenschacht Süd und der Fahrtreppenschacht Nord mit je drei Fahrtreppen aus.

Am nördlichen Stationsende gelangt man über den Schacht Nord, der im Bereich der Gürtelunterführung bzw. der Nebenfahrbahn situiert ist, über Stiegen und Lifte ins N-2 und von dort in die an die N-2 anschliessende Passage Nord.



Quelle/credit: © Wiener Linien

3 Stationstunnel, geschlossene Bauweise Station tunnel, closed construction

at the construction phase border and in a downward slope with the terrain under the built-up area.

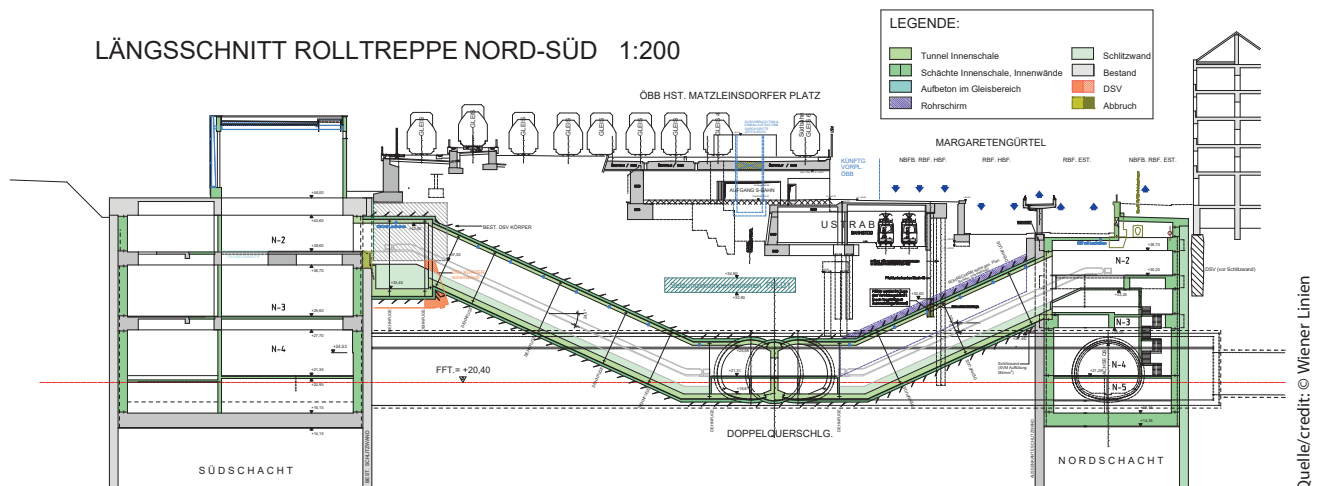
2.2 U2xS Matzleinsdorfer Platz Construction Phase

The Matzleinsdorfer Platz is in Vienna 10, west of the Gürtel/Triester Strasse/Matzleinsdorfer Platz intersection, and approximately perpendicular under the railway tracks of the ÖBB (Austrian Federal Railways) Southern Railway, the underground tramway tunnel and under the Gürtel main traffic artery. It forms the terminus of the first construction phase of the U2 line and offers transfer options to the ÖBB Southern Railway, to the Viennese local railway and to Wiener Linien's own tram and bus lines.

The station is designed in subsurface alignment in cut-and-cover and closed construction with internal, parallel, horizontal single platforms. The platforms are connected at their ends and approximately at the centre of the platform. The connection to the surface is provided by end staircases on both sides.

At the south end of the station the southern shaft – which is located immediately south of the railway tracks of the ÖBB Southern Railway line – will serve as an approach shaft during the construction period, and will be used in the final development stage to accommodate the lifts and the necessary service rooms. The station building will be built south of the existing supporting wall of the ÖBB Southern Railway Line. The existing regional bus lines and a new bus line will be connected at this station building.

The U2–Southern Railway connection will be created by a subterranean passage at street level that lies below the ÖBB railway tracks. This new connection will be expanded and embellished by a reconstruction of the existing service rooms.



Quelle/credit: © Wiener Linien

4 U2/18 Matzleinsdorfer Platz – Längsschnitt
U2/18 Matzleinsdorfer Platz – longitudinal section

Die Passage Nord stellt die Anbindung an die bestehende Passage der U-Strassenbahn (U-Strab) und damit die Umsteigemöglichkeit zu den Strassenbahnlinien her. Für den nordöstlichen U-Strab-Bahnsteig ist der Einbau eines neuen Lifts geplant, der die U-Strab-Passage mit dem Bahnsteig verbindet und damit ein barrierefreies Umsteigen zwischen U-Bahn und Strassenbahn (ohne Umweg über die Oberfläche) ermöglicht.

Über die Passage Nord erreicht man entweder über zwei Lifte die Oberfläche oder über zwei Fahrtreppen oder eine feste Stiege das nördliche Aufnahmegebäude im 5. Bezirk. Das Aufnahmegebäude ist am westlichen Rand des Matzleinsdorfer Platzes im Strassenraum situiert. Der neue U-Bahn-Zugang bildet den gemeinsamen Zugang zu U2 und U-Strab. Der bestehende, nicht barrierefreie U-Strab-Zugang an der Ecke Gürtel/Matzleinsdorfer Platz wird aufgelassen.

2.3 Bauabschnitt U2 Reinprechtsdorfer Strasse

Die Station Reinprechtsdorfer Strasse liegt im 5. Wiener Gemeindebezirk und setzt sich aus den Schächten Bacherplatz und Siebenbrunnengasse sowie den dazwischenliegenden Stationsröhren, Stationsquerschlägen und Verbindungstunneln zusammen. Der Schacht Bacherplatz liegt in der Schwarzhorngasse und im Bacherplatz, der Schacht Siebenbrunnengasse in der Siebenbrunnengasse, das zugehörige Lüftungsbauwerk reicht bis in die Stöbergasse. Die Stationsröhre Gleis 1 verläuft vom Schacht Bacherplatz aus unter der bestehenden Bebauung im Bereich Schwarzhorngasse–Arbeitergasse–Siebenbrunnengasse zum Schacht Siebenbrunnengasse. Die Stationsröhre Gleis 2 verläuft vom Schacht Siebenbrunnengasse aus Richtung Norden unter der bestehenden Bebauung im Bereich Siebenbrunnengasse–Arbeitergasse–Bacherplatz und wird an den Schacht Bacherplatz angeschlossen.

Die Überlagerung über der Tunnelfirste der Stationsröhren beträgt ca. 14,5 m. Vor den Stationsschächten sind die Stationsröhren jeweils mit einem Querschlag verbunden, von

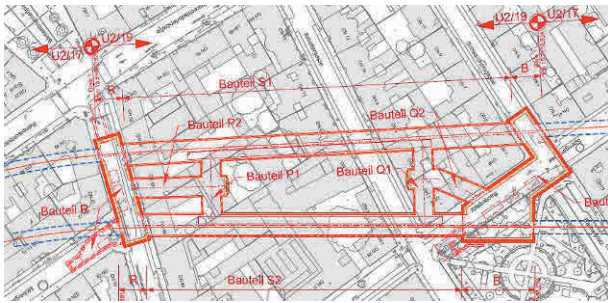
For the most part, the platforms of the U2 station lie in station tubes in closed construction. Approximately in the middle of the station there is a double cross-passage that serves as a third connection of the two platforms. From this, the south escalator shaft and the north escalator shaft emanate with three escalators each.

At the northern end of the station, via the north shaft – which is located in the area of the Gürtel underpass and the frontage road – one reaches the N-2 via stairs and lifts, and from there enters the north passage, which is connected to the N-2. The north passage forms the connection to the existing passage to the underground tramway (U-Strab) and therefore the transfer option to the tramway lines. For the north-eastern underground tramway platform, the installation of a new lift is planned, which will connect the underground tramway passage with the platform and therefore allow for barrier-free transfer between underground and tram (without a detour to the surface).

Via the north passage, it is possible to reach the surface via two lifts, or the northern station building in the 5th district via two escalators or a fixed staircase. The station building is situated on the western edge of Matzleinsdorfer Platz in the street space. The new underground access forms a joint access to the U2 line and the underground tramway. The existing, non-barrier-free underground tramway entrance on the corner of Gürtel/Matzleinsdorfer Platz will be shut down.

2.3 U2 Reinprechtsdorfer Strasse Construction Phase

Reinprechtsdorfer Strasse station is located in the 5th district of Vienna and consists of the Bacherplatz and Siebenbrunnengasse shafts and the station tubes, station cross-passages and connection tunnels between them. The Bacherplatz shaft is located in Schwarzhorngasse and in Bacherplatz, and the Siebenbrunnengasse shaft is located in Siebenbrunnengasse. The associated ventilation structure extends into Stöbergasse. Station tube track 1 runs from the Bacher-



Quelle/credit: © Wiener Linien

5 U2/19 Reinprechtsdorfer Strasse – Grundriss
U2/19 Reinprechtsdorfer Strasse – ground plan

denen aus mittig Verbindungstunnel zu den Schachtbauwerken geführt werden. Die Station liegt grösstenteils in einer Geraden. Die Bahnsteigkanten verlaufen somit ebenfalls gerade.

2.4 Bauabschnitt U2xU4 Pilgramgasse

Die Station Pilgramgasse ist eine Kreuzungsstation mit der Linie U4 und setzt sich aus den Schächten Hofmühlgasse, Rechte Wienzeile und Wienfluss sowie den dazwischenliegenden Stationsröhren und Stationsquerschlägen zusammen. Der Schacht Hofmühlgasse liegt zur Gänze in der Hofmühlgasse. Die Schächte Rechte Wienzeile und Wienfluss liegen zum Teil im Bereich der Rechten Wienzeile und zum Teil im Bereich des Wienflusses. Die einzelnen Bauteile sind durch kurze Verbindungstunnel miteinander verbunden.

Die Stationsröhre Gleis 1 verläuft vom Schacht neben dem Wienfluss aus unter dem Wienfluss und der bestehenden Bebauung zum Schacht Hofmühlgasse. Die Stationsröhre Gleis 2 verläuft vom Schacht Rechte Wienzeile aus Richtung

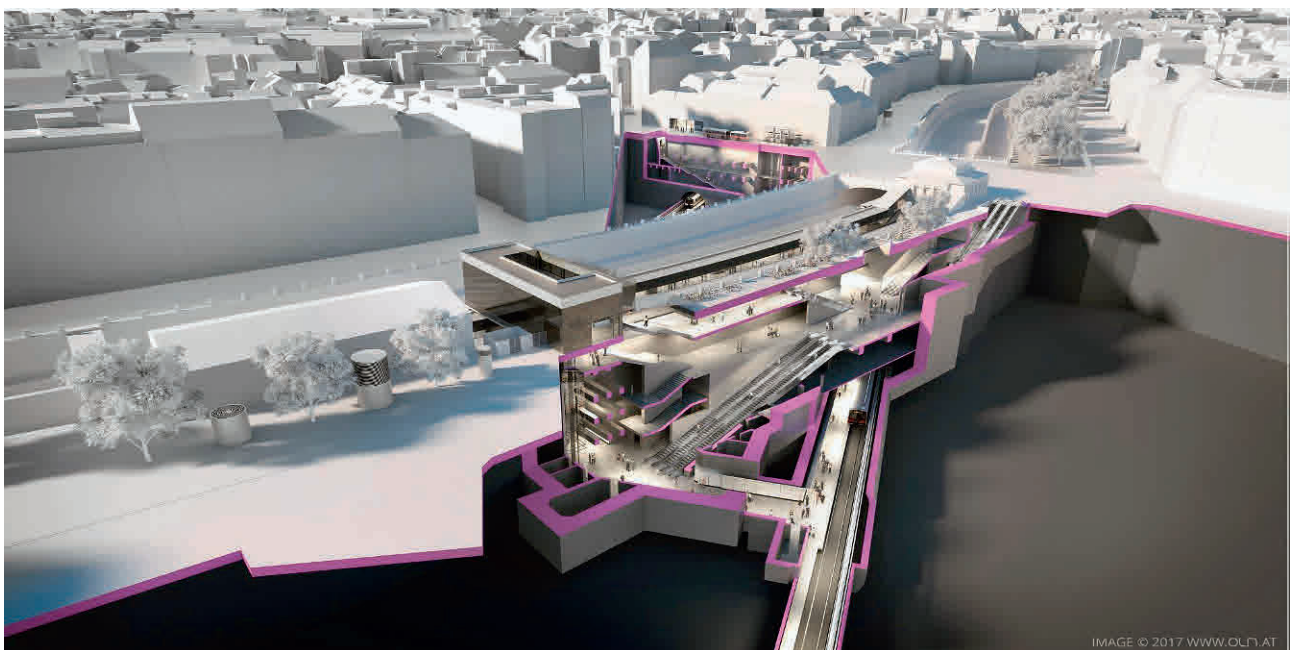
platz shaft under the existing built-up area in the Schwarzhorn-gasse–Arbeitergasse–Siebenbrunnengasse area to the Siebenbrunnengasse shaft. Station tube track 2 runs from the Siebenbrunnengasse shaft from the north under the existing built-up area in the Siebenbrunnengasse–Arbeitergasse–Bacherplatz area and is connected to the Bacherplatz shaft.

The overburden between surface and tunnel roofs of the station tubes is approx. 14.5 m. Before the station shafts, the station tubes are each connected with a cross-passage, from which a connecting tunnel leads centrally to the shaft structures. The station lies for the most part in a straight line. The edges of the platforms therefore also run straight.

2.4 U2xU4 Pilgramgasse Construction Phase

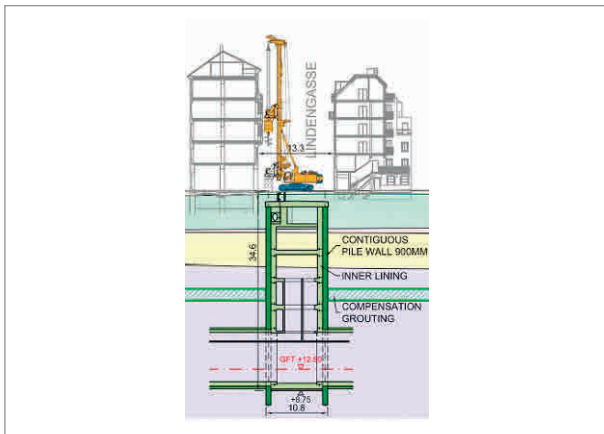
Pilgramgasse station is a crossing station with the U4 line and consists of the Hofmühlgasse, Rechte Wienzeile and Wien River shafts, as well as the station tubes and station cross-passages that lie between them. The entirety of the Hofmühlgasse shaft lies in Hofmühlgasse. The Rechte Wienzeile and Wien River shafts lie partially in the area of the Rechte Wienzeile and partially in the area of the Wien River. The individual building elements are connected by short connecting tunnels.

The station tube track 1 runs from the shaft next to the Wien River under the Wien River and the existing built-up area to the Hofmühlgasse shaft. The station tube track 2 runs from the Rechte Wienzeile from the north under the existing built-up area and the Wien River in the direction of the Hofmühlgasse shaft project. The two station tubes are connected to the shaft structures in the area of building elements R and W



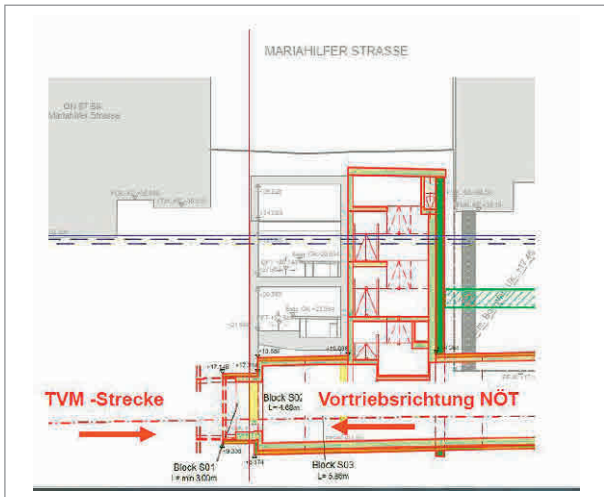
Quelle/credit: © Architekt Mossburger/OLIN; Datenquelle Stadt Wien

6 U2/20 Pilgramgasse – 3D-Animation
U2/20 Pilgramgasse – 3D animation



Quelle/credit: © Wiener Linien

7 U2-Station Neubaugasse
U2 station Neubaugasse



Quelle/credit: © Wiener Linien

8 Unterquerung U3 in Neuer Österreichischer Tunnelbaumethode (NÖT)
U3 underpass in New Austrian Tunnel Construction Method (Neuer Österreichischer Tunnelbaumethode – NÖT)

Norden unter der bestehenden Bebauung und dem Wienfluss in Richtung des Schachtbauwerks Hofmühlgasse. Die beiden Stationsröhren sind im Bereich von Bauteil R und W mittels Stationsquerschlägen an die Schachtbauwerke angeschlossen. Die Überlagerung über der Tunnelfirste der Stationsröhren beträgt ca. 16 m, im Bereich der Wienflussquerung ca. 8,0 m. Vor dem Stationsschacht Hofmühlgasse sind die Stationsröhren mit einem Querschlag verbunden, von dem aus mittig ein Verbindungstunnel zum Schachtbauwerk geführt wird. Die Station liegt grösstenteils in einer Geraden. Die Bahnsteigkanten verlaufen somit ebenfalls gerade.

Im Bereich Schacht Hofmühlgasse sind Lüftungstollen vorgesehen. Von einem Lüftungsschacht im Bereich Spörlinggasse/Linke Wienzeile wird über einen Lüftungstollen die Zuluft zum Schacht Hofmühlgasse und von dort über weitere Lüftungstollen zur Streckenröhre Gleis 2 geführt.

by station cross-passages. The overburden between surface and the tunnel roofs of the station tubes is approx. 16 m, and in the area of the Wien River crossing approx. 8.0 m. Before the Hofmühlgasse station shaft, the station tubes are connected with a cross-passage, from which a connecting tunnel leads centrally to the shaft structure. The station lies for the most part in a straight line. The edges of the platforms therefore also run straight.

Ventilation tunnels are planned in the area of the Hofmühlgasse shaft. From one ventilation shaft in the Spörlinggasse/Linke Wienzeile area, via a ventilation tunnel the inlet air is conducted to the Hofmühlgasse shaft and from there to tube shaft track 2 via additional ventilation tunnels.

2.5 U2xU3 Neubaugasse Construction Phase

The Neubaugasse station crosses under the U3 Neubaugasse station, which was built in cut-and-cover construction, and, in the northbound direction, crosses under the built-up area between Mariahilfer Strasse and Lindengasse or Lindengasse and Siebensterngasse. In addition to the new construction of the U2 station, a connection is being created with the two train platforms of the existing U3 on floors N-3 and N-2, and service rooms are being reconstructed on floor N-1.

2.6 U2xU5 Rathaus Construction Phase

The redesigned Rathaus station represents the intersection between the new U2 line and the new U5 line.

The Rathaus station is approximately at the centre of construction phases in Vienna's 1st and 8th districts in the area of Friedrich-Schmidt-Platz. In addition to this, there will be a direct connection with tramway line 2 as a result of a new underground access at the beginning of Josefstädter Strasse. An additional access to the U5 will be built in the area of Tulpengasse. This shaft, which is to be constructed from out of the Rathaus construction section, will also be used as a service shaft.

In Reichsratsstrasse an emergency exit shaft will be built, which will also be used as a service shaft (ventilation).

3 The First New U5 Station

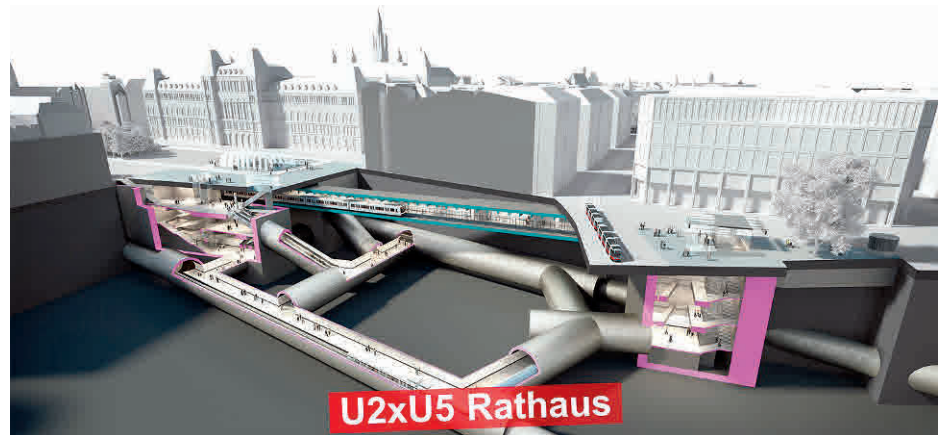
3.1 U5 Frankhplatz Construction Phase

U2xU5 and the associated U5 underground line represent the beginning of the most important future project for public transport in Vienna. As the first new station of the future U5 underground line, the Frankhplatz station will be connected to the existing section of the former U2 underground line after the Rathaus station.

The U5 will be the first Vienna underground line to run fully automatically. Glass walls with sliding doors will be mounted on the edges of the platforms, which will ensure that board-

2.5 Bauabschnitt U2xU3 Neubaugasse

Die Station Neubaugasse unterquert die in offener Bauweise errichtete Station Neubaugasse der U3 sowie im Anschluss Richtung Norden die Bebauung zwischen Mariahilfer Strasse und Lindengasse bzw. Lindengasse und Siebensterngasse. Neben der Neuerrichtung der U2-Station erfolgt die Verknüpfung mit den beiden Bahnsteigen der bestehenden U3 in den Geschossen N-3 und N-2 sowie der Umbau von Betriebsräumen im Geschoss N-1.



Quelle/credit: © Architekt Mossburger/OLIN; Datenquelle Stadt Wien

9 U2/22 Rathaus – 3D-Animation
U2/22 Rathaus – 3D animation

2.6 Bauabschnitt U2xU5 Rathaus

Die neugestaltete Station Rathaus stellt den Kreuzungspunkt zwischen der neuen U2- und der neuen U5-Linie dar.

Die Station Rathaus befindet sich in etwa in Bauabschnittsmitte im 1. und 8. Wiener Gemeindebezirk im Bereich des Friedrich-Schmidt-Platzes. Ergänzend dazu erfolgt durch einen neuen U-Bahn-Zugang am Beginn der Josefstädter Strasse eine direkte Verknüpfung mit der Strassenbahnlinie 2. Im Bereich der Tulpengasse wird ein weiterer Zugang zur zukünftigen U5 errichtet. Dieser vom Bauabschnitt Rathaus aus zu errichtende Schacht Tulpengasse dient auch als Betriebsschacht.

In der Reichsratsstrasse wird weiters ein Notausstiegsschacht errichtet, der auch als Betriebsschacht (Lüftung) genutzt wird.

ing and disembarking are regulated in terms of time and place.

The Frankhplatz construction phase connects to the existing U2 after the Rathaus station and runs along Landesgerichtsstrasse and Garnisongasse until the end of the construction phase (Rotenhausgasse). The construction phase is divided into a reconstruction section (the existing U2 after the Rathaus station) and a section to be newly constructed (from the existing U2 to the end of the construction phase).

The train platforms with a width of 3.50 m each are located at approx. 17.50 m below the surface at the lowest point.

3.2 Fully Automatic Underground Operation

The U5 line consists of the existing stations Karlsplatz, Museumsquartier, Volkstheater and Rathaus, and in the first construction phase a new station at Frankhplatz.

3 Die erste neue U5-Station

3.1 Bauabschnitt U5 Frankhplatz

Mit dem U-Bahn-Ausbau U2xU5 und der dazugehörigen U-Bahn-Linie U5 startet das wichtigste Zukunftsprojekt für den öffentlichen Verkehr in Wien. Die gegenständliche Station Frankhplatz wird als erste Neubaustation der zukünftigen U-Bahn-Linie U5 nach der Station Rathaus an die Bestandsstrecke der ehemaligen U-Bahn-Linie U2 angebunden werden.

Die U5 wird als erste Wiener U-Bahn-Linie vollautomatisch fahren. An der Bahnsteigkante werden Glaswände mit Schiebetüren montiert, die ein zeitlich und örtlich geregeltes Ein- und Aussteigen sicherstellen.

Der Bauabschnitt Frankhplatz schliesst an den Bestand der U2 nach der Station Rathaus an und verläuft entlang der Landesgerichtsstrasse und der Garnisongasse bis zum Bauabschnittsende (Rotenhausgasse). Der Bauabschnitt teilt sich in einen umzubauenden Teil (Bestand U2 nach Station Rathaus) und in einen neu zu errichtendem Teil (vom Bestand U2 bis zum Bauabschnittsende).



Quelle/credit: ©Architekt YF und Franz und Sue

10 U5/2 Frankhplatz – Visualisierung Bahnsteig
U5/2 Frankhplatz – visualisation of the train platform



Quelle/credit: © Siemens

11 X-Wagen
X-Car

Die Bahnsteige mit einer Breite von je 3,50 m befinden sich an der tiefsten Stelle ca. 17,50 m unter der Oberfläche.

3.2 Vollautomatischer U-Bahn-Betrieb

Die U5 besteht aus den Bestandsstationen Karlsplatz, Museumsquartier, Volkstheater und Rathaus und in der ersten Baustufe einer Neubaustation beim Frankhplatz.

Derzeit fahren die Wiener Linien mit dem Automatisierungsgrad GoA2 – halbautomatischer Zugbetrieb –, das An- und Abfahren wird bereits automatisch gesteuert. Die Abfertigung beim Türenschiessen sowie die Abwicklung von Störfällen werden durch den Fahrer bzw. die Fahrerin getätigt.

Durch die Bahnsteigwände und den vollautomatischen U-Bahn-Betrieb ändert sich der Automatisierungsgrad auf GoA4, das bedeutet, dass alles automatisch abgewickelt wird.

Die Bahnsteigwand besteht aus den Schiebetüren zum Ein- und Aussteigen und den Nottüren für die Evakuierung.

Ende 2019 wurde bei den Wiener Linien ein Expertenkreis gebildet, welcher sich mit der Einführung des automatischen U-Bahn-Betriebes beschäftigt. Der Mindestabstand zwischen Zug und Bahnsteig-Barriersystem (Bahnsteigtüren) wurde im Expertenkreis als «rote Linie» definiert. Dieses Mass gibt an, in welchem Bereich kein fest verbauter Gegenstand über diese «rote Linie» in den Gleisbereich ragen darf.

Weiters hat der Expertenkreis des vollautomatischen U-Bahn-Betriebes eine Risikoanalyse der möglichen Betriebsfälle erstellt, um dementsprechende Sicherheitsvorkehrungen zu treffen. Im Zuge dieser Risikoanalyse wurden der Bodenspalt und der Spaltraum genau betrachtet. Für den Bodenspalt wurde als Referenz der Wert von 25 cm aus der Strassenbahnverordnung (StrabVO) herangezogen. Für den Spaltraum, das heißt den Spalt zwischen Fahrzeugkarosserie und Bahnsteig-Barriersystem, wurde als Referenz der Wert von 12 cm aus der Bauordnung herangezogen. In der Risikoanalyse werden somit nur diejenigen Spaltmasse bewertet, die in der Grenzlage des Fahrzeugs grösser als 12 cm sind. Spaltmasse unter 12 cm in der Grenzlage gelten als unkritisch.

Currently Wiener Linien operates with Grade-of-Automation 2 (GoA2) (semi-automatic train operation) – approaching and departing are already controlled automatically. The driver is responsible for clearance when the doors are closing and for handling incidents.

Because of the train platform walls and the fully automatic underground operation, the Grade-of-Automation changes to GoA4, which means that everything is operated automatically.

The train platform wall consists of sliding doors for boarding and disembarking and emergency doors for evacuation.

At the end of 2019, a body of experts was established at Wiener Linien, who are engaged in introducing automatic underground operation. The body of experts defined the minimum distance between the train and the platform barrier system (platform doors) as the “red line”. This measurement indicates the area in which no fixed object can extend over this “red line” into the track area.

Furthermore, the body of experts for the fully automatic underground operation created a risk analysis of possible operating conditions in order to implement corresponding safety precautions. In the course of this risk analysis, the floor gap and the gap space were examined in detail. For the floor gap, the value of 25 cm from the Tram Ordinance (Strassenbahnverordnung – StrabVO) was referred to. For the gap space, i.e. the gap between the vehicle body and the platform barrier system, the value of 12 cm from the building code was used as a reference. Therefore, only clearances that are greater than 12 cm in the boundary position of the vehicle are evaluated in the risk analysis. Clearances under 12 cm in the boundary position are considered non-critical.

For fully automatic underground operation, Wiener Linien ordered a new vehicle, the X-Car. Additionally, existing V-Cars will be retrofitted so that they can also be used in fully automatic underground operation.



Quelle/credit: © Siemens

12 X-Wagen
X-Car

Metro Extension U2xU5 – Towards Even More Public Transport in Vienna

Für den vollautomatischen U-Bahn-Betrieb wurde von den Wiener Linien ein neues Fahrzeug, der X-Wagen, bestellt. Weiters werden auch bestehende V-Wagen so umgerüstet, dass auch sie im vollautomatischen U-Bahn-Betrieb genutzt werden können.

Der U-Bahn-Bau U2xU5

Der Öffi-Ausbau U2xU5 ist das grösste Infrastruktur- und Klimaschutzprojekt Wiens. Mit der Erweiterung in zwei Baustufen wächst das Wiener U-Bahn-Netz bis 2035 um insgesamt elf Kilometer und zwölf neue Stationen. Die Bauarbeiten der ersten Baustufe sind im Jänner 2021 vollumfänglich gestartet. Die Wiener Linien blicken auf ein erfolgreiches Jahr zurück, mehr als die Hälfte der Bohrpfähle wurden bereits errichtet. 2022 werden die Arbeiten verstärkt unterirdisch stattfinden: Bei allen zukünftigen Stationen der ersten Baustufe starten die Aushubarbeiten, und im Bereich des Schottentors sowie beim Matzleinsdorfer Platz werden die Tunnelarbeiten in Angriff genommen.

The Underground Construction U2xU5

The U2xU5 public transport development is Vienna's largest infrastructure and climate protection project. With the expansion in two construction phases, by 2035 the Vienna underground network will grow by a total of eleven kilometres and twelve new stations. The construction work for the first construction phase was initiated comprehensively in January 2021. Wiener Linien is looking back on a successful year – more than half of the bored piles have already been constructed. Subterranean work will be intensified in 2022: Excavation work will begin at all future stations in the first construction phase, and tunnel work will be started in the Schottentor area and at Matzleinsdorfer Platz.

PROJEKTDATEN

Region

Wien, Österreich

Bauherr, Projekt- und Oberbauleitung

Wiener Linien GmbH & Co KG

Planung

U2/17: Geoconsult – Laabmayr, U2/18: ISP – Schimetta – Tecton, U2/19: PCD – FCP – iC consulenten, U2/20: PCD – FCP – iC consulenten, U2/21: Ste.p – IGT – Potyka, U2/22: ISP – Schimetta – Tecton, U5/2: iC consulenten, U2/20: PCD – FCP – iC consulenten, U2/21: Ste.p – IGT – Potyka

Ausführung

U2/17–U2/21: ARGE Porr – Strabag, U2/22 und U5/2: ARGE Swietelsky – Habau – Hochtief

Kenndaten erste Baustufe U2xU5

Bauzeit: 2021–2028
 Inbetriebnahme: U5 2026, U2 2028
 Investitionskosten auf Projektende: ca. 2,1 Mrd. Euro.
 Gesamtlänge: Neubau U2 4,2 km, U5 0,5 km, Umbau Bestand U2 1,7 km
 Ausbruchquerschnitt: Strecke: TVM 33,7 m², NÖT 39,4 m², Station: 99,3 m²

PROJECT DATA

Region

Vienna, Austria

Client, project management and senior construction management

Wiener Linien GmbH & Co KG

Planning

U2/17: Geoconsult – Laabmayr, U2/18: ISP – Schimetta – Tecton, U2/19: PCD – FCP – iC consulenten, U2/20: PCD – FCP – iC consulenten, U2/21: Ste.p – IGT – Potyka, U2/22: ISP – Schimetta – Tecton, U5/2: iC consulenten, U2/20: PCD – FCP – iC consulenten, U2/21: Ste.p – IGT – Potyka

Construction

U2/17–U2/21: JV Porr – Strabag, U2/22 and U5/2: JV Swietelsky – Habau – Hochtief

Key data for the first U2xU5 construction phase

Construction period: 2021–2028
 Start of operation: 5 2026, U2 2028
 Investment costs at the end of the project: approx. 2.1 billion euros.
 Total length: New construction U2 4.2 km, U5 0.5 km, reconstruction of existing U2 1.7 km
 Excavation cross-section: Stretch: TBM 33.7 m², NÖT 39.4 m², Station: 99.3 m²

Tunnel de contournement des Evouettes • Du besoin des usagers à la conception et la réalisation d'un tunnel routier dans un contexte géologique défavorable

Vincent Pélissier, MSc Bau-Ing. EPFL/SIA, DMTE-SDM, Sion/CH
Sébastien Lonfat, ing. HES génie civil, DMTE-SDM, Martigny/CH
Gianluca Gatti, ing. HES génie civil, DMTE-SDM, Martigny/CH
Pierre Michel, MSc Bau-Ing. ETHZ/SIA, Consortium GITEV, Sion/CH
Christophe Carron, MSc Bau-Ing. EPFL/SIA, Consortium GITEV, Sion/CH
Gilles Lequertier, MSc Ing. École Centrale Paris/SIA, Infra Tunnel SA, Marin/CH
Benoit Tagand, MSc Ing. Polytech' Grenoble, Infra Tunnel SA, Marin/CH

Tunnel de contournement des Evouettes

Du besoin des usagers à la conception et la réalisation d'un tunnel routier dans un contexte géologique défavorable

La route et le tunnel de contournement des Evouettes s'inscrivent dans le prolongement de la route H144 depuis Villeneuve en direction de St-Gingolph. L'objectif est d'éviter le passage de 18 000 véhicules quotidien à travers le cœur du village. L'exécution est sensible. La maîtrise des tassements et l'impact sur l'environnement bâti dans un contexte géologique difficile sont un réel défi.

Les Evouettes Bypass Tunnel

From the Need of Users, to the Design and the Construction Stages of a Road Tunnel within an Adverse Geological Context

The Les Evouettes bypass road and tunnel are part of the extension of the H144 road from Villeneuve towards Saint-Gingolph. The aim is to avoid 18,000 vehicles a day passing through the centre of the village. Implementation of this is delicate. Controlling settlements and the impact on the built environment within a difficult geological context present a real challenge.

1 Contexte général

Le projet de la déviation routière du village des Evouettes s'inscrit dans le prolongement de la construction de la route principale suisse H144, mise en service le 08/11/2012 et reliant le réseau routier valaisan à la route nationale A9 sur territoire vaudois et planifié dans les années 1980. Le projet global de la déviation, mis à l'enquête publique en 2002, approuvé par le Conseil d'État en séance le 03/12/2008 inclut la totalité du projet de déviation routière du village des Evouettes.

1.1 Le besoin identifié par le canton

L'actuelle route H21Bo entre la Jonction H144 et St-Gingolph constitue l'axe routier de liaison sud-lémanique entre l'autoroute française A40 et l'autoroute suisse A9. Elle dessert les localités des Evouettes, du Bouveret et de St-Gingolph. L'importance de cet axe se manifeste par le volume du trafic l'empruntant quotidiennement (la moyenne journalière s'élève à 15 000 véhicules/jour traversant le village en 2002). Dans sa configuration actuelle, la route cantonale H21Bo provoque une barrière urbanistique forte au sein du village des Evouettes et ne garantit pas la continuité sécurisée et fluide de la mobilité douce. Le village a connu un développement important qui nécessite de réaliser dans les meilleurs

1 General Context

The road detour project for the village of Les Evouettes is part of the construction extension of the main Swiss H144 road, opened on 08.11.2012 and linking the Valais road network with the A9 highway in the Vaud region. It was planned in the 1980s. The overall detour project, put out for public consultation in 2002 and approved by the state council in a session on 03.12.2008, includes the entirety of the Les Evouettes village road detour project.

1.1 The Need Identified by the Canton

The current H21Bo road between the H144 junction and Saint-Gingolph makes up the arterial link road south of Lake Geneva between the French A40 highway and the Swiss A9 highway. It travels through the towns of Les Evouettes, Le Bouveret and Saint-Gingolph. The importance of this road can be seen in the volume of traffic it carries daily (the daily average was 15,000 vehicles per day through the village in 2002). In its current configuration, the H21Bo route cantonale constitutes a significant urban barrier at the centre of the village of Les Evouettes and does not guarantee the safe and free-flowing movement of soft mobility. The village has seen significant development necessitating the swift implemen-

Tunnel Les Evouettes

Von den Bedürfnissen der Nutzer bis zur Planung und Umsetzung eines Strassentunnels unter ungünstigen geologischen Bedingungen

Das Projekt zur Umfahrung der für die Ortschaft Les Evouettes mit Gesamtkosten in Höhe von 130 Mio. Franken soll den Ort vom Transitverkehr mit täglich 18 000 Fahrzeugen entlasten. Der 657 Meter lange Tunnel führt am Fuss des Grammont durch Lockergestein und grenzt an einen Schuttkegel. Aufgrund der als schwierig eingestuften Geologie entschied sich der Planer für ein Tragwerk aus Jet-Grouting-Säulen, um die Tunnelfront während der Ausbrucharbeiten zu stabilisieren und Setzungen unterhalb der Baugrube zu minimieren. Die gewählte Methode erwies sich als ideal für den Vortrieb, musste jedoch angepasst werden, um Verformungen an der Oberfläche zu begrenzen.

La galleria di Les Evouettes

Dalle esigenze degli utilizzatori alla progettazione e alla realizzazione di una galleria stradale in condizioni geologiche sfavorevoli

Il progetto di aggiramento della località di Les Evouettes con dei costi totali di 130 milioni di CHF dovrebbe liberare il paese dal traffico di attraversamento di circa 18.000 veicoli al giorno. La galleria lunga 657 metri porta ai piedi del Grammont attraverso la roccia incoerente e confina con un cono di deiezione. Alla luce della geologia sfavorevole, il progettista ha optato per un'opera portante in pilastri realizzati con la tecnologia del jet grouting, per stabilizzare il fronte della galleria durante i lavori di scavo e minimizzare gli assetamenti al di sotto dello scavo di fondazione. Il metodo scelto si è rivelato perfetto per l'avanzamento, ma ha dovuto essere adattato per limitare le deformazioni sulla superficie.

délais des améliorations du point de vue de la sécurité routière et de la protection des riverains contre le bruit.

1.2 Le choix du tracé retenu

Le présent projet prévoit de contourner le village des Evouettes par une nouvelle route d'une longueur de 1 450 mètres, comprenant un tunnel creusé au pied du Grammont. Dans le but d'une planification optimale du projet et des travaux de ce tunnel, des essais in situ et en laboratoire ont été réalisés, notamment en 2013-2014. Au vu de toutes les informations disponibles et des résultats des essais, il ressort que l'ensemble du tracé du tunnel devra être réalisé dans des terrains meubles, soit des conditions géologiques difficiles.

1.3 Les principaux ouvrages

Les dimensions et caractéristiques principales de l'aménagement routier projeté sont les suivantes :

- Longueur totale du nouvel aménagement routier 1 450 m
- Longueur du raccordement et trémie sud 192 m
- Longueur de la tranchée couverte sud 47 m
- Longueur du tunnel 657 m
- Longueur de la galerie de secours 130 m
- Hauteur libre de 4,80 m + 0,20 (pour convois exceptionnels)
- Longueur de la tranchée couverte nord 64 m
- Longueur de la trémie et du raccordement nord 445 m
- Diamètre du giratoire nord 36 m
- Largeur de la chaussée 2 x 3,75 m
- Accotements 2 x 1,00 à 1,50 m
- Profil en long 2,5 % au sud et 5 % au nord
- Dévers max. 5 %

1.4 Le financement

Le coût total du projet, basé sur les devis, s'élève à **130 000 000 de CHF TTC**. La H21Bo faisant partie de

tation of improvements from a road safety perspective and the protection of residents from noise.

1.2 The Choice of Route

The current project plans to bypass the village of Les Evouettes using a new road with a length of 1,450 metres, including a tunnel dug at the foot of Le Grammont. With the aim of optimally planning the project and work on this tunnel, in situ and laboratory tests were conducted, particularly in 2013 and 2014. In light of the available information and the results of these tests, the indication was that the route of the tunnel would need to be entirely located in unconsolidated ground – constituting difficult geological conditions.

1.3 The Main Structures

The dimensions and main characteristics of the planned road installation are as follows:

- Total length of the new road installation 1,450 m
- Length of south connection and tunnel approach 192 m
- Length of south cut-and-cover tunnel 47 m
- Tunnel length 657 m
- Length of emergency tunnel 130 m
- Clearance height of 4.80 m + 0.20 (for wide loads)
- Length of north cut-and-cover tunnel 64 m
- Length of north tunnel approach and connection 445 m
- Diameter of north roundabout 36 m
- Width of road 2 x 3.75 m
- Hard shoulders 2 x 1.00 to 1.50 m
- Longitudinal profile 2.5 % to the south and 5 % to the north
- Gradient max. 5 %

1.4 Financing

The total cost of the project based on estimates is **CHF 130,000,000 including VAT**. Given that the H21Bo is part of

Tunnel de contournement des Evouettes • Du besoin des usagers à la conception et la réalisation d'un tunnel routier dans un contexte géologique défavorable

réseau des routes principales suisses, son financement sera garanti par l'utilisation des contributions forfaitaires annuelles globales de la Confédération aux routes principales suisses ainsi que des montants forfaitaires annuels du fonds d'infrastructure pour les routes principales dans les régions de montagne et les régions périphériques.

2 La conception

2.1 La géologie

La colline des Evouettes est entièrement composée de terrain meuble. Les formations principales sont la moraine locale, les alluvions torrentielles, provenant du vallon latéral du torrent du Tové, ainsi que des éboulis en début et fin d'ouvrage. Le profil en long est présenté à la figure 2.

La caractéristique principale de ces formations est la présence de blocs calcaires, dolomitiques et schisteux du Grammont, ce qui rend parfois difficile la distinction visuelle entre les différentes couches. Malgré la matrice plus ou moins limoneuse, la grande quantité de blocs, qui peuvent varier entre une taille décimétrique à métrique, rend ces terrains peu cohésifs et peu compacts.

the main Swiss road network, its financing will be ensured with the use of overall annual Confederation contributions for main Swiss roads, as well as annual lump sums from the infrastructure fund for main roads in mountain regions and surrounding regions.

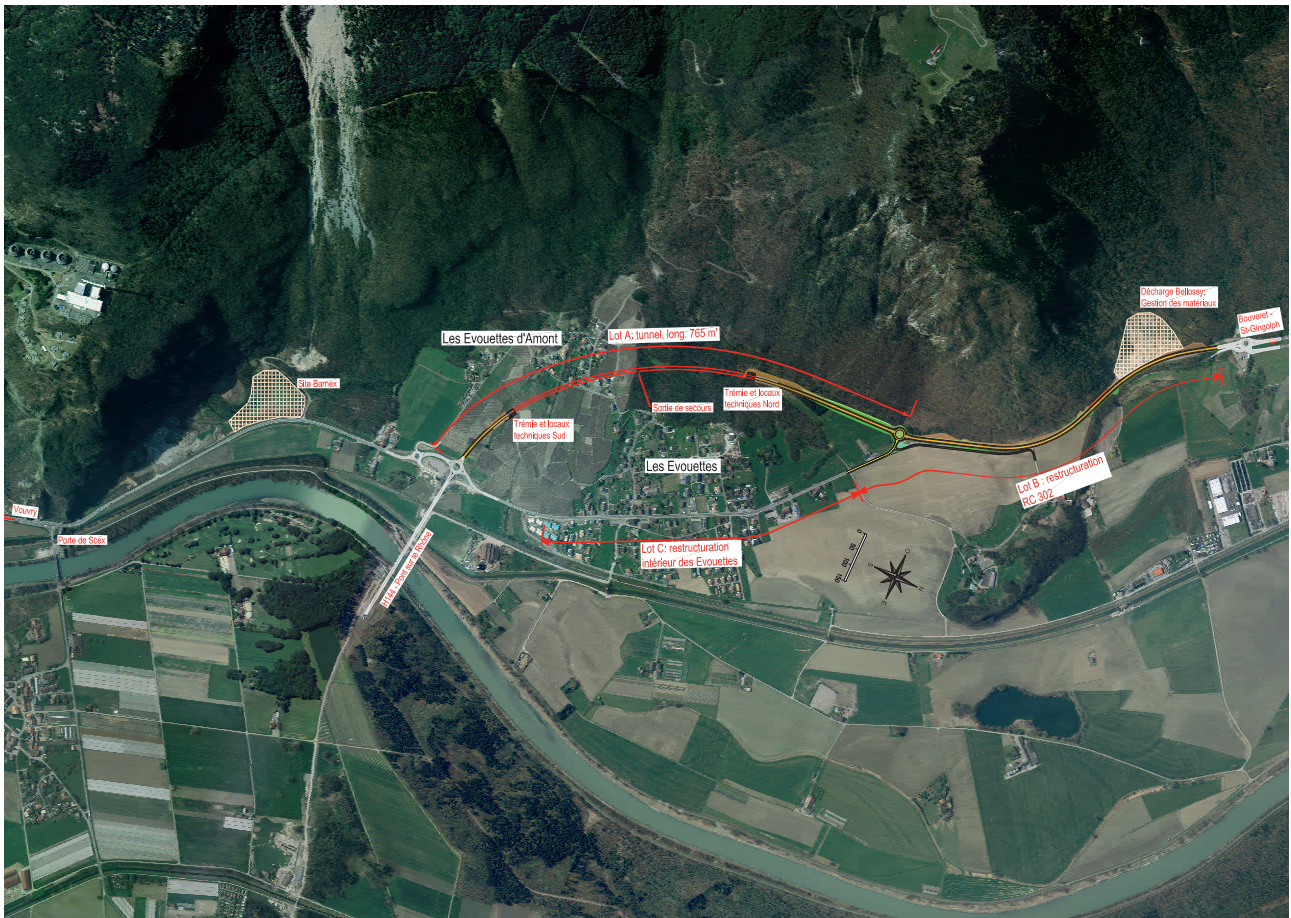
2 The Design

2.1 The Geology

The Les Evouettes hill is made up entirely of unconsolidated ground. The main formations are localised moraine, torrential sediment originating in the valley flanking the Tové river, and rubble at the start and end of the structure. The longitudinal profile is presented in Fig. 2.

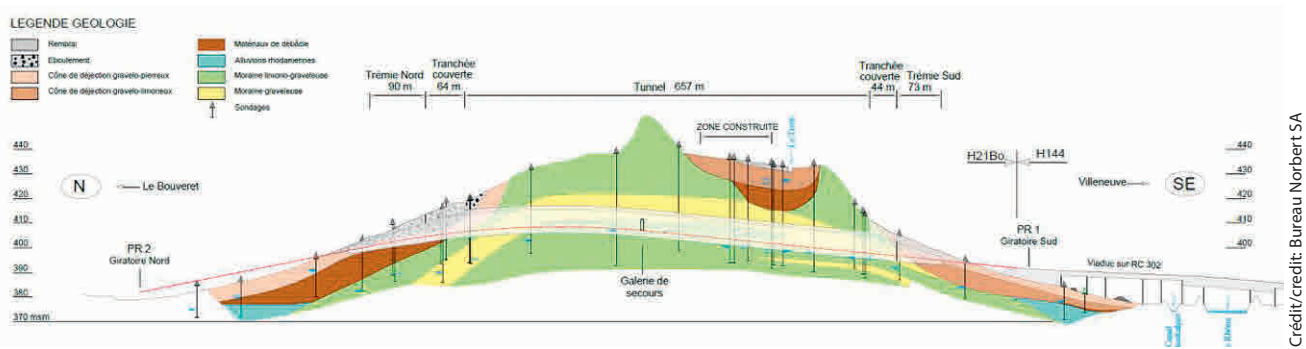
The main characteristic of these formations is the presence of limestone, dolomitic and schist, boulders from Le Grammont, which sometimes makes the visual differentiation between the various layers difficult. Despite the somewhat loamy matrix, the large quantity of boulders – which may vary in size from decimetres to metres – means this ground exhibits low cohesion and low compactness.

The Les Evouettes tunnel flanks a water table whose ground-water level varies considerably depending on precipitation.



1 Situation du projet
Project location

Les Evouettes Bypass Tunnel • From the Need of Users, to the Design and the Construction Stages of a Road Tunnel within an Adverse Geological Context



Crédit/credit: Bureau Norbert SA

2 Profil en long géologique Geological longitudinal profile

Le tunnel des Evouettes frange une nappe phréatique dont le niveau du toit varie fortement en fonction des précipitations. Des nappes perchées, alimentées par les crues du Tové, ont aussi été observées dans les forages effectués au droit du village des Evouettes d'Amont.

2.2 Les principaux enjeux

La mauvaise tenue des terrains en place constitue un défi technique au niveau de la réalisation du tunnel. Lors de la conception de la stabilisation des terrains encaissants, la priorité a été donnée avant tout à la sécurité de l'ouvrage pendant le creusement. La forte hétérogénéité des matériaux et la présence de blocs compliquent également l'appréciation des caractéristiques géotechniques par des essais in situ et en laboratoire.

L'autre principal enjeu est la limitation des tassements en surface, en particulier dans la zone d'habitation des Evouettes d'Amont.

Après pesée des intérêts, le choix final au niveau du projet a été celui d'un pré-soutènement en jetting, malgré le fait qu'il s'agit d'une solution onéreuse et techniquement très dépendante des conditions locales de terrain. Le jetting permet d'assurer la continuité des prévoûtes et de constituer un écran contre les infiltrations d'eau et de matériaux liquéfiés.

2.3 La conception et le dimensionnement

Les contraintes géométriques et géologiques du site ont conduit à la réalisation du tunnel par une excavation conventionnelle en une seule attaque depuis le nord.

Le même profil type (fig. 3) est appliqué tout le long du tunnel. La section d'excavation est de 105 m² en début d'étape et de 135 m² en fin d'étape, chaque étape d'excavation faisant 9 m de long.

Le pré-soutènement en jetting se compose de 45 colonnes de voûte et 13 colonnes de front de 12 m de longueur, avec des recouvrements de colonnes de 3 m à chaque étape (fig. 4). Le diamètre des colonnes de jet-grouting est de 80 cm.

Perched groundwater, fed by raised water levels in the Tové, has also been observed in bores conducted near the village of Les Evouettes d'Amont.

2.2 The Main Challenges

The poor stability of the ground presents a technical challenge for construction of the tunnel. When designing stabilisation measures for the surrounding ground, priority was given first and foremost to structural safety during excavation. The high degree of heterogeneity in the materials and the presence of boulders also complicate the assessment of geotechnical characteristics via in situ and laboratory tests.

The other main challenge is the restriction of surface settlements, especially in the inhabited zone of Les Evouettes d'Amont.

After weighing up interests, the final choice concerning the project was a pre-lining with jet-grouting despite the fact that this is an expensive solution and is technically highly dependent on local ground conditions. The jet-grouting helps ensure the stability of the pre- vaults and the establishment of a screen to prevent infiltration of water and liquefied materials.

2.3 The Design and Detailing

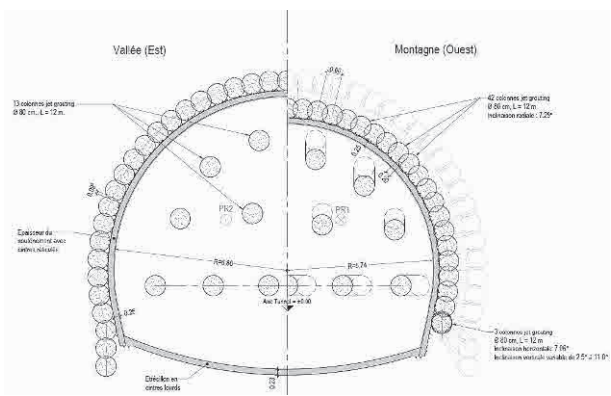
The site's geometric and geological constraints led to the construction of the tunnel via conventional excavation in a single drive from the north.

The same profile type (Fig. 3) is applied throughout the tunnel. The excavation section is 105 m² at start of the stage and 135 m² at the end; each excavation stage is 9 m in length.

The primary jet-grouting umbrella following the circumference of the tunnel profile is made up of 45 grout columns and 13 additional face columns 12 m in length per stage. Each grout stage is overlapping by 3 m (Fig. 4). The diameter of each jet-grouting column is 80 cm.

The secondary lining is made up of heavy invert strut arches and reticulated vault arches with a shotcrete shield reinforced with polypropylene fibres. Immediate security

Tunnel de contournement des Evouettes • Du besoin des usagers à la conception et la réalisation d'un tunnel routier dans un contexte géologique défavorable



Crédit/credit: BG Ingénieurs Conseils SA

3 Profil type
Typical profile

Le soutènement est composé de cintres lourds en étréssillon de radier et de cintres réticulés en voûte, avec un blindage de béton projeté armé de fibres en polypropylène. La sécurité immédiate est assurée par projection d'une couche de 5 cm de béton projeté fibré en périphérie d'excavation ainsi qu'au front. Au début de chaque étape, l'épaisseur de cette couche au front est augmentée à 10 cm afin de supporter les sollicitations induites par le jetting d'une part, et d'assurer la stabilité durant une période prolongée d'autre part.

Le dimensionnement du pré-soutènement, du soutènement et du revêtement définitif a été réalisé à l'aide de modèles par éléments finis 2D et 3D. Sur la base des essais de mécanique des sols réalisés in situ et en laboratoire, une loi constitutive HSS a été calée pour représenter le comportement des terrains encaissants. Ces paramètres sont recalés lors de la réalisation du tunnel, selon les observations faites au niveau des déformations, en appliquant la méthode observationnelle. Les mesures effectuées lors de la creuse de la première partie du tunnel ont permis d'adapter certains paramètres afin d'obtenir une estimation plus précise des tassements

is ensured by spraying a 5 cm coating of fibre-reinforced shotcrete at the edge of the excavation and the face. At the start of each stage, the thickness of this coating at the face is increased to 10 cm in order to support the stresses induced by the jet-grouting on the one hand, but also to ensure stability over a prolonged period of time.

The structural design of the pre-support, support and the final lining was carried out using 2D and 3D finite element models. Based on soil mechanics tests carried out in situ and in the laboratory, an HSS model was defined to represent the behaviour of the surrounding ground. These parameters are fine-tuned during construction of the tunnel depending on observations made on deformations by applying the observational method. The measurements taken during excavation of the first section of the tunnel facilitated the adaptation of certain parameters so as to obtain a more precise estimate of settlements when passing underneath the village of Les Evouettes d'Amont, the most sensitive zone when it comes to differential settlements.

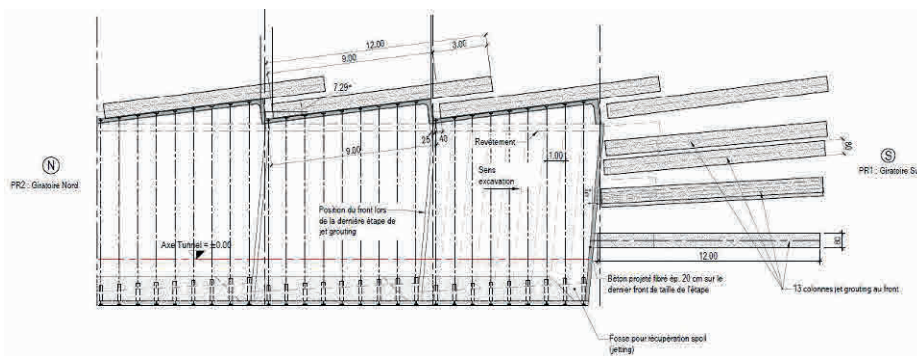
It was essential to put together a model in three dimensions, not just for detailing the length of the overlapping jet-grouting columns depending on the extent of the plastic zone ahead of the face, but also to reliably estimate the deconfinement rate of the excavation section (Fig. 5). A fine grid resolution with a 2D model is then used to precisely determine stresses and deformations in structural elements such as the tunnel support and final lining.

2.4 The Surveillance Concept

Surveillance of the surface settlements, piezometers and tunnel convergence measurements are conducted throughout construction. This is necessary in order to analyse the behaviour of the surrounding rock mass.

Surface gradation measurements are taken by measurement sections, arranged transversely with regard to the tunnel axis and comprising measuring points at the axis, at 10 m and at 30 m. Plotting these helps to establish a perpendicular settlement basin at the tunnel axis and to follow its evolution as excavation progresses.

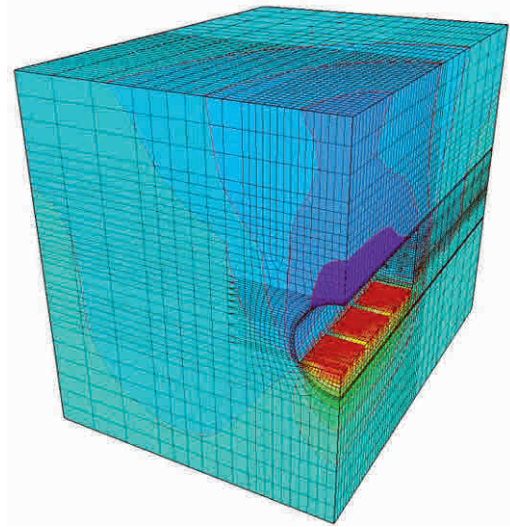
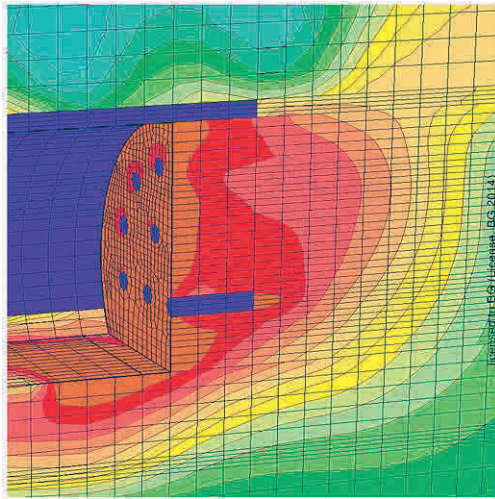
This surveillance system has helped to ascertain that the tunnel section convergences have only exhibited displacement to the order of a millimetre until now. Observations regarding the face and lining established as progress is made have also not led to the detection of significant underground deformation.



Crédit/credit: BG Ingénieurs Conseils SA

4 Principe d'avancement à l'axe du tunnel
Principle of progress at the tunnel axis

Les Evouettes Bypass Tunnel • From the Need of Users, to the Design and the Construction Stages of a Road Tunnel within an Adverse Geological Context



Credit/credit: BG Ingénieurs Conseil SA

5 *Étendue de la zone plastique devant le front (gauche) et déformations (droite)*
Extent of the plastic zone ahead of the face (left) and deformations (right)

lors du passage sous le village des Evouettes d'Amont, zone la plus sensible aux tassements différentiels.

Il a été essentiel d'élaborer un modèle 3D, non seulement pour le dimensionnement de la longueur de recouvrement des colonnes en fonction de l'étendue de la zone plastique devant le front, mais aussi pour estimer de façon fiable le taux de déconfinement de la section d'excavation (fig. 5). Ensuite, un maillage fin avec un modèle 2D est utilisé pour déterminer avec précision les efforts et les déformations dans les éléments structuraux, tels que le soutènement et le revêtement.

2.4 Le concept de surveillance

Une surveillance des tassements en surface, des piézomètres, ainsi que des mesures de convergences du tunnel est effectuée pendant tout le chantier. Cela est nécessaire pour analyser le comportement du massif encaissant.

Les mesures de nivellement en surface se font par sections de mesure, disposées transversalement par rapport à l'axe du tunnel et comportant des points de mesure à l'axe, à 10 m et à 30 m. Leur relevé permet d'établir une cuvette de tassement perpendiculaire à l'axe du tunnel et de suivre son évolution au fur et à mesure de l'avancement de l'excavation.

Le système de surveillance mis en place a permis de constater que les convergences de la section du tunnel n'ont montré que des déplacements d'ordre millimétrique jusqu'à présent. Les observations du front et du soutènement mis en place au fur et à mesure de l'avancement n'ont pas permis de détecter non plus de déformation significative en souterrain.

Les mesures de tassement effectuées après chaque étape de pré-soutènement et d'excavation ont permis de cerner l'évolution des tassements en surface en fonction de l'avancement du tunnel. L'évolution des tassements à l'axe

Settlement measurements conducted after each pre-lining and excavation stage have helped with understanding the development of surface settlements depending on tunnel progress. The development of settlements at the tunnel axis is represented in Fig. 6 for different measurement sections with different cover. Generally speaking, the first settlements appear around three to four stages before the face of the tunnel passes the area of the measurement section and stabilise one to two stages after the face has passed.

The measurements taken during the three progression stages E39 to E41 as of February 2021 facilitated the detection of a marked increase in settlements, represented in Fig. 7.

This analysis prompted the client to stop the north progression of the tunnel on 12 March 2021 to reconsider the risk status prior to passing beneath the inhabited zone.

2.5 Analysis of Rack Sensitivity and Planned Mitigation Measures

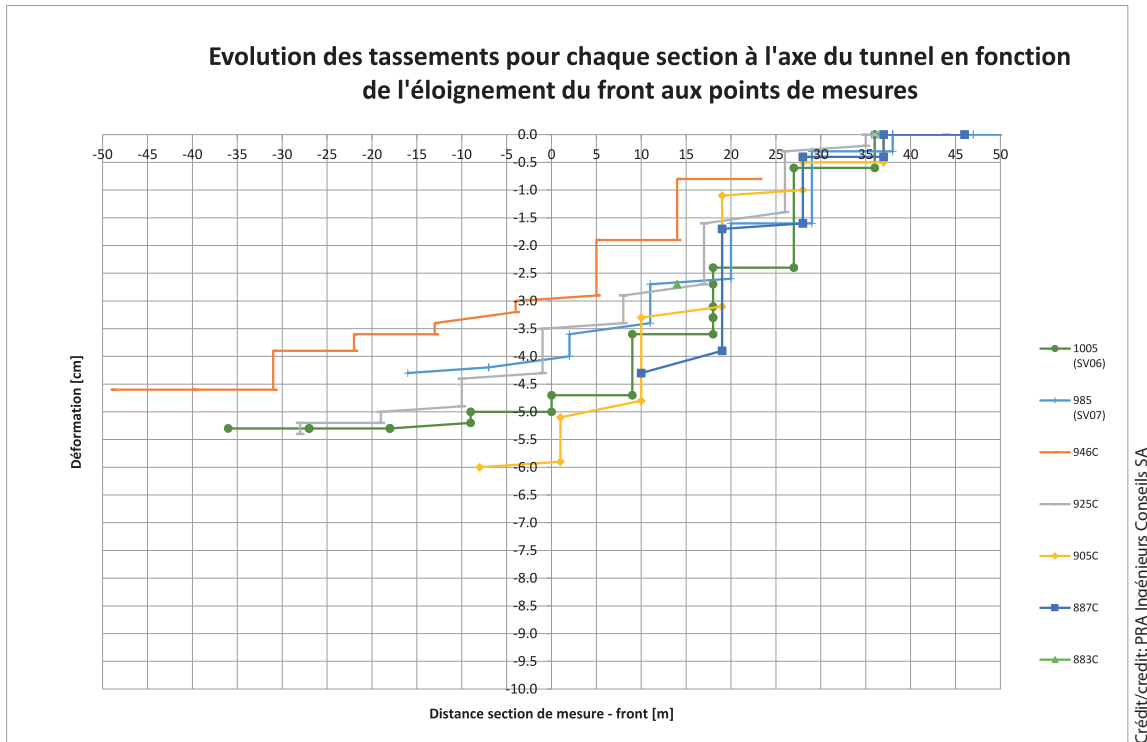
The location of the passage beneath the residential area is represented in Fig. 8. For passing beneath the inhabited zone, the 15 stages E42 to E56 are critical – with a combined length of 135 m.

The risk analysis for the seven buildings affected by the tunnel's surface settlement basin directly above the tunnel is based on a settlement of 5 cm relating to values measured with equal cover during progress made up to stage E38.

The evaluation criteria laid down for the risk analysis are as follows:

- On the one hand, projections for differential settlement for each building
- On the other, the vulnerability of each building, estimated depending on the type of foundations, the type of super-

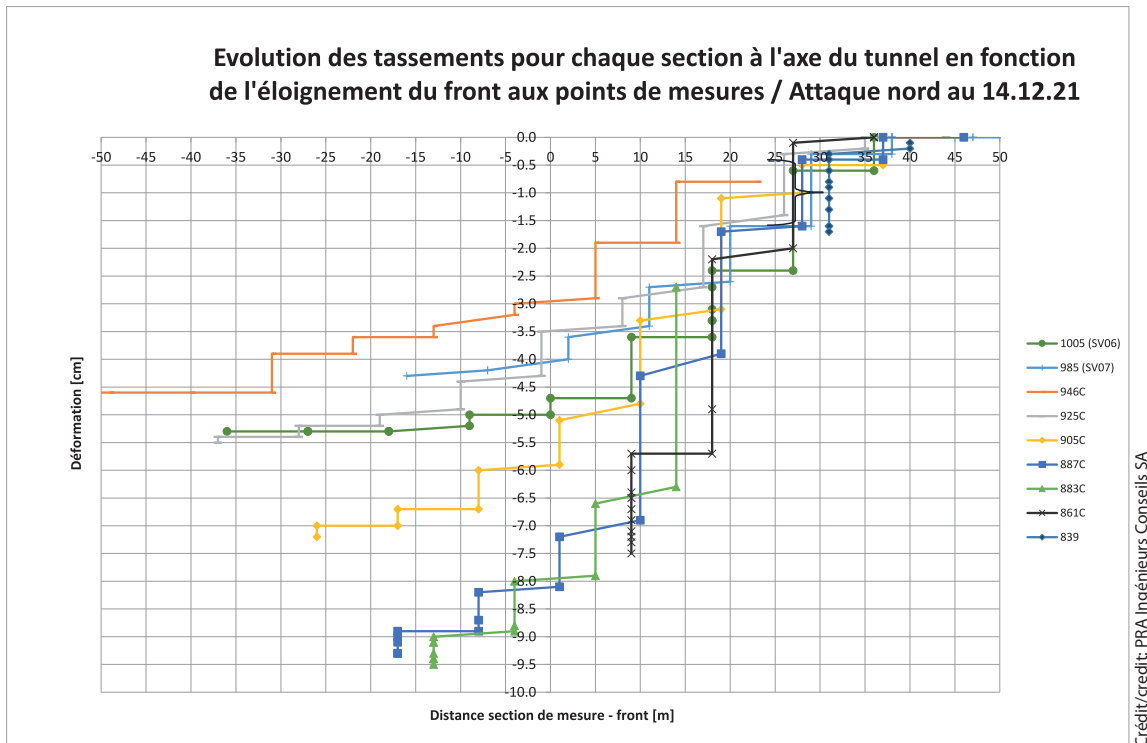
Tunnel de contournement des Evouettes • Du besoin des usagers à la conception et la réalisation d'un tunnel routier dans un contexte géologique défavorable



03.03.22

G:\Mandats\1220 Tunnel des Evouettes\Document\PRA\Article FGU\Figure 6_Evolution tassement_PRA.xlsx

6 Evolution des tassements pour chaque section à l'axe du tunnel en fonction de l'éloignement du front aux points de mesures
Settlement development for each section at the axis of the tunnel depending on the distance from the face at the measuring points



03.03.22

G:\Mandats\1220 Tunnel des Evouettes\Phase4_Chantier_DT\2. Documents_chantier\7. Vuadens_Géomètre\Tassement SI\Vignes 2021\Interprétation_tassements_20210723 Avant pause été 21.xlsx

7 Evolution des tassements pour chaque section à l'axe du tunnel en fonction de l'éloignement du front aux points de mesures / Attaque nord
Settlement development for each section at the axis of the tunnel depending on the distance from the face at the measuring points / north drive

Les Evouettes Bypass Tunnel • From the Need of Users, to the Design and the Construction Stages of a Road Tunnel within an Adverse Geological Context

du tunnel est représentée à la **figure 6** pour différentes sections de mesure avec des couvertures différentes. De façon générale, les premiers tassements apparaissent environ trois à quatre étapes avant le passage du front du tunnel au droit de la section de mesure et se stabilisent une à deux étapes après le passage du front.

Les mesures effectuées durant les trois étapes d'avancement E39 à E41 à partir de février 2021 ont permis de constater une augmentation sensible des tassements, représentée à la **figure 7**.

Ce constat a incité le maître d'ouvrage à arrêter l'avancement nord du tunnel le 12 mars 2021 pour reconsidérer la situation de risques avant le passage sous la zone d'habitation.

2.5 Analyse de sensibilité du bâti et mesures de mitigation prévues

La situation pour le passage sous la zone d'habitation est représentée à la **figure 8**. Pour le passage sous les zones d'habitation, les quinze étapes E42 à E56 sont critiques, soit une longueur cumulée de 135 m.

L'analyse de risques sur les sept bâtiments concernés par la cuvette de tassement en surface à l'aplomb du tunnel repose sur une cuvette de tassement de 5 cm correspondant aux valeurs mesurées à couverture égale lors de l'avancement réalisé jusqu'à l'étape E38.

Les critères d'évaluation retenus pour l'analyse de risques sont les suivants :

- d'une part, les prévisions de tassement différentiel de chaque bâtiment,
- d'autre part, la vulnérabilité de chaque bâtiment, qui est estimée en fonction du type de fondations, du type de superstructure, de l'état du bâtiment, de son affectation, et de la forme en situation du bâtiment (chacun de ses sous-critères est pondéré et l'indicateur de vulnérabilité est réparti en 5 classes allant de très peu sensible – classe V1 – à très sensible – classe V5).

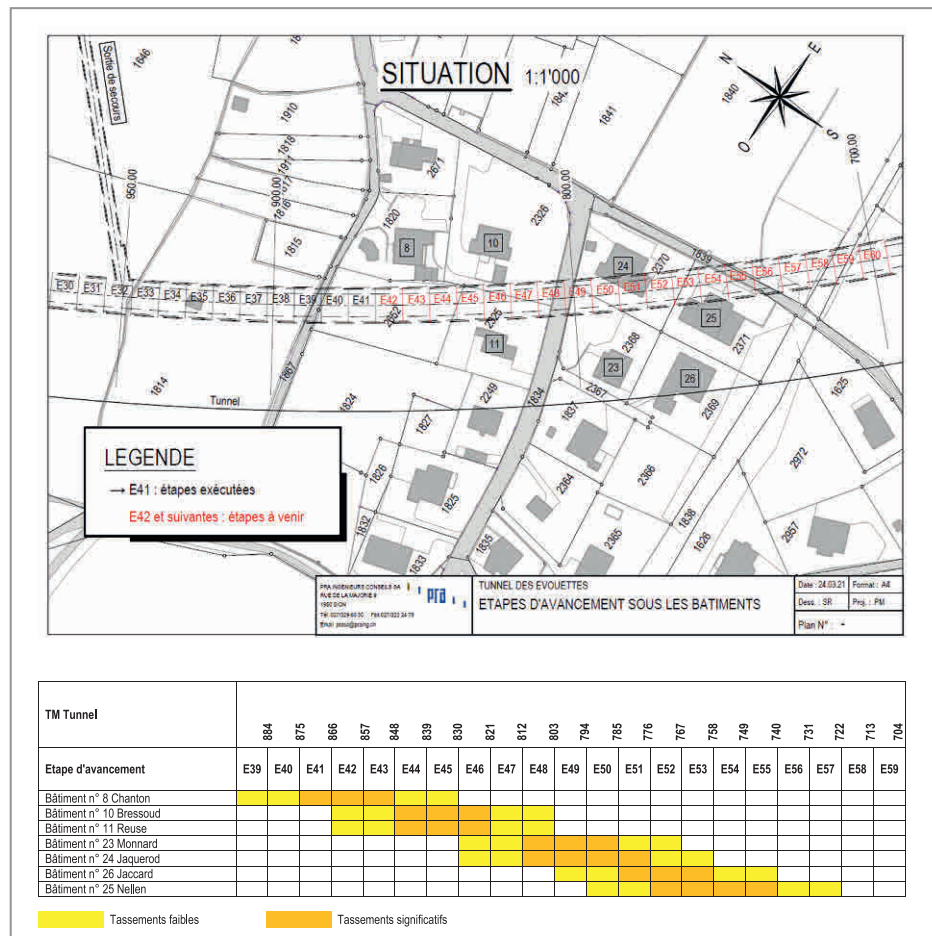
Les résultats de l'analyse de risques effectuée pour la

structure, la condition de la bâtisse, son usage, et la forme autour de la bâtisse (chacun de ces sous-critères est considéré et l'indicateur de vulnérabilité est divisé en cinq classes allant de très faible sensibilité – classe V1 – à haute sensibilité – classe V5)

Les résultats de l'analyse de risques effectuée pour la situation initiale sont résumés schématiquement dans la **figure 9**.

Sur cette base, un concept de surveillance a été développé pour les bâtiments et mis en place en priorité pour le premier bâtiment affecté. Le concept de surveillance prévoit un suivi continu des mesures de tassement de surface avec des seuils d'alarme, une inspection régulière des tassements différentiels sur les bâtiments affectés, et une inspection régulière des dommages observés sur les bâtiments par un agent externe. Les sept bâtiments affectés restent dans le cadre des dommages cosmétiques et fonctionnels.

Indépendamment de travaux ultérieurs de réparation des bâtiments à effectuer après le passage du tunnel sous la zone résidentielle, les autres mesures de mitigation prévues pour réduire les effets des tassements sur les bâtiments sont :



8 Étapes d'avancement sous les bâtiments
 Progression stages beneath the buildings

Crédit/credit: PRA Ingénieurs Conseils SA

Tunnel de contournement des Evouettes • Du besoin des usagers à la conception et la réalisation d'un tunnel routier dans un contexte géologique défavorable

Niveau de risque encouru par chacun des bâtiments concernés

Tassement pronostiqué (différentiel)	V1 très peu sensible	V2	V3	V4	V5 très sensible
< 1/750		24			
1/750 à 1/500	11 25		23 26	8 / 10	
1/500 à 1/250					
1/250 à 1/150					
> 1/150					

esthétique

fonctionnel

structurel

Crédit/credit: PRA Ingénieurs Conseils SA

Bâtiment No	Tasst diff	Vulnérab	Points
8	546	V4	24
10	529	V3	24
11	531	V2	17
23	700	V3	21
24	873	V2	19
25	579	V2	19
26	700	V3	22

V1	10 à 14 points
V2	15 à 19 points
V3	20 à 24 points
V4	25 à 29 points
V5	30 à 34 points

- Preventative injections or compensation injections to raise a building between two progression stages or after each tunnel excavation is conducted
- Payment of compensation to affected residents to facilitate potential rehousing while the tunnel passes close to each building

3 Production

3.1 Production of the Pre-lining via Jet-Grouting

3.1.1 The Concept

The highly varied geology of Les Evouettes required the implementation of a logistical concept and appropriate tools.

The cement batch plant was installed outside the tunnel below the exterior concreting works so as not to impede their construction. The resulting grout is pumped and injected into the tunnel face at a pressure of 450 to 525 bar.

The residues from the jet-grouting injections will be collected at the floor of the tunnel face, from here pumped into agitator trucks using peristaltic pumps and transported out of the tunnel to the sludge treatment plant installed on site (Fig. 10).

The sludge is then treated primarily by reusing tunnel drainage water, and is then desanded and stored prior to being pumped into two filter presses. The pressed sludge blocks are then removed to type B landfills, while the alkaline process water is treated in the settling and neutralisation basins prior to discharge. All this is overseen in real time using an online system that monitors pH, turbidity and water flow.

The requirement of a compressive strength of 10 MPa at 14 days, as well as the cracking risk associated with the technique of double or triple jet-grouting, led to the selection of single jet-grouting (cement grout injection without the addition of an air and water flow).

The choice of CEM III-B 42.5 LH-SR cement was driven by the compressive strength, as well as the need to discharge water and sludge with an acceptable Cr(VI) level.

The presence of numerous boulders of various sizes (decimetre to metre) with significant hardness, along with the heterogeneity of the encountered ground, makes the choice

9 Niveau de risque encouru pour les sept bâtiments concernés Level of risk incurred for the seven buildings affected

situation initiale sont synthétisés schématiquement à la figure 9.

Sur cette base, un concept de surveillance des bâtiments a été élaboré et mis en place prioritairement pour le premier bâtiment concerné. Le concept de surveillance prévoit un suivi en continu des mesures de tassement en surface avec des seuils d'alarme, un contrôle régulier des tassements différentiels sur les bâtiments concernés, ainsi qu'un contrôle régulier des dommages observés sur les bâtiments par un mandataire externe. Sur les sept bâtiments concernés, les dommages restent d'ordre esthétique et fonctionnel.

Indépendamment des travaux de réparation ultérieure des bâtiments à réaliser après le passage du tunnel sous la zone d'habitation, les autres mesures de mitigation prévues pour réduire les effets des tassements sur les bâtiments sont :

- des injections préventives ou injections de compensation pour le relevage d'un bâtiment entre deux étapes d'avancement, respectivement après chaque réalisation d'excavation du tunnel ;
- le versement d'une indemnité aux habitants concernés pour leur permettre un relogement éventuel pour la durée du passage du tunnel à proximité de chaque bâtiment.

3 La réalisation

3.1 La réalisation du pré-soutènement par jetting

3.1.1 Le concept

La géologie très hétérogène des Evouettes a nécessité la mise en œuvre d'un concept logistique et d'outils adaptés.

Les Evouettes Bypass Tunnel • From the Need of Users, to the Design and the Construction Stages of a Road Tunnel within an Adverse Geological Context



10 Installation de traitement des boues
Sludge treatment plant

L'installation de production de coulis de ciment a été installée à l'extérieur du tunnel, à l'aval des ouvrages béton extérieurs pour ne pas gêner leur construction. Le coulis produit est pompé à une pression située entre 450 et 525 bars, jusqu'au front du tunnel.

Les rejets de spoil issus de l'injection des colonnes de jetting sont pompés au pied du front au moyen de pompes péristaltiques et extraits du tunnel par camions malaxeurs pour être livrés à la station de traitement des boues installée sur chantier (figure 10).

Les boues sont alors traitées en réutilisant majoritairement les eaux d'exhaure, puis dessablées et stockées, avant d'être pompées dans deux filtre-presses. Les galettes de boues pressées sont alors évacuées en décharge type B, tandis que les eaux alcalines issues du processus sont traitées dans les bassins de décantation et neutralisation avant rejet. L'ensemble est surveillé en temps réel, au moyen d'un système de monitoring en ligne du pH, de la turbidité et du débit des eaux.

L'exigence d'une résistance à la compression de 10 MPa à 14 j, ainsi que le risque de cracking lié à la technique du jet-grouting double ou triple a conduit au choix du jet-grouting simple (injection de coulis de ciment sans adjonction d'un flux d'air et eau).



Crédit/credit: Infra-Tunnel-SA



Crédit/credit: Infra-Tunnel-SA

11 Installation de production du coulis de ciment
Cement grout production plant



Credit/credit: Infra-Tunnel-SA

12 Pompe haute pression – 500 kW
High-pressure pump – 500 kW

Le choix du ciment CEM III-B 42.5 LH-SR a été guidé par la résistance à compression, ainsi que par la nécessité de rejeter des eaux et des boues avec une teneur acceptable en CrVI.

La présence de nombreux blocs de dureté importante et de tailles variées (décimétriques à métriques) ainsi que l'hétérogénéité des terrains rencontrés condamnent le choix du forage en rotation à l'eau. La réalisation du jet-grouting dans ces conditions particulièrement défavorables a été rendue possible uniquement par l'emploi d'un système innovant de tiges de forage et moniteurs à double flux (air et coulis de ciment), couplées à l'utilisation de marteaux fond de trou à air, munis de valves anti-retour pour éviter les remontées de coulis de ciment à l'injection.

3.1.2 L'inventaire

La production du coulis de ciment est assurée par un ensemble de malaxeur/agitateur de capacité 20 m³/h alimenté par deux silos de stockage de 50 tonnes (fig. 11) et d'une pompe haute pression de 500 kW (fig. 12).

La réalisation des colonnes à proprement parler est exécutée au moyen d'une foreuse électrique sur chenille de 65 tonnes



Credit/credit: Infra-Tunnel-SA

13 Foreuse pour réalisation du jet-grouting
Drill for conducting jet-grouting

of wet rotary drilling impossible. Conducting jet-grouting in these especially adverse conditions was made possible only by using an innovative system of drill stems and double-flow monitors (air and cement grout), combined with the use of DTH air drills equipped with check valves to prevent resurgence of the cement grout during injection.

3.1.2 The Inventory

Production of cement grout is ensured by a mixer/agitator set with a capacity of 20 cubic metre per hour fed by two 50-tonne storage silos (Fig. 11) and pumps to inject the mix – one with a power output of 500 kW (Fig. 12).

Completion of the columns themselves is conducted using a 65-tonne electric crawler drill fitted with a 25 m horizontal mast and a rotary head with 21,000 Nm of torque (photo below).

3.1.3 The Choice of Parameters

The choice of injection parameters was taken iteratively over several stages to suit progression of the work and passing through various geological horizons.

An initial set of parameters was defined based on the vertical jet-grouting block test conducted at the tunnel portal because of the low level of cover. This facilitated the definition of an initial energy level of 21 MJ/ml, which was then progressively refined during implementation of the first stages of the tunnel.

An observational method based on inclusion of the columns' diameters, compressive strengths and spoil volumes, but also the stability of the vault and excavation faces, led to the adoption of a set of parameters that was then retained from stage 11 to 41. The adopted energy levels of 24 MJ/ml for the vault columns to 30 MJ/ml for the face columns helped to ensure excellent stability during excavation while restricting overconsumption of cement in highly challenging ground. Definition of the energy levels, analysis and optimisation of parameters fall under the company's expertise.

It should be noted that this phase of parameter optimisation was complicated to a certain degree by the inclusion of the issue of cement grout resurgence at the surface, which characterised the excavation of the tunnel in stages 1 to 20. In the end, the increase in cover and the transition from crushed rock materials and rubble to a more compact moraine with fewer voids put an end to this unanticipated issue.

Phenolphthalein spray tests helped to highlight the extensive impregnation of this lightly compacted ground by the cement grout of the jet-grouting columns (Fig. 15).

3.2 Excavation and Lining

Excavation of the tunnel is conducted full-face with a tunnel excavator and rock breaker to reduce the size of the large amount of boulders encountered. The 9 m stages are exca-

Les Evouettes Bypass Tunnel • From the Need of Users, to the Design and the Construction Stages of a Road Tunnel within an Adverse Geological Context



Crédit/credit: Infra-Tunnel-SA

14 Exemples de fronts caractéristiques
Example of face characteristics

munie d'un mât horizontal de 25 m et d'une tête de rotation de 21 000 Nm de couple (photo ci-dessous).

3.1.3 La sélection des paramètres

Le choix des paramètres d'injection a été réalisé en plusieurs étapes et de manière itérative, au gré de l'avancement des travaux et de la traversée des différents horizons géologiques.

Un premier set de paramètres a été défini sur la base de l'expérience du plot de jet-grouting vertical réalisé à l'entrée du tunnel en raison de la très faible couverture. Il a permis la définition d'un premier niveau d'énergie de 21 MJ/ml qui a par la suite été précisé au fur et à mesure de la réalisation des premières étapes de tunnel.

Une méthode observationnelle basée sur la prise en compte des diamètres de colonnes, des résistances à la compression, des volumes de spoil, mais aussi de la stabilité de la voûte et des fronts à l'excavation a conduit à l'adoption d'un set de paramètres qui a par la suite été maintenu de l'étape 11 à 41. Les niveaux d'énergie adoptés de 24 MJ/ml pour les colonnes de voûte, à 30 MJ/ml pour les colonnes de front ont permis d'assurer une très bonne stabilité à l'excavation tout en limitant les surconsommations de ciment dans ces terrains

vated metre by metre before a new pre-lining support stage is implemented, punctuated by the fitting of metal arches (lattice girder and wire mesh in the vault area and HEB180 struts at the footing) and the spraying of fibre-reinforced shotcrete.

3.3 Inner Lining Works

Establishment of the final inverts alongside the excavation work is facilitated by the use of a concreting bridge fitted by the company to make up for a delay of several weeks built up at the start of excavation. The metal bridge, weighing a total of 60 t, is moved on a daily basis by a hydraulic system and allows a 9 m (56 cubic metre) invert stage to be constructed each day. The bridge allows the heaviest machines to pass (dumpers and 65 t drill) while ensuring the safety of the workforce and the continued operation of works at two locations (Fig. 17 and 18).

The profile concreting of cut-and-cover tunnel stages for the north and south tunnel is conducted with the same tool formwork as the tunnel stages. This is a hydraulic formwork fitted with 50 pneumatic vibrators, an automatic hydraulic vault shutter edge bulkhead and an automatic concrete distributor (Fig. 19). Two curing carts are mounted behind this to ensure the concrete is cured over a minimum period of 48 hours.

3.4 Southern Counter-Drive

A counter-drive via the south portal that was not anticipated in the core project had to be performed. This is doubly significant because it helps to make up for the delay associated with difficulties encountered at the start of excavation and to overcome the risk of cement grout resurgence in the zone with low-level cover at the south portal farmed by a number of winegrowers.

The south portal's hydrogeological conditions facilitated the implementation of a nine-stage primary support with each pipe roofing umbrella stage made up of 49x S355 steel pipes with a length of 13 m and a 159 mm diameter. The face lin-



Crédit/credit: Infra-Tunnel-SA

15 Mise en évidence de la diffusion du coulis de ciment par projection de phénolphtaléine
Demonstration of the spread of the cement grout via phenolphthalein spray

Tunnel de contournement des Evouettes • Du besoin des usagers à la conception et la réalisation d'un tunnel routier dans un contexte géologique défavorable

très exigeants. La définition des niveaux d'énergie, l'analyse et l'optimisation des paramètres relèvent de l'expertise de l'entreprise.

À noter que cette phase d'optimisation des paramètres a été passablement compliquée par la prise en compte de la problématique des résurgences de coulis de ciment en surface, qui a marquée l'excavation du tunnel des étapes 1 à 20. Au final, c'est l'augmentation de la couverture ainsi que le passage des matériaux de débâcles et d'éboulis à une moraine plus compacte et comportant moins de vide qui a mis fin à cette problématique qui n'avait pas été anticipée.

Des essais de projection de phénolphtaléine ont permis de mettre en valeur la grande imprégnation de ces terrains faiblement compactés par le coulis de ciment des colonnes de jet-grouting (fig. 15).

3.2 L'excavation et le soutènement

L'excavation du tunnel est réalisée en pleine section, à la pelle tunnel et au brise-roche pour la réduction des nombreux blocs. Les étapes de 9 m sont excavées mètre par mètre avant réalisation d'une nouvelle étape de pré-soutènement, et ponctuées par la pose de cintres métalliques (réticulés en voûte et HEB180 pour l'étrésillon), ainsi que la projection de béton fibré.

3.3 Les travaux de revêtement

La réalisation des radiers définitifs en parallèle des travaux d'excavation est facilitée par l'utilisation d'un pont de bétonnage qui a été mis en place par l'entreprise pour compenser un retard de quelques semaines accumulé au début de l'excavation. Le pont métallique, d'un poids total de 60 t, est déplacé quotidiennement par un système hydraulique et permet la réalisation d'une étape de radier de 9 m (56 m³) chaque jour. Ce pont permet le passage des engins les plus lourds (dumpers et foreuse de 65 t) en assurant la sécurité des collaborateurs et le maintien des travaux en deux postes (fig. 17-18).



17 Travaux de radier définitif sous le pont de bétonnage
Final-invert work under the concreting bridge



Credit/credit: Infra-Tunnel-SA

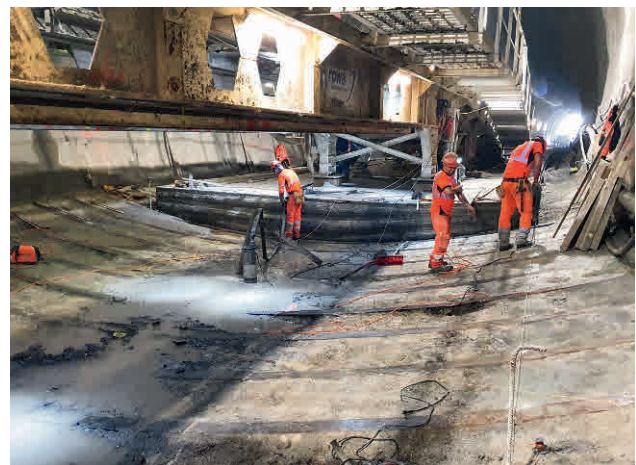
16 Excavation à la pelle hydraulique tunnel et brise-roche 3 500 kg.
Excavation via hydraulic tunnel excavator and 3,500 kg rock breaker

ing is provided by 52 self-drilling fibreglass tubes of 17 m with a diameter of 76 mm. Excavation was conducted in the same manner as for the north portal, the only difference being that a heavy HEB 240 – S355 (vault + strut) arch lining was fitted metre by metre.

3.5 Difficulties Resulting from the Jet-Grouting and Ongoing Developments

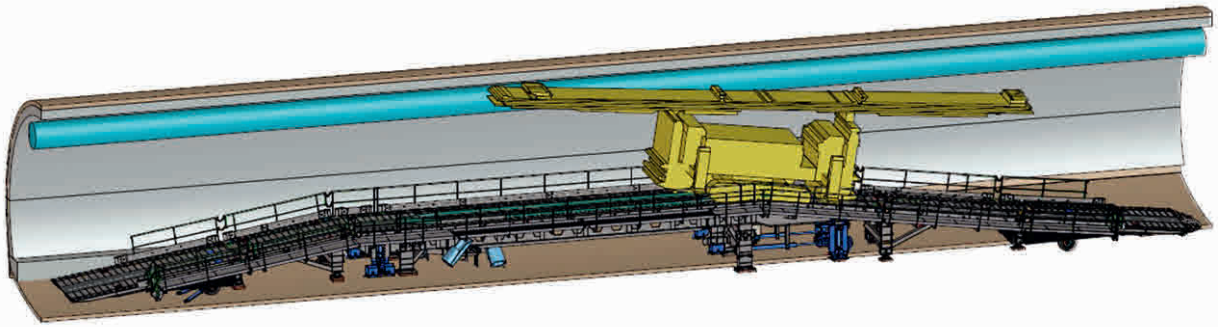
As indicated above, the completion of jet-grouting in debris materials with a very high degree of heterogeneity and the presence of boulders, voids, organic materials and more favourable horizons was characterised by repeated resurgence of the cement grout at the surface during the first 20 stages.

The excavation of the Les Evouettes tunnel was complicated by settlements caused during the conduction of jet-grouting. This phenomenon is counter-intuitive. The reaction of the ground just a few hours after the start of work however leaves no room for doubt concerning the cause of the settlements. Drilling tests on stage 42 did not show the same behaviour. The debris materials are lightly compacted, with voids and highly open horizons as indicated by phe-



Credit/credit: Infra-Tunnel-SA

Les Evouettes Bypass Tunnel • From the Need of Users, to the Design and the Construction Stages of a Road Tunnel within an Adverse Geological Context



Crédit/credit: Infra-Tunnel-SA

18 Schéma du pont de bétonnage
Diagram of concreting bridge

Le bétonnage des étapes de tranchées couvertes à profil tunnel nord et sud est réalisé avec le même coffrage outil que les étapes de tunnel. Il s'agit d'un coffrage hydraulique muni de 50 vibreurs pneumatiques, d'un masque automatique hydraulique et d'un distributeur automatique de béton (fig. 19). Deux chariots de cure seront montés à l'arrière de celui-ci pour assurer la cure du béton pendant une durée minimale de 48 h.

3.4 Contre-attaque sud

Une contre-attaque par le portail sud non prévue dans le projet de base a dû être réalisée. Son intérêt est double puisqu'elle a permis de compenser le retard lié aux difficultés rencontrées au début de l'excavation et de s'affranchir du risque de résurgences de coulis de ciment dans la zone à faible couverture du portail sud, exploitée par plusieurs vigneron.

Les conditions hydrogéologiques du portail sud ont permis la réalisation du pré-soutènement de neuf étapes en voûtes parapluie simple composées de 49 tubes d'acier S355 de 13 m et de diamètre 159 mm. Le soutènement du front est assuré par 52 tubes auto-forants en fibre de verre de 17 m, de diamètre 76 mm. L'excavation a été réalisée sur le même mode qu'au portail nord, à ceci près qu'un soutènement lourd en cintre HEB 240 – S355 (voûte + étréssillon) a été mis en place mètre par mètre.

3.5 Les difficultés induites par le jetting et les évolutions en cours

Comme indiqué ci-dessus, la réalisation du jet-grouting dans des matériaux d'éboulement avec une très forte hétérogénéité et la présence de blocs, de vides, de matériaux organiques et d'horizons plus favorables a été marquée sur les vingt premières étapes par des résurgences récurrentes de coulis de ciment en surface.

L'excavation du tunnel des Evouettes est rendue difficile par les tassements engendrés lors de la réalisation du jet grouting. Ce phénomène est contre-intuitif. La réaction du terrain quelques heures seulement après le début des travaux ne laisse cependant aucun doute sur la cause des tassements.

nolphthalein tests. The observation of settlement in recent backfill (Favazzina tunnel or the underpinning of buildings) is a known but rarely documented phenomenon.

The convergences on the lining, on the other hand, are restricted to a few millimetres, which shows that the primary support is perfectly adapted to the excavation phase. These unexpected incidents only presented a few problems during passage of the uninhabited section of the route, but led to work being interrupted as it approached the inhabited zone when the reduction in cover exhibited an increase in deformations.

The south face exhibited similar behaviour during completion of the umbrella arch and face bolts via wet rotary drilling. Settlement also occurs during completion of the pre-lining despite organisational measures taken to limit the loss of material.

The method selected for resumption of work at the north is based on a double pipe roofing umbrella arch primary support made up of diameter 168.3 mm S355 steel tubes rotary-drilled with a DTH drill. The stability of the face will be en-



Crédit/credit: Infra-Tunnel-SA

19 Montage du coffrage outil – Tunnel dans la tranchée couverte nord
Assembling the tunnel tool formwork in north cut-and-cover tunnel

Tunnel de contournement des Evouettes • Du besoin des usagers à la conception et la réalisation d'un tunnel routier dans un contexte géologique défavorable

Des essais de forage sur l'étape 42 n'ont pas montré le même comportement. Les matériaux d'éboulement sont faiblement compactés, avec des vides et des horizons fortement ouverts, comme l'ont révélé les essais de phénolphtaléine. L'observation de tassement dans des remblais récents (galerie de Favazzina ou la reprise en sous-œuvre de bâtiments) est un phénomène connu mais peu documenté.

Les convergences sur le soutènement se limitent en revanche à quelques millimètres, preuve que le fonctionnement du pré-soutènement est parfaitement adapté pour la phase d'excavation. Ces événements inattendus n'ont posé que peu de problèmes lors de la traversée de la partie inhabitée du tracé, mais ont conduit à une interruption des travaux à l'approche de la zone habitée, lorsque la réduction de la couverture a montré une augmentation des déformations.

Le front sud a montré un comportement similaire lors de la réalisation de la voûte parapluie et des boulons de front en rotoperçusion à l'eau. Le tassement se produit également lors de la réalisation du pré-soutènement, en dépit des mesures organisationnelles prises pour limiter la perte de matière.

La méthode choisie pour la reprise des travaux au nord est basée sur un pré-soutènement en voûte parapluie double constituée de tubes d'acier S355 de 168,3 mm forés en rotation au marteau fond de trou. La stabilité du front sera assurée par la réalisation de 35 ancrages de 17 m en fibre de verre de 1 080 KN. La reprise des travaux est imminente, sur un mode contractuel nouveau, fortement responsabilisant pour l'entreprise.

4 Conclusion

La vie n'est pas un long fleuve tranquille, mais c'est dans ses méandres que l'équipe projet peut se révéler et transformer un chantier en une aventure humaine.

La nécessité d'apporter une solution aux habitants des Evouettes initiée par le canton est pertinente, quand bien même



Crédit/credit: Infra-Tunnel-SA

20 Étape 72 – réalisation de la voûte parapluie – Jumbo L2C
Stage 72 – construction of the pipe roofing umbrella arch – Jumbo L2C

sured with the completion of 35x 1,080 kN fibreglass anchors with a length of 17 m each. Resumption of work is imminent and based on a new contractual method with significant responsibilities for the company.

4 Conclusion

Life is never straightforward, but these complications allow the project team to prove itself and transform a construction site into a human adventure.

The need to provide the residents of Les Evouettes with a solution initiated by the canton is relevant even if better in-



Crédit/credit: Infra-Tunnel-SA

21 La circulation frontalière aux Evouettes
Border traffic at Les Evouettes

Les Evouettes Bypass Tunnel • From the Need of Users, to the Design and the Construction Stages of a Road Tunnel within an Adverse Geological Context

une meilleure infrastructure augmentera la circulation routière. Les mandataires ont développé un projet adapté au contexte géologique et challengeant pour l'entreprise. Le défi a été relevé de manière professionnelle en mobilisant les moyens adaptés, innovants et avec une attitude proactive face aux difficultés des parties prenantes. Hélas, les résurgences au début du projet et surtout les tassements en surface n'ont pas pu être mieux maîtrisés avec la technique du jetting, ce qui a conduit à un arrêt de chantier de près de 11 mois jusqu'à la reprise en mars 2022 du chantier.

Début 2025, les usagers et les habitants de la région traverseront un ouvrage majeur sans se rendre compte de l'énergie qui aura été déployée par les bâtisseurs pour l'achever en toute sécurité.

Infrastructure will increase road traffic. Representatives have developed a project tailored to the geological context that is challenging for the company. The challenge has been met professionally with the mobilisation of tailored, innovative methods and with a proactive attitude on the part of stakeholders when faced with difficulties. Sadly, the resurgences at the start of the project and, above all, the surface settlements, could not be overcome with jet-grouting, which led to work being interrupted for almost eleven months until resumption of construction in March 2022.

At the start of 2025, users and residents of the region will cross a major structure without realising the effort that builders will have put in to safely complete it.

DONNÉES DU PROJET	PROJECT DATA
<p>Région Valais, Suisse</p> <p>Client DB Netz AG</p> <p>Planification et gestion du site Service des routes, transports et cours d'eau (SRTCE) du Canton du Valais – Suisse</p> <p>Conception, supervision du site et gestion globale de la construction</p> <ul style="list-style-type: none"> • Consortium de mandataires GITEV (Pra Sa (pilote), BG Ingénieurs Conseils SA, SRP, Philippe Bruchez, Nunatak) • Géologie : Norbert SA Martigny • Géomètre du maître d'ouvrage : Geo4Me • Suivi Environnement : Hintermann+Weber, B+C Ingénierie <p>Exécution Consortium Infra Tunnel SA (pilote), Charles Gasser SA (avec les principaux sous-traitants : MTS-Keller, Sika Bau AG, Monod-Piguet Associés SA et Terra Vermessung AG)</p> <p>Données clés Période de construction : 2017–2024 Début des opérations : 2018 Les coûts de construction : 130 millions de CHF, dont 70 millions de travaux souterrains</p> <p>Longueur : Tunnel de 657 m bidirectionnel, galerie de sécurité de 120 m, tranchées couvertes de 108 m, trémies routières de 163 m et chaussées de raccordement de 473 m.</p> <p>Section d'excavation : 105 à 135 m²</p> <p>Caractéristiques spéciales Excavation d'un tunnel pleine section en terrain meuble</p>	<p>Region Valais, Switzerland</p> <p>Client DB Netz AG</p> <p>Planning and site management Service des routes, transports et cours d'eau (SRTCE) of the canton of Valais, Switzerland</p> <p>Design, site supervision and overall construction management</p> <ul style="list-style-type: none"> • GITEV consortium of representatives (Pra Sa (lead), BG Ingénieurs Conseils SA, SRP, Philippe Bruchez, Nunatak) • Geology: Norbert SA Martigny • Client's surveyor: Geo4Me • Environmental monitoring: Hintermann+Weber, B+C Ingénierie <p>Execution Consortium Infra Tunnel SA (lead), Charles Gasser SA (with the main subcontractors: MTS-Keller, Sika Bau AG, Monod-Piguet Associés SA and Terra Vermessung AG)</p> <p>Key data Construction period: 2017–2024 Start of operations: 2018 Construction costs: 130 million CHF, of which 70 million in underground works</p> <p>length: rectional 657 m tunnel, 120 m safety tunnel, 108 m cut-and-cover tunnels, 163 m road approaches and 473 m connection roads.</p> <p>Excavated cross section: 105 to 135 m²</p> <p>Special features Full-face excavation of a tunnel in unconsolidated ground</p>

Stefan Müller, dipl. Bau-Ing. HTL, Abteilungsleiter Untertagbau, Frutiger AG, Thun/CH
Fabio Casanova, MSc ETH Civil Eng., Bauführer ABB RBS Los 2.4, Frutiger AG, Thun/CH

Herausforderungen im städtischen Bauen aus Sicht des Unternehmers

Zukunft Bahnhof Bern, RBS Los 2.4

Der Bau der Zufahrtsstrecke zum neuen RBS-Tiefbahnhof Bern ist Bestandteil (Los 2.4) des Projekts «Ausbau Bahnhof Bern RBS». Das rund 1,8 km lange Tunnelsystem wird im Fels sowie im Lockergestein mit geringer Überdeckung realisiert. Die urbanen Randbedingungen in Bezug auf Baustellenlogistik, Platzverhältnisse, Verkehr und Anwohner stellen den Unternehmer vor grosse Herausforderungen.

Challenges in Urban Construction from the Contractor's Perspective

Future of Bern Station, RBS Lot 2.4

The construction of the approach line to the new RBS underground station is part (Lot 2.4) of the «Expansion of Bern RBS Station» project. The approx. 1.8 km long tunnel system will be realised in rock and in soil with low coverage. The urban conditions with regard to construction site logistics, space conditions, traffic and residents present the contractor with great challenges.

1 Einleitung

Im Zentrum der Stadt Bern befindet sich der zweitgrösste Bahnhof der Schweiz. Täglich wird dieser von über 250 000 Bahnreisenden genutzt. Der heutige RBS-Kopfbahnhof hat mit bis zu 60 000 Passagieren pro Tag seine Leistungsfähigkeit erreicht. Ein neuer Tiefbahnhof, bestehend aus zwei rund 200 m langen Bahnhofskavernen inkl. Zufahrtsstrecke, soll im Rahmen des Gesamtprojekts «Ausbau Bahnhof Bern RBS» den bestehenden Kopfbahnhof ersetzen.

Die Planung der Zufahrtsstrecke (Los 2.4) erfolgt durch die Planergemeinschaft RBS^{verbindet} (Basler & Hofmann AG, B+S AG, Emch+Berger AG, theo hotz partner AG). Ausgeführt wird das Teilprojekt durch die Frutiger AG unter Federführung der Abteilung Untertagbau. Die rund 1,8 km lange Zufahrtsstrecke, bestehend aus Doppel- und Einzelspurtunnels, schliesst beim Wildpark am bestehenden Schanzentunnel an und kommt südwestlich vor den Kavernen des neuen RBS-Bahnhofs zu liegen. Die einzelnen Abschnitte werden nebst einem Deckelbau- und Tagbauabschnitt zum grössten Teil im Untertagbau realisiert. Aufgeföhren werden die bergmännischen Tunnel im Teilausbruch als maschinenunterstützter Vortrieb im Fels (MUF) bzw. im Lockergestein (MUL). In der Baugrube Wildpark musste der in den 1960er-Jahren erbaute Schanzentunnel freigelegt werden, um in einer späteren Phase die neue Zufahrtsstrecke an die bestehende Bahnlinie anzuschliessen. Der Rückbau des bestehenden Tunnels, der

1 Introduction

The second largest train station in Switzerland is located in the city of Bern. It is used by 250,000 rail travellers every day. With up to 60,000 passengers per day, the current RBS terminus station has reached its capacity. In the overall project «Expansion of Bern RBS Station», a new underground station consisting of two approx. 200 m long station caverns, including approach lines, should replace the existing terminus station.

The approach lines (Lot 2.4) are planned by the planning consortium RBS^{verbindet} (Basler & Hofmann AG, B+S AG, Emch+Berger AG Bern, theo hotz partner AG). The partial project will be carried out by Frutiger AG under the project lead of the Underground Construction department. The approx. 1.8 km long approach line, consisting of twin and single-track tunnels, connects to the existing Schanzentunnel at Wildpark and ends southwest of the caverns of the new RBS train station. The individual sections, in addition to a cut-and-cover construction (top-down) and an open pit section, will largely be realised underground. The tunnels will be excavated in partial excavation as machine-supported excavation in rock or in soil. In the Wildpark construction pit, the Schanzentunnel constructed in the 1960s had to be uncovered in order to connect the new approach line to the existing train line. For the most part, the decommissioning of the existing tunnel, the construction of the connect-

Les défis des chantiers urbains du point de vue de l'entrepreneur

Future gare de Berne, RBS lot 2.4

La société Frutiger AG Constructions souterraines réalise, pour le compte du RBS (Transport Régional Berne-Solothurn), la voie de 1,8 km de longueur donnant accès à la nouvelle gare souterraine du RBS dans le cadre du projet d'extension «Ausbau Bahnhof Bern RBS». Outre une section avec des travaux en superficie et une tranchée couverte, le tunnel est creusé par excavation partielle à l'aide d'engins dans la roche (MUF) et dans sol meuble (MUL). La situation urbaine en présence de circulation et de riverains, la complexité du projet et les délais fixés posent d'importants défis à l'entrepreneur en matière de préparation et d'exécution des travaux.

Sfide nell'edilizia urbana dal punto di vista dell'impresa

La stazione futura di Berna, lotto RBS 2.4

La Frutiger AG, specializzata nella costruzione di opere sotterranee, sta realizzando per conto della RBS (Traffico Regionale Berna-Soletta) la tratta di accesso lunga 1,8 km della nuova stazione sotterranea RBS nel quadro del progetto «Potenziamento della stazione di Berna RBS». Oltre a un lotto di lavori in superficie e di costruzione a cielo aperto, la galleria è realizzata tramite scavo a sezione parziale con avanzamento meccanizzato in roccia (MUF) e materiale sciolto (MUL). Le condizioni urbane, caratterizzate da traffico cittadino e residenti, la complessità del progetto e i requisiti temporali rappresentano delle grandi sfide per l'impresa nella preparazione e nell'esecuzione dei lavori.

Bau der Anschlussbauwerke und des neuen Tagbautunnels inkl. Notausstieg werden grösstenteils unter laufendem Bahnbetrieb erfolgen.

Die Herausforderungen im innerstädtischen Bauen aus Sicht des Unternehmers sind sehr vielseitig. Nach der Zuschlagsverfügung bis zum Werkvertragsbaubeginn bleibt meist nur eine kurze Zeitdauer, in welcher der Unternehmer sehr umfangreiche Tätigkeiten auszuüben hat. Diese beinhalten die Bereinigung des Werkvertrages, das Einarbeiten ins Projekt mit der entsprechenden Arbeitsvorbereitung und schlussendlich die Beschaffung der benötigten Ressourcen wie Personal, Inventar und Materialien. In diesem Fall innerhalb der anspruchsvollen urbanen Randbedingungen in Bezug auf Baustellenlogistik, Platzverhältnisse der Installationsplätze, Verkehr und Anwohner. Es zeigt sich, dass die Sensibilität der Anwohner bezüglich Schmutz, Körperschall und Lärm eine grosse Herausforderung an den Unternehmer stellt.

2 Projektabschnitte

2.1 Übersicht

Das Teilprojekt «Ausbau Bahnhof Bern RBS, Los 2.4» unterteilt sich in folgende Hauptabschnitte (Bild 1):

- Abschnitt 2: Bahnhofseinfahrt (Verzweigungsbauwerk und Einzelspurtunnel)
- Abschnitt 3: Eilgutareal (Deckelbau und Installationsplatz)
- Abschnitt 4/5: Henkerbrännli und Bierhübeli (Doppelspurtunnel)
- Abschnitt 6: Wildpark (Tagbautunnel und Installationsplatz)

Ausgangspunkte für die gesamte Zufahrtsstrecke sind der Installationsplatz Eilgut (Abschnitt 3) und der Installationsplatz Wildpark (Abschnitt 6). Während der Doppelspurtunnel Bierhübeli/Henkerbrännli in Richtung Abschnitt 3 vorgetrieben wird, erfolgt im Deckelbaubereich Eilgut zeit-

ing structures and the new cut-and-cover tunnel including emergency exit will mostly be carried out while rail operations are ongoing.

The challenges of inner-city construction from the contractor's perspective are very multifaceted. From the award of the contract to the beginning of the construction contract usually only a short period of time remains in which the contractor can perform very extensive activities. These include the revision of the contract, the familiarisation with the project, including the corresponding work preparation, and finally the procurement of the necessary resources, such as personnel, inventory and materials. In this case, all of this will occur within the demanding urban conditions with regard to construction site logistics, space conditions of the installation sites, traffic and residents. It is clear that the sensitivity of the residents with regard to dirt, structure-borne sound and noise represents a great challenge to the contractor.

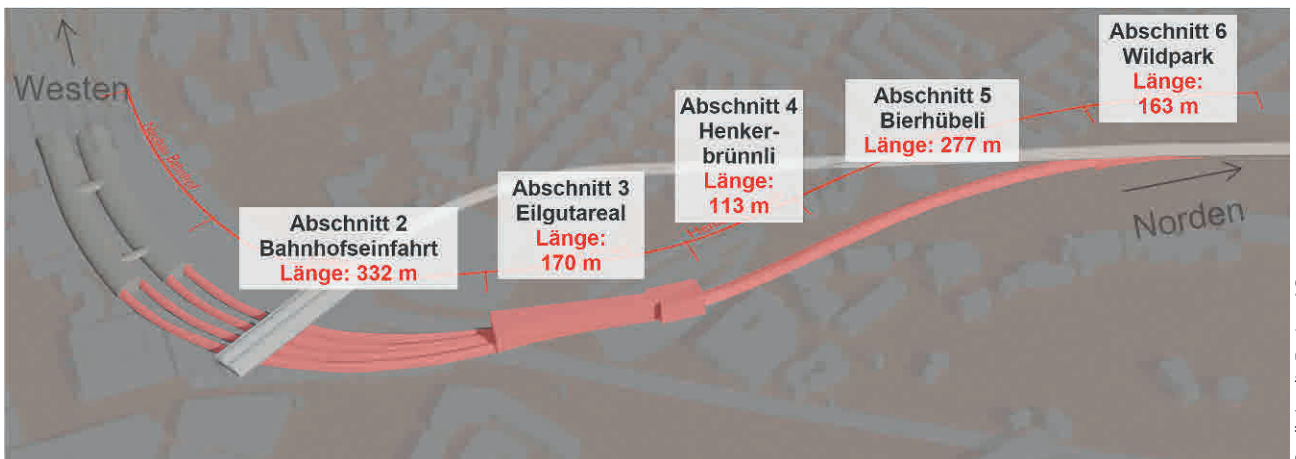
2 Project Sections

2.1 Overview

The partial project "Expansion of Bern RBS Station, Lot 2.4" is divided into the following main sections (Fig. 1):

- Section 2: Train station entry (branch-off construction and single-track tunnels)
- Section 3: Eilgut area (cut-and-cover construction (top-down) and installation site)
- Section 4/5: Henkerbrännli and Bierhübeli (twin-track tunnels)
- Section 6: Wildpark (cut-and-cover tunnel and installation site)

Starting points for the entire approach line are the Eilgut installation site (Section 3) and the Wildpark installation site (Section 6). While the Bierhübeli/Henkerbrännli twin-track tunnel is being advanced in the direction of Section 3, in



Quelle/credit: Frutiger AG

1 Schematische Darstellung der Projektabschnitte
Schematic representation of the project sections

gleich der Aushub bis auf die endgültige Kote. Nach erfolgreichem Ausbruch der Abschnitte 3, 4 und 5 werden im Sommer 2022 das Verzweigungsbauwerk und die Einzelspurtunnel im Abschnitt 2 vorangetrieben. Sind der gesamte Innenausbau und die Inbetriebnahme des neuen RBS-Tiefbahnhofs abgeschlossen, werden im Abschnitt 6 der Tagbautunnel und die Wiederauffüllung der Baugrube Wildpark ausgeführt. Nachfolgend werden die einzelnen Abschnitte genauer erläutert.

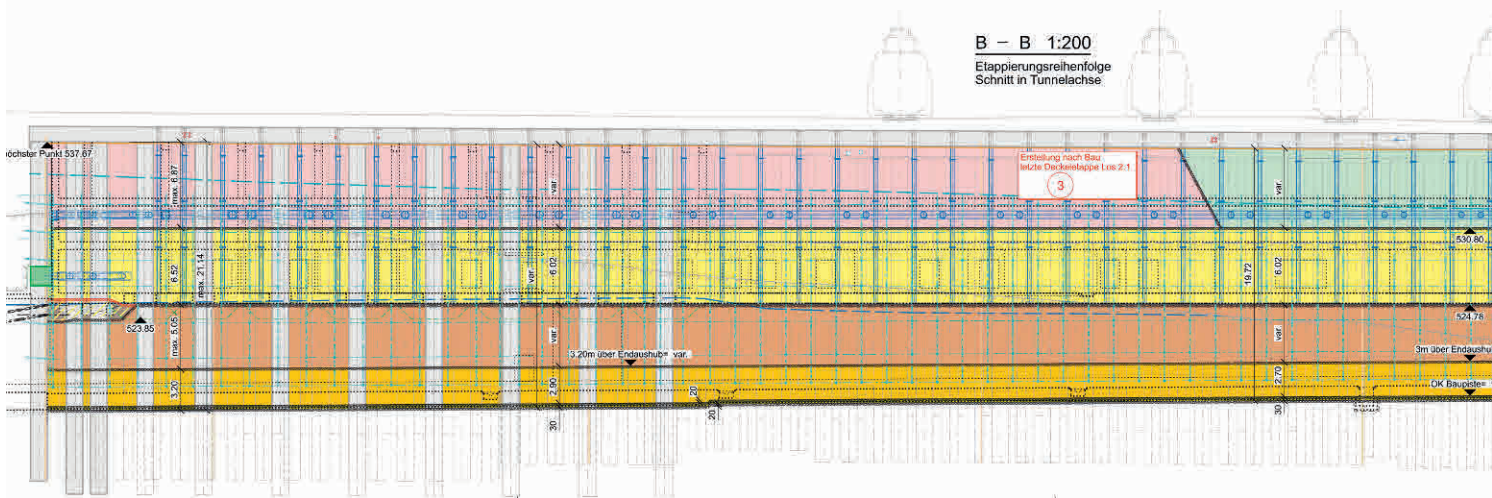
2.2 Abschnitt 3

Im Eilgut erfolgt der Aushub im Schutze einer überschnittenen Bohrpfehlwand mit Deckel, welche im Voraus durch ein Vorlos erstellt wurde. Ausgangspunkt für den Aushub ist der Zugangsschacht, über welchen die komplette Logistik mittels Turmdrehkran abgewickelt wird. Das Aushubmaterial wird mittels eines Krankübels (7 m³) aus dem Schacht gefördert und über ein Silo als Zwischenpuffer (60 m³) direkt auf Lastwagen verladen (siehe Kapitel 3.3.1 und 3.3.2). Das Gestein (Lockergestein und Fels) wird mittels Bagger und im

the Eilgut cut-and-cover construction area the excavation until the final elevation will proceed simultaneously. After successful excavation of Sections 3, 4 and 5, in the summer of 2022 the bifurcation structure and the single-track tunnel will be advanced in Section 2. Once the entire interior construction and the start of operation of the new RBS underground station have been concluded, the cut-and-cover tunnel and the refilling of the Wildpark construction pit will be carried out in Section 6. The individual sections will be described in more detail below.

2.2 Section 3

In Eilgut the excavation will be carried out under the protection of an overlapping bored pile wall with cover, which was created in advance through a preliminary lot. The starting point for the excavation is the access shaft, through which the complete logistics will be carried out by means of a tower crane. The excavation material will be removed from the shaft by means of a muck bucket (7 m³) and through a silo (60 m³) as intermediate buffer, loaded directly onto trucks



2 Längsschnitt Deckelbau Eilgut inklusive Aushubetappung
Longitudinal section of the Eilgut cut-and-cover construction including division of excavation into stages



Quelle/credit: Fabio Casanova, Frutiger AG

3 Aushubetappe 6, Deckelbau Eilgut
 Excavation stage 6, Eilgut cut-and-cover construction

Fels zusätzlich mit Abbauhammer gelöst. In mehreren Aushubetappen (siehe Längsschnitt im Bild 2) entsteht somit Krankübel für Krankübel im Einschichtbetrieb eine 170 m lange Baugrube mit einer Tiefe von bis zu 23 m (Bild 3). Die Baugrubensicherung erfolgt durch Beton- sowie Stahllongarinen mit Stahlsprissen in mehreren Lagen. Durch die Wahl des Turmdrehkrans mit hoher Tragfähigkeit (16,5 t) konnte die herausfordernde Baustellenlogistik via Zugangsschacht gelöst und die kalkulierten Leistungswerte erreicht werden.

2.3 Abschnitt 4/5

Abschnitt 4/5 teilt sich in den Lockergesteinsabschnitt 4 (Henkerbrünkli) und den Abschnitt 5 (Bierhübeli) ein. Zusammen bilden sie den Doppelspurtunnel, welcher sich über 390 m Länge von der Baugrube Wildpark in den Schacht Eilgut erstreckt. Der Ausbruch wird unterteilt in Kalotte und Strosse, wobei die Kalotte unter einem ausinjizierten Rohrschirm mit einer Etappenlänge von 10 m vorgetrieben wird (Bild 4 und 5). Als Ausbruchsicherung dient ein mit Spritzbeton hinterfüllter Stahleinbau (HEB 200), welcher beim Strossenabbau



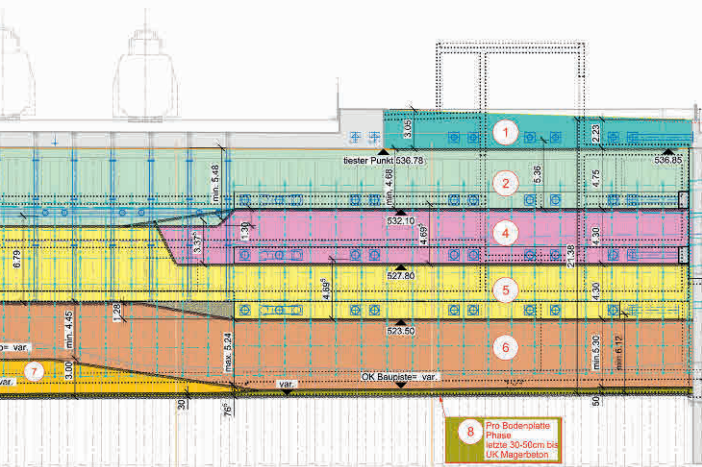
Quelle/credit: Maximilian Kunz, Frutiger AG

4 Doppelspurtunnel Bierhübeli, Kalottenvortrieb
 Bierhübeli twin-track tunnel, top heading excavation

(see Chapters 3.3.1 and 3.3.2). The construction ground (soil and rock) will be loosened by means of excavators and in rock additionally with jack hammers. In multiple excavation stages (see longitudinal section in Fig. 2) a 170 m long construction pit with a depth of up to 23 m (Fig. 3) will be created in single-shift operation. The excavation support will be provided by concrete and steel girders with steel struts in multiple layers. Due to the selection of a tower crane with high load-bearing capacity (16.5 t), the challenging construction-site logistics via the access shaft were solved, and the calculated performance values were reached.

2.3 Section 4/5

Section 4/5 is divided into the loose-rock Section 4 (Henkerbrünkli) and Section 5 (Bierhübeli). Together they form the twin-track tunnel, which extends over a length of 390 m from the Wildpark construction pit into the Eilgut shaft. The excavation is subdivided into top heading and bench, whereby the top heading is advanced under a grout injected pipe roofing umbrella with a stage length of 10 m (Fig. 4 and 5). As an excavation support shotcreted h-beam (HEB 200) steel sets are used, which are supplemented for the purpose of ring closure during bench excavation (Fig. 6). The rock is

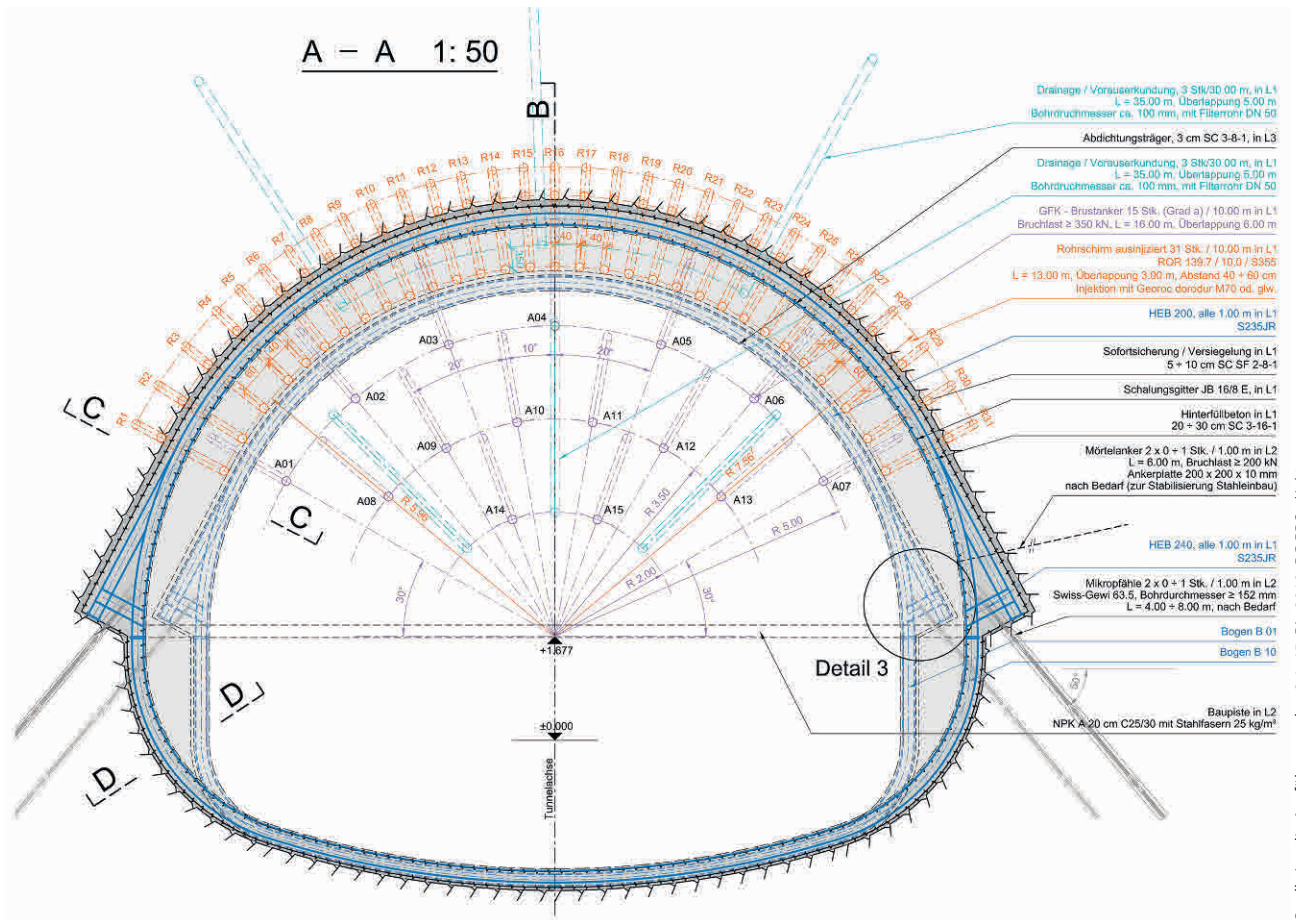


Quelle/credit: Ausführungsplan 2.4_3_PL_2000A, PG RBS Fernmet



Quelle/credit: David Schweizer GmbH

5 Strossenabtrag Abschnitt 4
 Bench removal, Section 4



Quelle/credit: Ausführungsplan 2.4_45_PL_2010_PG RBSverbind

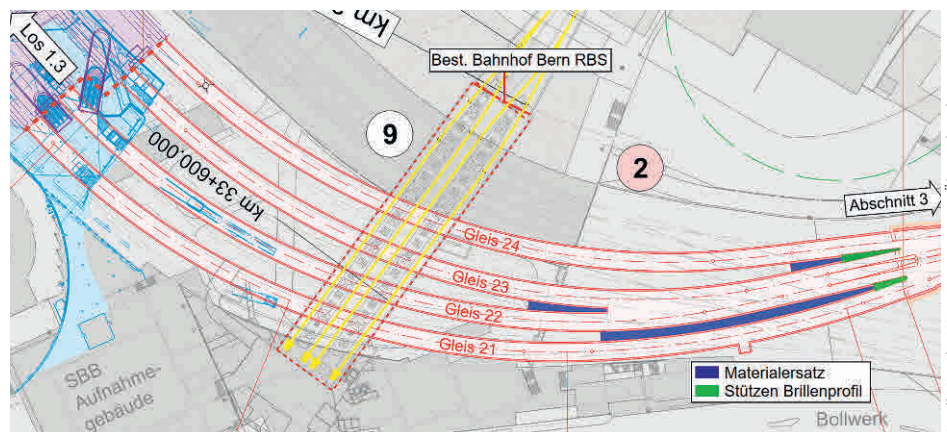
6 Ausbruchsicherung Doppelspurtunnel
Excavation support for twin-track tunnel

zwecks Ringschluss ergänzt wird (Bild 6). Gelöst wird das Gestein mittels zweier 40-t-Hydraulikbagger mit Abbauschammer. Ein Fahrlader mit 5 m³ Schaufelinhalt befördert das Ausbruchmaterial bis zum Zwischenlager am Portal im Wildpark, worauf es auf Lastwagen verladen und abtransportiert wird. Die Arbeiten erfolgen im Zweischichtbetrieb à je fünf Mineuren. Mit dem Abschluss des Kalottenvortriebs konnte am 30. August 2021 der erste Durchschlag gefeiert werden (siehe Kapitel 3.3.3).

loosened by two 40 t hydraulic excavators with jack hammer. A wheel loader with a 5 m³ bucket capacity transports the excavation material to the interim storage at the portal in Wildpark, where it is loaded onto lorries and removed. The work is done in two-shift operation with five tunnellers each. With the conclusion of the top-heading advancement, the first breakthrough was celebrated on 30 August 2021 (see chapter 3.3.3).

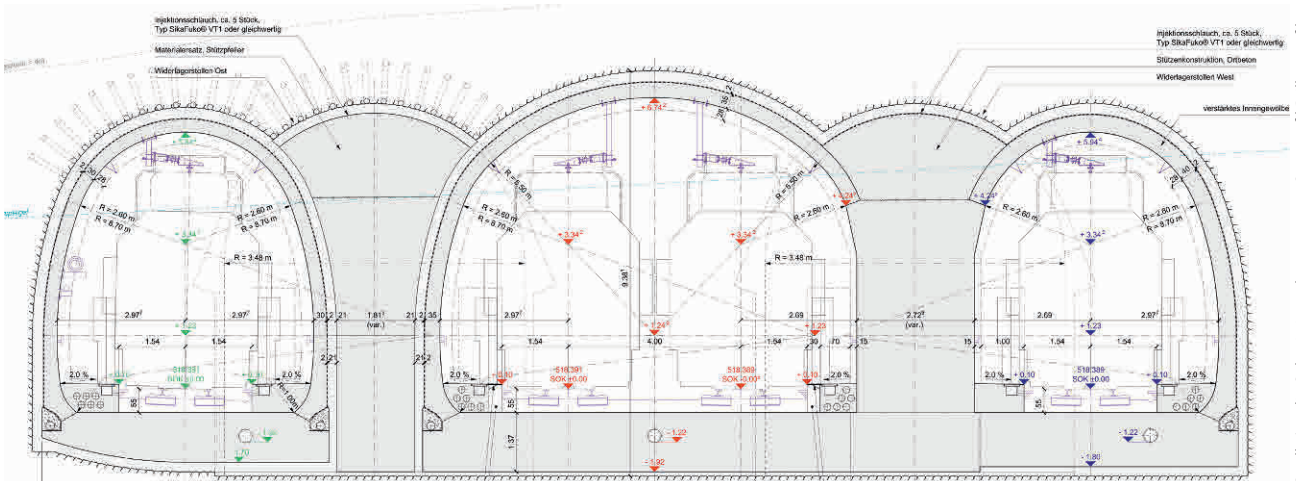
2.4 Abschnitt 2

Der Abschnitt 2 erstreckt sich vom südlichen Ende des Deckelbauabschnitts bis hin zu den Kavernen des neuen RBS-Tiefbahnhofs. Herzstück und gleichzeitig die grösste Herausforderung dieses Abschnitts ist das Verzweigungsbauwerk, welches im Sommer 2022 in Angriff genommen werden soll. Dieses sieht ab der südlichen Bohrpfeilwand zwei Einzel- und einen Doppelspurtunnel vor, welcher sich



Quelle/credit: VB 12 Nr. 2.4.00_1_Übersichtsplan, PG RBSverbind

7 Grundriss Stützenkonstruktion und Materialersatz (Stützpfiler)
Ground plan for support construction and material replacement (pillars)



Quelle/credit: Submissionsplan 2.4.2.1_2_Querprofil Brillenprofil, PG RBS, verändert

8 Querprofil Brillenprofil Bahnhofs-einfahrt
 Cross profile, "eyewear" profile of station entrance

nach ca. 100 m wiederum in zwei Einzelspurtunnels aufteilen wird (Bild 7 und 8). Vorgängig müssen zwei Widerlagerstollen von ca. 40 bzw. 100 m Länge zwecks Materialaustausch und Bau von Stützen in Ortbeton gebaut werden. Sind diese erstellt, wird mit dem Vortrieb der eigentlichen Tunnel begonnen. Geplant ist analog zum Abschnitt 5 ein maschinenunterstützter Vortrieb im Fels (MUF) im Teilausbau (Kalotte/Strosse).

Logistisch und bauablauftechnisch ist dieses Vorhaben eine grosse Herausforderung und bedarf einer genauen Arbeitsvorbereitung. Zu beachten sind dabei unter anderem die begrenzten Platzverhältnisse zum Start der Arbeiten am Brillenprofil, die geplanten parallelen Arbeiten und die Versorgung der Baustelle inkl. Abtransport des Ausbruchmaterials über die sich im Innenausbau befindenden Abschnitte 3, 4 und 5.

2.5 Abschnitt 6

In der Baugrube Wildpark schliesst der neue Doppelspurtunnel an den bestehenden RBS-Schanzentunnel an.



Quelle/credit: David Schweizer GmbH

9 Baugrube Wildpark mit Sicht auf freigelegten Schanzentunnel
 Wildpark construction pit with a view of the excavated Schanzen Tunnel

2.4 Section 2

Section 2 extends from the south end of the cut-and-cover construction section to the caverns of the new RBS underground station. The centrepiece and simultaneously the greatest challenge of the section is the bifurcation structure, which is scheduled to start in the summer of 2022. This envisages two single-track tunnels and one twin-track tunnel from the southern bore pile wall, which after approx. 100 m will again divide into two single-track tunnels (Fig. 7 and 8). Prior to that, two abutment headings of approx. 40 and 100 m in length, respectively, must be built for the purpose of material exchange and construction of supports made of cast-in-situ concrete. Once these have been created, the excavation of the actual tunnel will begin. Analogous to Section 5, a machine-supported excavation in rock is planned in partial excavation (top heading/bench).

Logistically and in terms of the construction process, this project is a great challenge and requires precise work preparation. Among other factors, the limited space conditions at the beginning of work on the "eyewear profile", the planned parallel work and the supply of the construction site including removal of the excavation material via Sections 3, 4 and 5 in which interior construction is in progress.

2.5 Section 6

In the Wildpark construction pit, the new twin-track tunnel connects to the existing RBS Schanzen Tunnel. For this, a construction pit must be created in advance and the existing tunnel must be exposed (Fig. 9). While at the moment the construction pit is still available for the construction site logistics of the excavation work in Section 4/5, work in Wildpark is expected to be started in summer 2023. In a complete shutdown of rail operations, the existing tunnel will first be deconstructed so that subsequently a new ground slab can be created in multiple phases under one-track rail operation. Then, after the start of operation of the new ap-

Herausforderungen im städtischen Bauen aus Sicht des Unternehmers • Zukunft Bahnhof Bern, RBS Los 2.4

Zeitabschnitt Period	Datum Date	Dauer Duration	Tätigkeit Unternehmer Contractor activity
Auflageprojekt Detailed project, (SIA 103, Phase 33)	Mai 2015		Beobachtend Observing
Vorankündigung Ausschreibung Pre-announcement of tender	06.04.2019		Kalkulationsteams bilden, angekündigtes Zeitfenster vormerken Mögliche Vortriebs- und Ausführungskonzepte prüfen Form calculation teams, note the announced time window Review possible tunnelling and construction concepts
Publikation Ausschreibung Publication of tender	04.05.2019	ca. 4 Mt. Approx. 4 months	Einlesen in die Unterlagen Verstehen, was der Bauherr will Studium und Bestimmung der Bauabläufe Variantenstudien Erstellen der geforderten Eingabeunterlagen Kalkulation des Leistungsverzeichnisses Reading the documents Understanding what the client wants Study and determination of the construction processes Variant studies Creation of the required input documents Calculation of the bill of quantities
Eingabe Offerte Submission of the bid	06.09.2019		Hoffnung und Spannung halten bis zur Zuschlagsverfügung Maintaining hope and suspense until the approval ruling
Zuschlagsverfügung Approval ruling	11.03.2020		Freude herrscht Happiness prevails
Rekursfrist Appeal period		10 Tage 10 days	
Start AVOR Start of work preparation	23.03.2020		Die Arbeitsvorbereitung des Unternehmers startet: - Konzepte Baustelleneinrichtungen - Bewilligungen Umwelt - Beschaffungen Ressourcen - Erarbeitung administrative Dokumente The company's work preparation begins: - Site installation concepts - Environmental authorisations - Resources procurement - Compiling of administrative documents
Werkvertragsbereinigung Contract revision	11.08.2020	Ca. 100 AT Approx. 100 working days	In den Bereinigungsbesprechungen gilt es, ein gemeinsames Verständnis für den Werkvertrag zu definieren und das Einbinden der allfälligen Unternehmengespräche respektive Fragerunden zu definieren. Es ist der letzte Zeitpunkt, mögliche Unklarheiten im Werkvertrag zu klären. Die Arbeitsvorbereitung des Unternehmers läuft parallel weiter: - Auslösen von Beschaffungen (Inventar, Geräte, Materialien etc.) - Planung Personal - Optimierungen Bauabläufe In the revision discussions, the objective is to define a common understanding for the contract and to define the integration of any contractor discussions and rounds of questions, respectively. This is the last time to clarify possible ambiguities in the contract. The contractor's work preparation continues to run in parallel: - Triggering of procurement (inventory, equipment, materials, etc.) - Personnel planning - Optimizations of construction processes
Vorvertraglicher Baubeginn Precontractual beginning of construction	Aug. 2021		In Absprache mit dem Bauherrn konnten Installationsarbeiten vor dem vertraglichen Baubeginn begonnen werden. Davon konnte der Bauherr wie auch der Unternehmer profitieren. In consultation with the client, installation work was started before the contractual beginning of construction. Both the client and the contractor will benefit from this.
Baubeginn Start of construction	01.09.2020		Jetzt geht's los! Now it starts!

Quelle: Stefan Müller, Frutiger AG

Table 1 Zeitlicher Ablauf bis Baubeginn · **Table 1** Chronological sequence until the beginning of construction

Hierfür musste vorgängig eine Baugrube erstellt und der bestehende Tunnel freigelegt werden (Bild 9). Während momentan die Baugrube noch für die Baustellenlogistik der Vortriebsarbeiten im Abschnitt 4/5 zur Verfügung steht, starten voraussichtlich im Sommer 2023 die Arbeiten im Wildpark. In einer Totalsperre soll zuerst der bestehende Tunnel rückgebaut werden, um anschliessend unter einspurigem Bahnbetrieb in mehreren Etappen eine neue Bodenplatte zu erstellen. Im Anschluss an die Inbetriebnahme der neuen Zufahrtsstrecke werden unter laufendem Bahnbetrieb ein Tagbautunnel und die Wiederauffüllung der Baugrube Wildpark ausgeführt.

3 Herausforderungen und Besonderheiten

3.1 Arbeitsvorbereitung vor Baubeginn

Als Unternehmer wird immer wieder festgestellt, dass die Zeitdauer zwischen der Auftragsvergabe und dem vertraglichen Baubeginn sehr kurz ist. Dieser Umstand stellt die Unternehmung jeweils vor sehr grosse Herausforderungen. Dabei gilt es die in Tabelle 1 aufgeführten Zeitabschnitte zu beachten.

Für den Unternehmer verbleiben im vorliegenden Projekt rund 100 Arbeitstage, um die Ausführung korrekt, nachhaltig und überlegt vorzubereiten. In einem Projekt dieser Grössenordnung ist diese Zeitdauer sehr knapp bemessen. Trotz diesem engen Terminplan konnte der Unternehmer die Herausforderung bewältigen. Dabei mussten zusätzlich parallel zur AVOR folgende Hürden gemeistert werden:

- gemeldetes Kaderpersonal von den bisherigen Tätigkeiten ablösen
- Einarbeitung in das Projekt
- Studium der umfangreichen werkvertraglichen Vorgaben
- Studium der Kalkulation

Lösungsansatz:

In der Gesamtprojektplanung soll für die Zeit von der Zuschlagsverfügung bis zum Baubeginn ein genügend grosses Zeitfenster eingeplant werden. Dabei erachten wir eine Zeitdauer von mindestens acht bis zehn Monaten als zielführend.

3.2 Innerstädtische Lage

Das Bauprojekt «Ausbau Bahnhof Bern RBS, Los 2.4» ist aufgrund seiner innerstädtischen Lage den Herausforderungen seines direkten Umfelds ausgesetzt. Insbesondere durch den Verkehr, die Anwohner und die Umwelt wird der Bauablauf enorm beeinflusst und auch beeinträchtigt.

Anwohner 1

Ausgelöst durch die Ausbrucharbeiten im Abschnitt 4 und 5 mit dem hydraulischen Abbauhammer stellten sich Körperschallemissionen ein. Diese führten zu Reklamationen von Anwohnern. Der Bauherr musste darauf reagieren und schränkte den Arbeitszeitraum für die Spitzarbeiten ein.

proach line, a cut-and-cover tunnel and the refilling of the Wildpark construction pit will be carried out while rail operations are ongoing.

3 Challenges and Special Aspects

3.1 Work Preparation before the Beginning of Construction

The contractor observes again and again that the time between the contract award and the contractual beginning of construction is very brief. This circumstance presents the company with very significant challenges in each case. The time periods according to Tab. 1 must be noted.

For the contractor, about 100 working days remained in the current project to prepare the construction correctly, sustainably and deliberately. For a project of this magnitude, this time period is very tight. Despite the tight schedule, the contractor however was able to meet the challenge. In the process, in parallel to the work preparation, the following hurdles had to be overcome:

- releasing registered management personnel from their previous activities
- familiarisation with the project
- studying the extensive contract specifications
- studying the calculation

Solution:

In the overall project planning, a sufficiently large time window should be scheduled for the time from the award of the contract to the beginning of construction. We consider a time period of at least 8 to 10 months to be productive.

3.2 Inner-City Location

Due to its inner-city location, the construction project "Expansion of the Bern RBS Station, Lot 2.4" is exposed to the challenges of its immediate environment. In particular due to traffic, the residents and the environment, the construction process is influenced enormously and also impaired.

Residents 1

Triggered by the excavation work in Sections 4 and 5 with the hydraulic jack hammer, structure-borne sound emissions occurred. This led to complaints by residents. The client had to react to this and limited the rock breaking work period.

Solution

Instead of the maximum possible time window of 6:00 a.m. to 11:00 p.m., the rock breaking work with hydraulic hammers was forbidden between 6:00 a.m. to 7:00 a.m. and from 8:00 p.m. to 11:00 p.m. This action has a significant influence on the construction workflow. The work cycle had to be adapted to the new conditions.

Lösungsansatz

Anstelle des maximal möglichen Zeitfensters von 6.00 Uhr bis 23.00 Uhr wurden die Spitzarbeiten mit Hydraulikhammer von 6.00 Uhr bis 7.00 Uhr und von 20.00 Uhr bis 23.00 Uhr untersagt. Diese Massnahme hatte erheblichen Einfluss auf den Bauablauf. Der Arbeitszyklus musste den neuen Randbedingungen angepasst werden.

Anwohner 2

Die vorgegebene Zu- und Wegfahrtroute führt über die Tiefenastrasse. Entlang der Strasse befinden sich Privatparkplätze von Anwohnern. Durch den Abtransport von Ausbruchmaterial mittels Lastwagen kam es gelegentlich zu leichten Verschmutzungen der Strasse respektive der Parkplätze. Dieser Umstand führte zu Reklamationen von Anwohnern. Obwohl im Werkvertrag die Strassenreinigung vorgesehen war, kam es zwischen dem Bauherrn und dem Unternehmer zu Meinungsverschiedenheiten über die Art und Weise der Reinigung.

Lösungsansatz

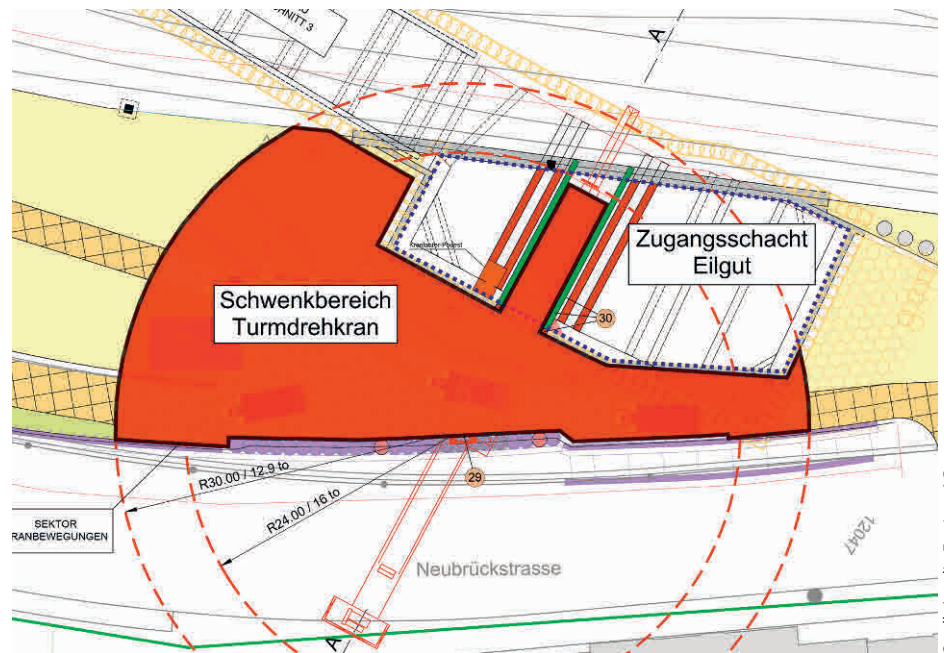
Der Wichtigkeit einer sauberen Strassenreinigung wird zur Zufriedenstellung der Anwohner eine grössere Beachtung geschenkt. Ist die Strasse verschmutzt, wird sie mittels Reinigungswagen inkl. Sprühbalken gereinigt. Es wurde einvernehmlich vereinbart, dass zusätzlich vor den Feiertagen und Ferien jeweils eine Reinigung stattfindet und damit ein positives Signal an die Anwohner gesendet werden kann.

Verkehr

Die Tiefenastrasse, an welcher der Hauptinstallationsplatz Wildpark liegt, ist eine stark befahrene Zubringerstrasse in Richtung Bahnhof Bern. Vor allem während der Randzeiten ist das Verkehrsaufkommen stark erhöht. Damit die Verkehrssicherheit gewährleistet werden kann, wurden im Werkvertrag folgende Massnahmen vorgegeben:

- Ampelsystem bei Ausfahrt ab Installationsplatz Wildpark
- Weg- und Zufahrt nur vom und in Richtung Neufeldtunnel

Diese Massnahme hat sich in der Praxis bewährt. Die Wartezeit an der Ampel hält sich in Grenzen. Trotzdem gilt es in der Planung des Unternehmers, diesen Umstand zu berücksichtigen, damit der Baufortschritt nicht behindert wird.



10 Grundriss Sektorenbegrenzung Turmdrehkran Eilgut
Ground plan, sector limitation for tower crane, Eilgut

Residents 2

The specified to-and-from route runs via Tiefenastrasse. There are private resident car parks along the street. Due to the removal of excavated material by lorries there was occasionally light pollution of the street and the car parks, respectively. This situation led to complaints by residents. Although street cleaning was specified in the contract, disagreements arose between the client and the contractor about the cleaning method.

Solution

To the satisfaction of the residents, greater attention was given to the importance of effective street cleaning. If the street is polluted, it is cleaned by cleaning trolleys with spray bars. It was unanimously agreed that an additional cleaning will take place before public holidays and vacations in order to send a positive signal to the residents.

Traffic

Tiefenastrasse, on which the main installation site Wildpark is located, is a heavily frequented access road in the direction of Bern Station. Particularly during peak times, the traffic volume is greatly increased. To ensure traffic safety, the following measures are specified in the contract:

- Traffic-light system when exiting from the Wildpark installation location
- Departure and access only from and in the direction of the Neufeld Tunnel

This action proved itself in practice. The waiting time at the traffic light is within limits. Nevertheless, this circumstance must be taken into account in the contractor's design so that construction progress is not impeded.

Challenges in Urban Construction from the Contractor's Perspective •

Future of Bern Station, RBS Lot 2.4

Umwelt

Die Massnahmen aufgrund der Umwelteinflüsse im städtischen Bauen sind enorm. Die grossen Herausforderungen liegen darin, die entsprechenden Konzepte bewilligen zu lassen und im Anschluss daran die Installationen zeitgerecht zu erstellen. Der Betrieb und der Unterhalt gehören zu den Tagesgeschäften und sind unabhängig vom Standort der Baustelle sicherzustellen.

Lösungsansatz

Es gilt zu prüfen, ob bereits vor der Submission der Bauherr die entsprechenden Konzepte bewilligen lässt. Dies betrifft vorwiegend generell das Abwasserkonzept mit den entsprechenden Einleitbedingungen.

3.3 Abgeschlossene Arbeiten

3.3.1 Kranstellung Eilgutareal

Die Ver- und Entsorgung der Baustelle Eilgutareal (Abschnitt 3) erfolgt vertikal über den Zugangsschacht. Die wesentliche Randbedingung bestand darin, ein Konzept zu wählen, das einen Spriessausfall im Schacht, ausgelöst durch pendelnde Lasten, ausschliessen kann.

Lösungsansatz

Für die Umsetzung hat sich die Unternehmung gegen den ausgeschriebenen Portalkran und stattdessen für einen Turmdrehkran mit festgestellter Drehachse innerhalb des Schachtbereiches entschieden (Bild 10). Damit wird nicht nur die vorgegebene, parallel zu den Spriessen verlaufende Bewegung im Schacht sichergestellt, sondern zusätzlich eine Materiallogistik im gesamten rot eingefärbten Bereich ermöglicht (Bild 10). Die Schwenkbegrenzung wird dem Kran elektronisch hinterlegt und verunmöglicht somit ein versehentliches Überschwenken durch den Kranführer. Der Turmdrehkran ist zudem eine Standardausführung und kann nach Ende der Bauzeit jederzeit auf einer anderen Baustelle eingesetzt werden.

Environment

The measures on the basis of environmental influences in urban construction are enormous. The great challenges lie in having the corresponding concepts approved and then creating the installations in a timely manner. Operation and maintenance are part of the daily activities and are independent of the location of the construction site.

Solution

It is necessary to check whether the corresponding concepts can be approved before the client's submission. In general, this applies primarily to the waste water concept with the corresponding discharge conditions.

3.3 Concluded Tasks

3.3.1 Crane Position in the Eilgut Area

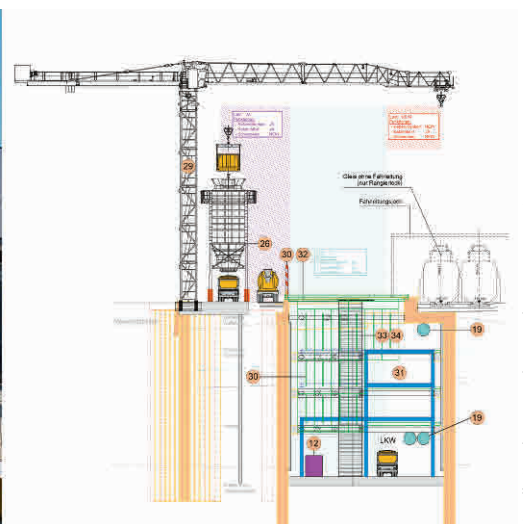
The Eilgut area construction site is supplied and waste is removed from it vertically via the access shaft (Section 3). The essential condition was to select a concept that can exclude a strut failure in the shaft triggered by oscillating loads.

Solution

For the implementation, the contractor decided against the gantry crane that had been announced in the submission and instead went for a rotary tower crane with a fixed rotating axis within the shaft range (Fig 10). As a result, not only the preset motion running parallel to the struts in the shaft is ensured, but material logistics are made possible within the entire red coloured area (Fig. 10). The turning radius limitation is stored in the crane electronically, thus making any overshooting by the crane operator impossible. The tower crane is a standard design and can be used at any time on another construction site after the end of the construction period. The solution proved to be economical and very efficient.



11 Installationsplatz Eilgut
Eilgut installation site



Quelle/credit: Franziska Böttcher, Frutiger AG



Quelle/credit: Regionalverkehr Bern-Solothurn (RBS) AG

12 Durchschlag A4/5
Breakthrough A4/5

Diese Lösung hat sich als wirtschaftlich und sehr effizient herausgestellt.

3.3.2 Aushub Eilgut

Das Aushubkonzept in der Baugrube Eilgut stellte die Unternehmung vor grosse Herausforderungen. Die Installationsfläche Eilgut ist sehr beschränkt und zwischen den Gleisfeldern und einer Strasse eingeengt (Bild 11). Ein konventionelles Zwischenlager für das Aushubmaterial war mit diesen beengten Verhältnissen nur schwer umzusetzen. Ein Zwischenpuffer für das Aushubmaterial ist für die effiziente Beladung der Lastwagen dennoch zwingend.

Lösungsansatz

Umgesetzt wurde ein Silo mit 60 m³ Fassungsvermögen, welches die Lastwagen durch eine hydraulisch bedienbare Öffnung an der Unterseite direkt befüllen kann. Das Aushubmaterial wird mittels Erdkübel (7 m³) vertikal aus dem Schacht und anschliessend horizontal innerhalb des Krankorridors zum Silo gehoben. Durch Absetzen des Erdkübels im Silo erfolgt eine Selbstentleerung. Mit dieser Lösung konnte der Platzbedarf klein gehalten und gleichzeitig einer erheblichen Verschmutzung des Installationsplatzes entgegengewirkt werden.

3.3.3 Durchschlag Kalotte

Der Durchschlag der Kalotte des Abschnitts 4 in den Schacht Eilgut erfolgte am 30. August 2021 (Bild 12). Auf das Werk-

3.3.2 Eilgut Excavation

The excavation concept in the Eilgut construction pit presented the company with great challenges. The Eilgut installation area is very limited and constrained between the track fields and the street (Fig. 11). Under these cramped conditions, a conventional interim storage for the excavation material could only be implemented with difficulty. Nevertheless, an interim buffer for the excavation material is mandatory for the efficient loading of the trucks.

Solution

A silo with a 60 m³ capacity was implemented, which can fill the trucks directly through a hydraulically operated opening on the bottom. The excavation material is lifted vertically out of the shaft by means of muck buckets (7 m³) and then horizontally within the crane corridor to the silo. Depositing the muck bucket in the silo causes self-emptying. With this solution, the need for space can be kept low, and simultaneously a significant dirtying of the installation location can be counteracted.

3.3.3 Top Heading Breakthrough

The breakthrough of the top heading of Section 4 into the Eilgut shaft occurred on the 30th August 2021 (Fig. 12). A reassuring head start was prepared in the contract construction schedule, which is due to various factors:

- Based on previous experience, detailed cycle plans were prepared. The drilling of the pipe umbrella was carried out

Challenges in Urban Construction from the Contractor's Perspective •

Future of Bern Station, RBS Lot 2.4

vertragsbauprogramm konnte ein beruhigender Vorsprung erarbeitet werden, welcher auf verschiedene Faktoren zurückzuführen ist:

- Aufgrund früherer Erfahrungen wurden detaillierte Zykluspläne erarbeitet. Das Bohren des Rohrschirmes wurde konsequent mit zwei Lafetten und einem jeweiligen Rohrmagazin ausgeführt. Dadurch wurde die Zykluszeit für den Rohrschirm optimiert.
- Die Ausbrucharbeiten sind in einem Zyklus immer auf dem kritischen Weg. Mit zwei 40-t-Hydraulikbaggern, welche mehrheitlich parallel mit hydraulischem Abbauhammer abgebaut haben, konnte die Ausbruchleistung massiv erhöht werden.
- Als Schuttergerät wurde ein Fahrlader mit einem Schaufelinhalt von 5 m³ gewählt. Mit der mittleren Transportdistanz und der entsprechenden Abbauleistung konnte damit das Ausbruchmaterial kontinuierlich und ohne Verzögerungen bis zum Portal im Wildpark transportiert werden.

consistently with two drill feeds and one pipe magazine. As a result, the cycle time for the pipe umbrella was optimised.

- The excavation work in a cycle is always on the critical path. With two 40 t hydraulic excavators, which mostly extracted in parallel with hydraulic jack hammers, the breakout performance was increased massively.
- A wheel loader with a bucket capacity of 5 m³ was chosen as a mucking device. With the medium transport distance and the corresponding excavation performance, the excavation material could be transported to the portal in Wildpark continuously and without delays.

Literatur/References

- [1] Los 2-4 Technischer Bericht des Auftragnehmers
- [2] Los 2-4 Technischer Bericht des Projektverfassers

PROJEKTDATEN	PROJECT DATA
<p>Region Schweiz, Kanton Bern, Gemeinde Bern RBS-Strecke Worblaufen–Bern</p> <p>Bauherr, Projekt- und Oberbauleitung Regionalverkehr Bern-Solothurn AG (RBS), Worblaufen/CH</p> <p>Planung und Bauleitung Planergemeinschaft RBS^{verbundet}: Basler & Hofmann AG, Esslingen/CH; B+S AG, Bern/CH; Emch+Berger AG, Bern/CH; Theo Hotz Partner AG, Zürich/CH; diverse Subplaner</p> <p>Unternehmer Frutiger AG, Thun/CH Abteilung Untertagbau + Tiefbau</p> <p>Ausführung 2020–2030</p> <p>Kenndaten</p> <p>Bauzeit: September 2020–Juli 2030 Inbetriebnahme: Dezember 2027 Baukosten Los 2.4: 113 Mio. Schweizer Franken, exkl. MWST Gesamtlänge: ca. 1,8 km Ausbruch- querschnitt: Einspurtunnel Kalotte: ca. 32 m² Einspurtunnel Strosse: ca. 20 m² Doppelspurtunnel Kalotte: ca. 70 m² Doppelspurtunnel Strosse: ca. 43 m²</p>	<p>Region Switzerland, Canton of Bern, Municipality of Bern RBS line Worblaufen–Bern</p> <p>Client, project management and senior site management Regionalverkehr Bern-Solothurn AG (RBS), Worblaufen/CH</p> <p>Planning and site management Planning consortium RBS^{verbundet}: Basler & Hofmann AG, Esslingen/CH; B+S AG, Bern/CH; Emch+Berger AG Bern, Bern/CH; Theo Hotz Partner AG, Zurich/CH; various sub-planners</p> <p>Contractor Frutiger AG, Thun/CH Underground Construction + Civil Engineering</p> <p>Construction 2020–2030</p> <p>Key data</p> <p>Construction time: September 2020–July 2030 Start of operation: December 2027 Construction costs for Lot 2.4: 113 million Swiss francs, excluding VAT Total length: Approx. 1.8 km Excavation cross-section: Single-track tunnel top heading: approx. 32 m² Single-track tunnel bench: approx. 20 m² Twin-track tunnel top heading: approx. 70 m² Twin-track tunnel bench: approx. 43 m²</p>

Stefan Gielchen, Diplom-Bergbauingenieur, Gesamtprojektleiter Axen, Kanton Schwyz, Schwyz/CH

N4 Neue Axenstrasse: zwei Tunnel für mehr Sicherheit

Verantwortung der Bauherrschaft

Das Projekt N4 Neue Axenstrasse ist ein Grossprojekt mit einer breiten Palette an Ingenieurkunst. Sowohl die projektierenden Geologen und Ingenieurbüros als auch die Baumeister tragen mit ihrem Wissen und ihren Erfahrungen erheblich zum Gelingen des Projektes bei. Die Bauherrschaft muss Verantwortung übernehmen mit dem Ziel, den Projektbeteiligten bei technischen und vertraglichen Herausforderungen auf Augenhöhe zu begegnen.

N4 Neue Axenstrasse: Two Tunnels for More Safety

Responsibility of the Developer

The N4 Neue Axenstrasse project is a large project that involves a wide range of engineering expertise. The projecting geologists and engineering firms as well as the contractor make significant contributions to the project's success with their knowledge and experience. The project owner must take responsibility with the goal of meeting the project participants on an equal footing in case of technical and contractual challenges.

1 Das Projekt N4 Neue Axenstrasse

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

Dem aktuellen Projekt N4 Neue Axenstrasse geht eine langjährige Planungsphase voraus. Bereits im Jahr 1986 haben der Bund sowie die Kantone Schwyz und Uri dem Ausbau der Nationalstrasse N4 am Axen zwischen Ingenbohl und Flüelen grundsätzlich zugestimmt.

Darauffhin wurde 1986 das Generelle Projekt (GP) «Fronalptunnel» (abgelehnt 1992) und nach einer Kreativphase in den Jahren 2002 bis 2009 das GP «Etappierter Tunnel» erarbeitet (Bild 1). Für den weiteren Projektverlauf haben sich die Kantone Uri und Schwyz zu einer Bauherrengemeinschaft zusammengeschlossen. Die Federführung liegt beim Kanton Schwyz.

Im Mai 2014 wurde das Ausführungsprojekt (AP) dem ASTRA zur Prüfung eingereicht; die Zustimmung erfolgte im August 2014. Nach Einreichung des Dossiers beim Eidgenössischen Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunika-

1 The N4 Neue Axenstrasse Project

With N4 Neuen Axenstrasse, the availability, functionality and traffic safety of the north-south transit axis between Brunnen and Flüelen should be increased and the village of Sisikon sustainably relieved of through traffic.

The current N4 Neue Axenstrasse project is preceded by a planning phase that has gone on for many years. In 1986, the federal government and the Cantons of Schwyz and Uri agreed in principle to the expansion of National Road N4 on the Axen between Ingenbohl and Flüelen.

Thereupon the General Project (GP) "Fronalptunnel" was prepared in 1986 (rejected in 1992), and following a creative phase in the years 2002 to 2009, the GP "Phased Tunnel" was prepared (Fig. 1). For the further course of the project, the Cantons of Uri and Schwyz joined forces to create a client association. The decision making lies with the Canton of Schwyz.

In May 2014 the implementation project (AP) was submitted to FEDRO for review; approval was granted in August 2014. After submitting the dossier at the Federal Department of the Environment, Transport, Energy and Communications (DETEC), in the autumn of 2014, the public planning process

N4 Nouvelle route axiale : deux tunnels pour plus de sécurité

Responsabilité du maître d'œuvre

Le projet «N4 Neue Axenstrasse» comprend la réalisation de tunnels sur une longueur totale de 8763 m. Les deux percements principaux à Sisikon et Morschach présentent une section d'excavation théorique jusqu'à 115 m² en profil normal. Outre les tunnels ou les centrales de ventilation et de service, d'autres ouvrages de génie civil doivent être réalisés comme les voies d'accès avec les jonctions à la route nationale 4 existante, des galeries, des tranchées d'accès et divers dispositifs contre les menaces naturelles potentielles. Sur l'ensemble des 12 ans de travaux, l'investissement dans les constructions souterraines représente pas moins de 662 millions de CHF.

N4 Nuova Axenstrasse: due gallerie per una maggiore sicurezza

Responsabilità della committenza

Il progetto N4 Nuova Axenstrasse comprende delle gallerie con una lunghezza totale di 8763 m. I due avanzamenti principali delle gallerie Sisikoner e Morschacher hanno una sezione di scavo teorica nel profilo normale fino a 115 m². Oltre alle gallerie e alle centrali di esercizio e ventilazione sotterranee, devono essere realizzate delle altre opere ingegneristiche, come le tratte di accesso con i raccordi alla strada nazionale N4 esistente, le gallerie, i canali di invito e le misure contro i pericoli naturali. In un periodo di costruzione totale di circa 12 anni, nella zona sotterranea verranno realizzate opere edili per circa 662 milioni di CHF.

tion (UVEK) fand im Herbst 2014 die öffentliche Planaufgabe im Rahmen des Plangenehmigungsverfahrens (PGV) statt.

Aufgrund von Einsprachen und Projektoptimierungen wurde für Teilbereiche des Projekts im Herbst 2015 eine öffentliche Teilneuaufgabe durchgeführt.

Das UVEK hat die Plangenehmigung für das Ausführungsprojekt N4 Neue Axenstrasse am 30. April 2020 verfügt. Das Teilprojekt «Flankierende Massnahmen Alte Axenstrasse» wurde von der Genehmigung ausgenommen, es muss überarbeitet werden. Gegen die Plangenehmigung haben die Umweltverbände beim Bundesverwaltungsgericht (BVGer) Beschwerde eingereicht.

Die N4 Neue Axenstrasse wird im Norden in Ingenbohl und im Süden in Gumpisch an die bestehende Nationalstrasse

occurred in the context of the planning approval procedure (PGV).

On the basis of objections and project optimisations, a public partial reissue was carried out for sub-sections of the project in the autumn of 2015.

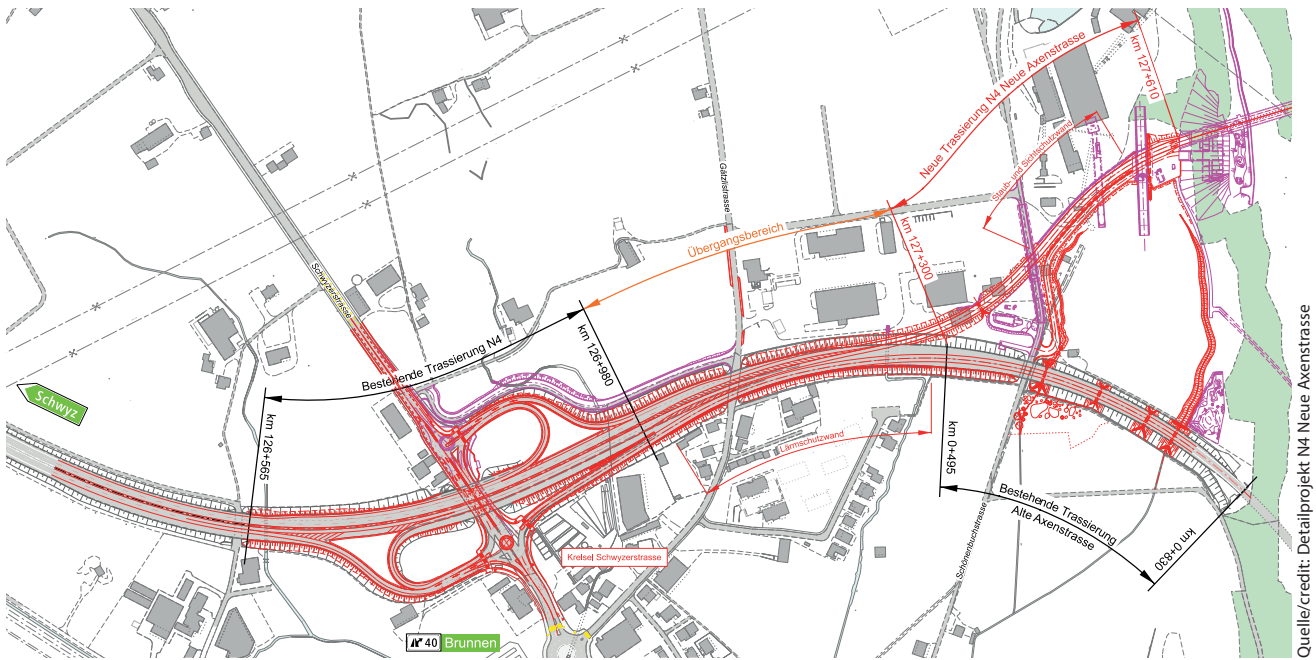
DETEC ordered the planning approval for the implementation project N4 Neue Axenstrasse on 30 April 2020. The partial project "Flanking Measures for Alte Axenstrasse" was removed from the approval; it must be revised. Environmental organisations submitted complaints to the Federal Administrative Court (Bundesverwaltungsgericht – BVGer) after the planning approval.

The N4 Neue Axenstrasse will be connected to the existing National Road N4 in Ingenbohl in the north and in Gumpisch



1 N4 Neue Axenstrasse, Projektübersicht
N4 Neue Axenstrasse, project overview

Quelle/credit: Detailprojekt N4 Neue Axenstrasse



2 Trasse Anschluss Ingenbohl
Ingenbohl Connection Line

N4 angeschlossen. Dazwischen liegt die 8703 m lange Neubaustrecke.

Im Folgenden werden die einzelnen Baubereiche von Norden nach Süden vorgestellt.

1.1 Trasse Anschluss Ingenbohl

Das Trasse Anschluss Ingenbohl lässt sich in drei Abschnitte einteilen (Bild 2).

In den ersten 100 m des Projektes folgt die Trassierung dem Bestand. In diesem Bereich werden lediglich Anpassungen am Fahrstreifenregime vorgenommen und der Belag erneuert.

Über rund 400 m folgen anschliessend der Übergang und die Trennung von der Alten Axenstrasse auf die N4 Neue Axenstrasse. Im Unterhalts- oder Ereignisfall wird in diesem Bereich die Überfahrt der N4 auf die Alte Axenstrasse stattfinden.

Sobald sich die N4 Neue Axenstrasse von der Alten Axenstrasse auch räumlich getrennt hat, wird das Trasse über einen künstlichen Damm zum Portal Ingenbohl geführt.

Ab dem Anschluss Brunnen wird die N4 Neue Axenstrasse zu einer Nationalstrasse 2. Klasse. Ein Lichtraumprofil von 4,50 mal 5,00 m (Höhe mal Breite) und Fahrspurbreiten von zweimal 3,875 m gewährleisten eine Ausnahmetransportroute vom Typ II.

1.2 Morschacher Tunnel mit Entwässerungstollen Ingenbohl

Der Morschacher Tunnel weist eine Röhre auf und wird im Gegenverkehr, mit je einer Fahrspur pro Richtung, betrieben. Der Tunnel hat eine Länge von 2891 m mit einer im konven-

in the south. The 8,703 m long new railway section lies between them.

The individual construction areas from north to south will be introduced below.

1.1 Ingenbohl Connection Line

The Ingenbohl connection line can be divided into three sections (Fig. 2).

In the first 100 m of the project, the route follows the existing path. In this area, adjustments will merely be made to the lane regime and the surface will be replaced.

Over approx. 400 m the transition occurs and then the separation from Alte Axenstrasse to N4 Neue Axenstrasse. In the event of maintenance or an incident, the transit of the N4 to Alte Axenstrasse will occur here.

As soon as N4 Neue Axenstrasse has also separated from Alte Axenstrasse spatially, the line will be led over an artificial embankment to the Ingenbohl portal.

After the Brunnen connection, N4 Neue Axenstrasse becomes a 2nd class national road. A minimum clearance outline of 4.50 times 5.00 m (height times width) and lane width of two times 3.875 m guarantee a type II exceptional transport route.

1.2 Morschacher Tunnel with Ingenbohl Drainage Tunnel

The Morschacher Tunnel consists of one tube and operates with two-way traffic, with one traffic lane per direction. The

tionellen Vortrieb aufzufahrenden bergmännischen Länge von 2841 m (Bild 3). Der theoretische Ausbruchquerschnitt beträgt im Normalprofil je Sicherungsklasse bis 115 m², in den Bereichen mit Ausstellbuchten 147 m² bis 182 m². Der Werkleitungskanal unter der Fahrbahn dient neben der Aufnahme von Kabelanlagen und Hydrantenleitungen gleichzeitig auch als Fluchtweg. Die Lüftungszentrale Ingenbohl am Nordportal des Tunnels wird im Voreinschnitt erstellt. Neben der in der Tunnelmitte liegenden Betriebszentrale wird auch die Betriebs- und Lüftungszentrale Petersort bergmännisch aufgefahren. Die Zentrale Petersort wird über einen Zugangstollen nach über Tage erschlossen. Die Stammlinie der SBB im Fronalp Tunnel wird im Gegenvortrieb aus dem Voreinschnitt Ort heraus Richtung Norden in einer vertikalen Distanz von rund 4,3 m überfahren.

Der Entwässerungstollen Ingenbohl inkl. Zu- und Ableitungen weist eine totale Länge von rund 1430 m auf und wird maschinell aufgefahren. Der theoretische Ausbruchquerschnitt beträgt 11,35 m². Der Stollen besteht im Endzustand aus einer befahrbaren Betonsohle mit Trockenwasserrinne. Die Verkleidung wird einschalig in Spritzbetonbauweise ausgeführt, wobei sie in den Portalbereichen, im Bereich der Unterquerung der SBB sowie im Bereich von Störzonen verstärkt ausgeführt wird.

1.3 Offene Strecke Ort

Die 120 m lange offene Strecke Ort liegt zwischen dem Morschacher und dem Sisikoner Tunnel und erlaubt im Ereignisfall oder zu Unterhaltszwecken einen Übergang von der N4 Neuen Axenstrasse zu der Alten Axenstrasse oder umgekehrt.

Der Voreinschnitt Ort hat eine Länge von rund 170 m bei einer Aushubhöhe von bis zu 26 m. Als Baugrubensicherung

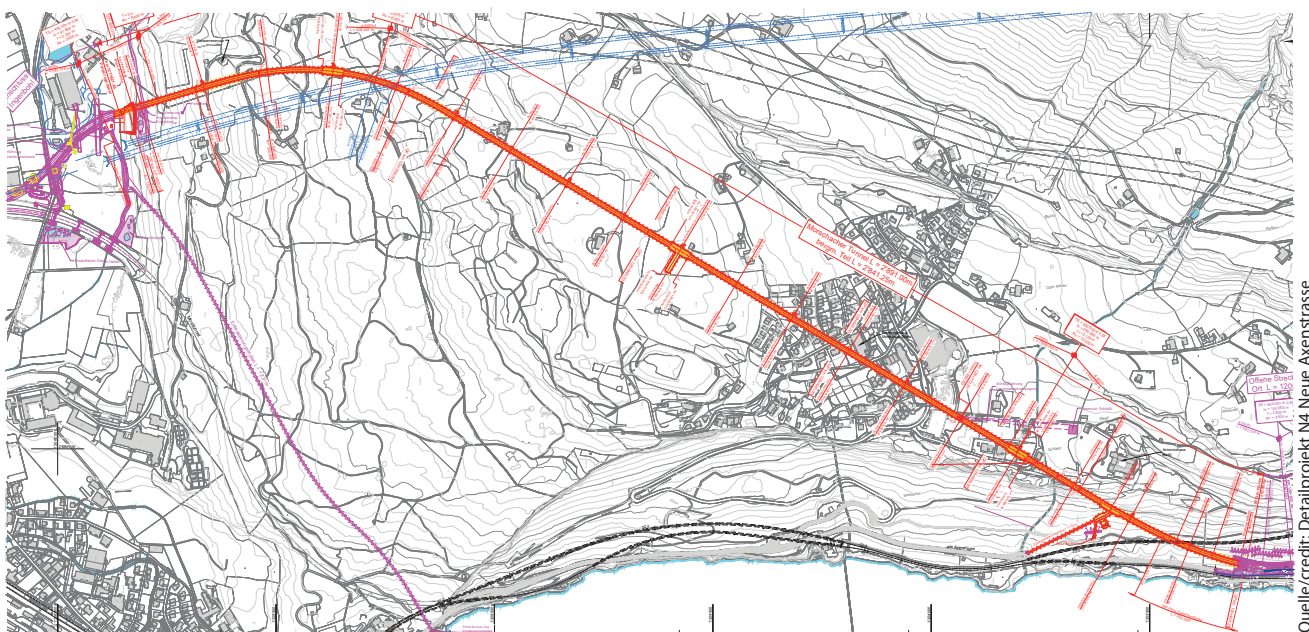
tunnel has a total length of 2,891 m with 2,841 m below ground, to be excavated using the conventional tunnelling method (Fig. 3). The theoretical excavation cross section in the standard cross section per support class is up to 115 m², and 147 m² to 182 m² in the areas with service bays. In addition to accommodating cable systems and hydrant lines, the service tunnel under the track serves simultaneously as an escape route. The Ingenbohl ventilation centre on the north portal of the tunnel will be constructed in the pre-cut. In addition to the control centre lying in the middle of the tunnel, the Petersort operating and ventilation centre will also be constructed underground. The Petersort centre will be accessible via an above-ground access tunnel. The main line of the SBB in the Fronalp Tunnel is passed over in counter-tunnelling from the pre-cut location leading north at a vertical distance of approx. 4.3 m.

The Ingenbohl drainage tunnel including feed and drain lines has a total length of approx. 1,430 m and will be excavated mechanically. The theoretical excavation cross section is 11.35 m². In its final state, the tunnel will consist of a drivable concrete floor with a drainage channel. The lining will be carried out in one layer using shotcrete, with this being carried out more intensively in the portal areas, in the area of the SBB underpass and in the area of faults.

1.3 Open Stretch Location

The 120 m open stretch location lies between the Morschacher and the Sisikoner Tunnel and in the event of an incident – or for maintenance purposes – allows a transition from the N4 Neue Axenstrasse to the Alte Axenstrasse or vice versa.

The pre-cut location has a length of approx. 170 m with an excavation height of up to 26 m. As excavation support, an



3 Morschacher Tunnel mit Entwässerungstunnel Ingenbohl
Morschacher Tunnel with Ingenbohl Drainage Tunnel

Quelle/Credit: Detailprojekt N4 Neue Axenstrasse



4 Sisikoner Tunnel mit Ausfahrtstunnel Gumpisch
Sisikoner Tunnel with Gumpisch Exit Tunnel

wird im Lockergestein eine Ankerwand in Ortbeton erstellt, im darunter liegenden Bereich des selbsttragenden Felses eine Ortbeton-Futtermauer. Nach Abschluss der Bauarbeiten werden Ankerwand wie auch Futtermauer mit Naturstein verkleidet und bleiben als definitive Stützbauwerke der offenen Strecke Ort bestehen.

1.4 Sisikoner Tunnel mit Ausfahrtstunnel Gumpisch

Der Sisikoner Tunnel wird wie der Morschacher Tunnel im Gegenverkehr mit je einer Fahrspur pro Richtung betrieben. Der Tunnel hat eine Länge von 4442 m mit einer im konventionellen Vortrieb aufzufahrenden bergmännischen Länge von 4431 m (Bild 4). Die Normalprofile und auch die Funktion des Werkleitungskanals entsprechen denen des Morschacher Tunnels. Erschlossen werden die nach Süden und nach Norden gehenden Hauptvortriebe über den 283 m langen Erschliessungstollen Dorni.

Neben den beiden Betriebs- und Lüftungszentralen Ort und Buggi werden noch vier weitere Betriebszentralen unter Tag ausgebrochen, wobei die Zentrale Ort oberirdisch mit einem kurzen Verbindungstunnel zur Hauptröhre erstellt wird.

Auch in diesem Abschnitt wird die Stammlinie der SBB im Fronalptunnel im Gegenvortrieb aus dem Voreinschnitt Ort heraus Richtung Süden in einem vertikalen Abstand von rund 4,5 m überfahren.

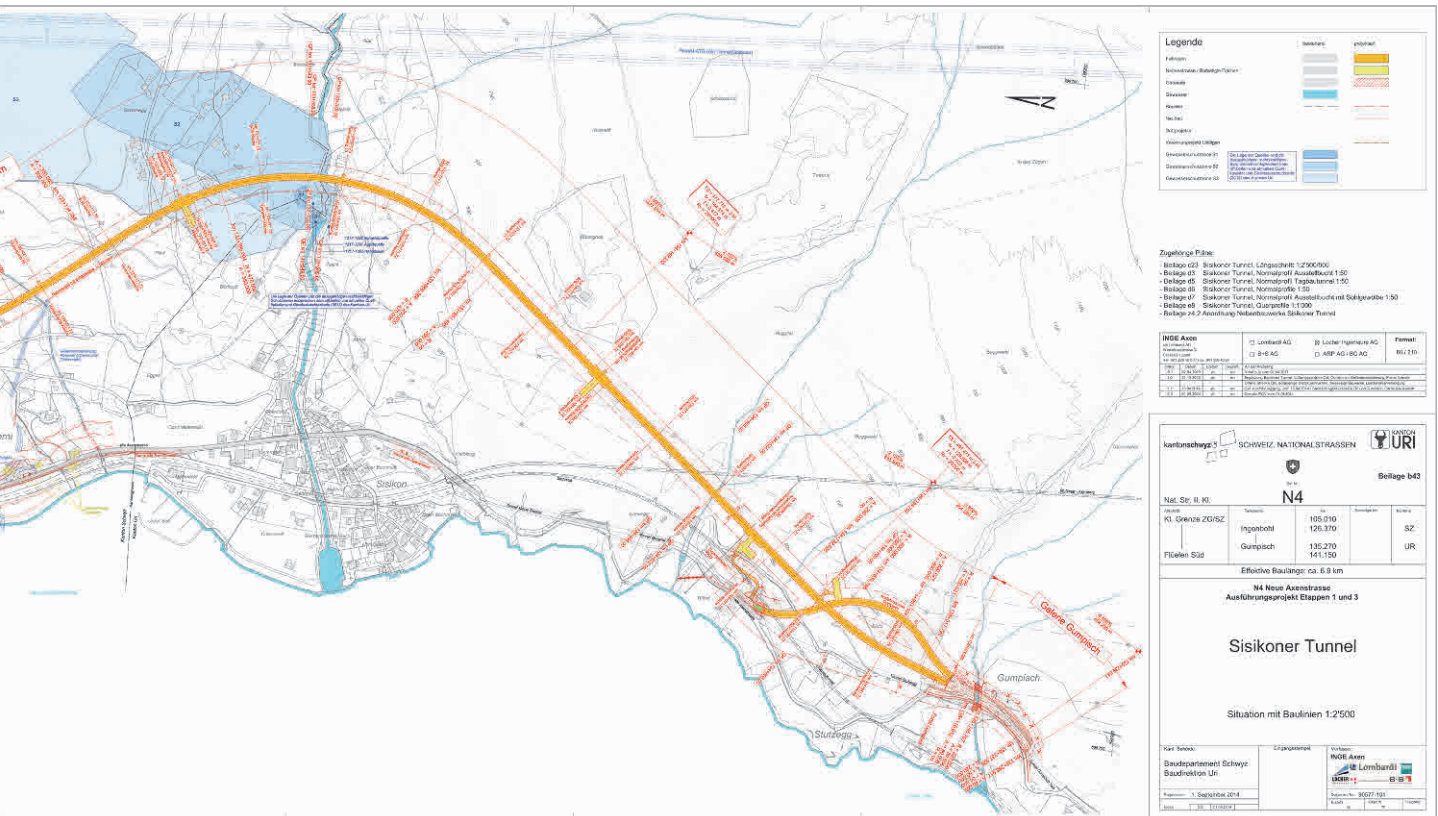
anchor wall in cast in-situ concrete will be built in the loose rock, as well as a cast-in-situ concrete supporting wall in the area of the self-sustaining rock mass below. After the conclusion of the construction work, the anchor wall and the supporting wall will be covered with natural stone and remain as definitive supporting structures of the open stretch location.

1.4 Sisikoner Tunnel with Gumpisch Exit Tunnel

Like the Morschacher Tunnel, the Sisikoner Tunnel will operate with two-way traffic, with one traffic lane per direction. The tunnel has a total length of 4,442 m with 4,431 m below ground, to be excavated using the conventional tunnelling method (Fig. 4). The standard cross section and the function of the service channel correspond to those of the Morschacher Tunnel. The main drives going to the north and south will be developed over the 283 m long Dorni access tunnel.

In addition to the two operating and ventilation centres Ort and Buggi, four additional operating centres will be excavated below ground, with the Ort centre being built above ground with a short connecting tunnel to the main tunnel.

In this section too the main line of SBB in the Fronalptunnel is passed over in the counter-tunnelling from the pre-cut location leading south at a vertical distance of approx. 4.5 m.



Quelle/credit: Detailprojekt N4 Neue Axenstrasse

Der Ausfahrtstunnel Gumpisch hat eine Länge von 426 m und einen theoretischen Ausbruchquerschnitt im Normalprofil von 77 m². Dieser Tunnel schliesst, wie auch der Sisikoner Tunnel, an die Galerie Gumpisch an.

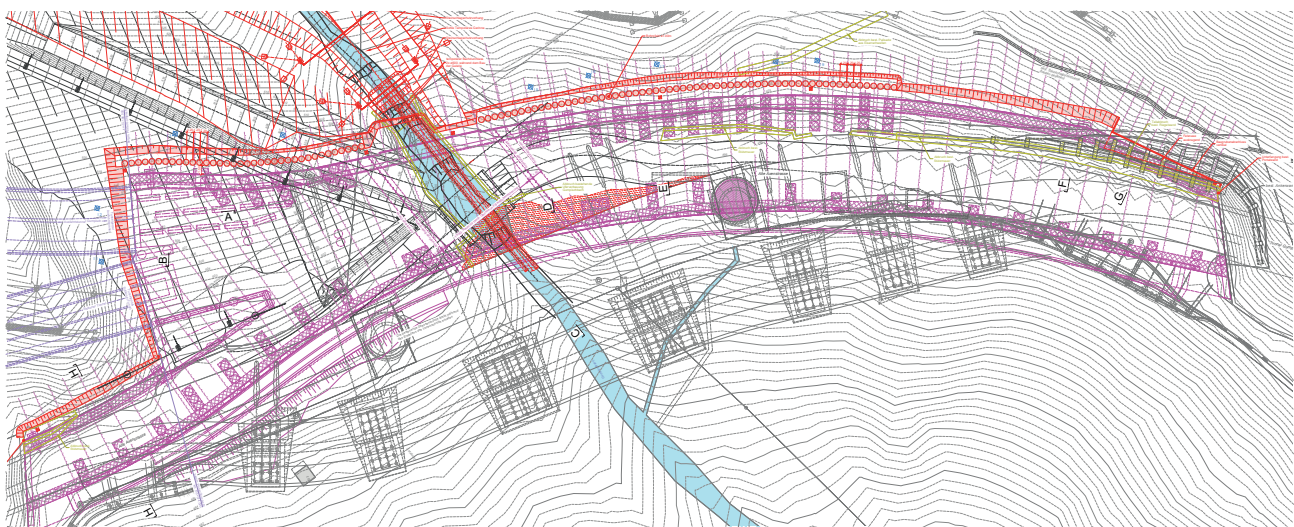
The Gumpisch exit tunnel has a length of 426 m and a theoretical excavation cross section in standard cross section of 77 m². Like the Sisikoner Tunnel, this tunnel connects to the Gumpisch gallery.

1.5 Anschluss Gumpisch

Der Anschluss Gumpisch verbindet die Südportale des Sisikoner Tunnels, des Ausfahrtstunnels Gumpisch und des bestehenden Tunnels Stutzegg (Einfahrtstunnel) mit der Alten Axenstrasse beim Nordportal des Tunnels Gumpisch

1.5 Gumpisch Connection

The Gumpisch connection links the southern portals of the Sisikoner Tunnel, the Gumpisch exit tunnel and the existing Stutzegg Tunnel (entrance tunnel) with the Alte Axenstrasse at the northern portal of the Gumpisch Tun-



5 Anschluss Gumpisch
Gumpisch Connection

Quelle/credit: Detailprojekt N4 Neue Axenstrasse

Süd (Bild 5). Der Anschluss hat eine Länge von 194 m. Damit Bau- und Installationsfläche geschaffen werden kann, wird die Alte Axenstrasse auf eine Hilfsbrücke, die seeseitig als Stahlbeton-Verbundbrücke erstellt wird, verlegt. Nachdem die Massnahmen gegen Naturgefahren, die in Kapitel 4 beschrieben werden, umgesetzt sind, wird der Voreinschnitt erstellt. Der Voreinschnitt ist ca. 200 m lang und hat eine maximale Aushubhöhe von 27 m. Die Baugrubensicherung besteht aus einer rückverankerten Nagelwand und Ortbetonpfählen, welche durch vier bis fünf Lagen vorgespannte Anker gesichert werden.

Die eigentliche Galerie ist ein monolithisches Bauwerk in Massivbauweise. Die Decke wird im Bereich der Bachquerung vorgespannt. In den restlichen Bereichen ist die Galeriedecke, von der Rückwand bis zur talseitig auf einer Leitmauer angeordneten Stützenreihe bzw. Wand, frei gespannt und schlaff bewehrt.

2 Generelles Projekt bis Plangenehmigung

Nach einem ersten Entwurf des Generellen Projekts (GP), das Ende der 1980er- und während der 1990er-Jahre erarbeitet wurde, konnte im Rahmen einer mehrjährigen Kreativphase das GP erarbeitet und im Jahr 2009 durch den Bundesrat genehmigt werden. Im Jahr 2014 wurde das Ausführungsprojekt öffentlich aufgelegt, nach verschiedenen Einsprachen überarbeitet und als Teilneuaufgabe 2015 nochmals präsentiert. Im Frühjahr 2020 wurde die Plangenehmigung durch das Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) verfügt. Gegen die Verfügung wurde im Juni 2020 Einsprache vor dem Bundesverwaltungsgericht (BVGer) erhoben. Ein Entscheid des BVGer ist noch ausstehend. Dies ergibt bis dato eine Projektzeit vom GP inkl. Kreativphase bis heute von über 30 Jahren.

2.1 Projektstand

Da das BVGer die aufschiebende Wirkung für die Projektteile Ersatzbiotope Ingenbohl und Galerie Gumpisch entzogen hat, konnte die Planung und somit auch die Ausführung für den Anschluss Gumpisch vorangetrieben werden. Ab Herbst 2021 wurde das Kabeltrasse für die Baustromversorgung von Flüelen bis Gumpisch erstellt. Im Winter 2021/2022 wurden kleinere Flächen gerodet und Schutznetze gegen Naturgefahren erstellt. Ab Mai 2022 erfolgt der Bau der Hilfsbrücke Gumpisch mit einer Bauzeit von rund 15 Monaten.

Um die Kontinuität in der Bauleitung bei diesem komplexen Grossprojekt zu gewährleisten, hat die Bauherrngemeinschaft beschlossen, trotz dem hängigen Beschwerdeverfahren das Mandat der Bauleitung Axen öffentlich auszuschreiben. Der Zuschlag konnte Ende 2021 getätigt werden.

2.2 Verantwortung der Bauherrschaft?

Der Duden definiert Verantwortung als eine «[mit einer bestimmten Aufgabe, einer bestimmten Stellung verbun-

nel south (Fig. 5). The connection is 194 m long. To create construction and installation space, Alte Axenstrasse will be rerouted to an auxiliary bridge, which will be built on the lake side as a reinforced concrete composite bridge. After the measures against natural hazards which are described in Chapter 4 have been implemented, the pre-cut will be created. The pre-cut is approx. 200 m long and has a maximum excavation height of 27 m. The excavation support consists of a back-anchored nail wall and in-situ concrete piles, which are secured by four to five layers of pre-tensioned rock bolts.

The actual gallery is a monolithic structure in solid construction. The slab is pre-tensioned in the area of the stream crossing. In the remaining areas the gallery slab is freely tensioned and loosely reinforced from the back wall to a row of columns arranged on a guide wall or wall on the valley side.

2 General Project up to Plan Approval

After a first draft of the General Project (GP), which was prepared at the end of the 1980s and during the 1990s, within a multi-year creative phase the GP was prepared and approved by the Federal Council in 2009. In 2014 the implementation project was publicly released, revised after various objections, and presented again in 2015 as partial reissued. In the spring of 2020 the planning approval was ordered by the Federal Department of the Environment, Transport, Energy and Communications (DETEC). An objection was made to the approval in June 2020 before the Federal Administrative Court (Bundesverwaltungsgericht – BVGer). A decision by the BVGer is still pending. This results to date in a project time for the GP including the creative phase of over 30 years.

2.1 Project Status

Because the BVGer has revoked the suspensive effect for the Ingenbohl replacement habitat and Gumpisch gallery, parts of the project, the design and therefore also the construction for the Gumpisch connection could be advanced. From autumn of 2021 the cable line for the construction site power supply was built from Flüelen to Gumpisch. In winter 2021/2022 smaller areas were cleared and safety nets against natural hazards were built. From May 2022 the Gumpisch auxiliary bridge will be built, with a construction time of about 15 months.

To ensure continuity in the construction management during this complex, large-scale project, despite the pending complaint proceedings, the client association decided to publicly tender the mandate of the Axen construction management. The contract was awarded at the end of 2021.

2.2 Responsibility of the Developer?

Duden defines "Verantwortung" (responsibility) as an "obligation [associated with a certain task, a certain position] to

dene] Verpflichtung, dafür zu sorgen, dass (innerhalb eines bestimmten Rahmens) alles einen möglichst guten Verlauf nimmt, das jeweils Notwendige und Richtige getan wird und möglichst kein Schaden entsteht». [1]

Auch wenn das Verfahren von der definitiven Erarbeitung und Genehmigung des Generellen Projekts bis zu einer rechtskräftigen Plangenehmigung sehr formalistisch ist und nun schon 20 Jahre dauert, steht die Bauherrschaft in dieser Projektphase in der Verantwortung und gemäss Definition somit in der Pflicht, alles zu unternehmen, um die zielgerichtete und termingerechte Projektabwicklung zu gewährleisten. Die Bauherrschaft ist interner und externer Koordinator, damit sowohl die technischen/vertraglichen Leistungen als auch die öffentlichen Belange, wie zum Beispiel durch Einsprachen oder Beschwerden, im Projekt zusammengeführt werden.

Durch die Projektdauer geht Projektwissen verloren, weil Schlüsselpersonen einen Jobwechsel vollziehen oder sich in den Ruhestand verabschieden. Junge Ingenieure kommen in das Projekt und sollen sich dort etablieren und Erfahrung sammeln.

Als das Generelle Projekt 2009 vom Bundesrat genehmigt wurde, war die E-Mobilität noch kein bestimmendes Thema, 2014 bei der öffentlichen Auflage des Ausführungsprojektes die Auswirkungen der Klimabewegung «Fridays for Future» und die einer Pandemie nicht im Fokus.

Sowohl die organisatorischen als auch die soziokulturellen Herausforderungen strapazieren in finanzieller Hinsicht die Verträge mit den Auftragnehmenden. Ob ein Wechsel eines Ingenieurbüros nach bestimmten Projektphasen dem Projekt schadet oder doch das Projekt vertieft, kann diskutiert werden. Eine Bauherrschaft als Projektkonstante sollte sich unter diesen Gesichtspunkten nicht nur als Koordinator beweisen, sondern sich bei technischen und vertraglichen Fragen auch auf Augenhöhe mit den Ingenieurbüros bewegen.

3 Geologie

Die Tunnelbauten für die Neue Axenstrasse liegen vollständig im Bereich der Helvetischen Decken. Die Gesteine, welche im Morschacher und Sisikoner Tunnel angetroffen werden, weisen teilweise die gleichen oder vergleichbare geologische Einheiten auf, welche jedoch aus unterschiedlichen tektonischen Stellungen stammen. Unterschiedlich sind häufig die zu durchörternde Mächtigkeit der Formationen, die Abfolge, die tektonische Verformung und daher die Lagerung der Gesteine und deren Klüftung. Es wird prognostiziert, dass die geotechnischen Eigenschaften der Gesteinsformationen im Projektgebiet auch bei unterschiedlicher tektonischer Einheit und bei unterschiedlichem Bauwerk die gleichen sind.

3.1 Prognose

Der Morschacher Tunnel liegt überwiegend im Schrattekalk mit wenigen Bereichen von Mergeln und Kieselkalken

ensure that (within a certain framework) everything runs as well as possible, that what is necessary and correct is done and that preferably no damage occurs". [1]

Even though the procedure from the definitive development and approval of the General Project to a legally valid plan approval is very formalistic and has now been going on for 20 years, the developer bears responsibility in this project phase, and therefore is obligated to do everything possible to ensure the target-oriented and on-time implementation of the project. The developer is the internal and external coordinator so that both the technical/contractual services and the public concerns – for example through objects or complaints – are brought together in the project.

Throughout the duration of the project, project knowledge is lost because key people change jobs or retire. Young engineers come into the project and are expected to establish themselves and gain experience.

When the General Project was approved by the Federal Council in 2009, e-mobility was not yet a defining issue, and in 2014, when the implementation project was published, the effects of the climate movement "Fridays for Future" and those of a pandemic were not yet in focus.

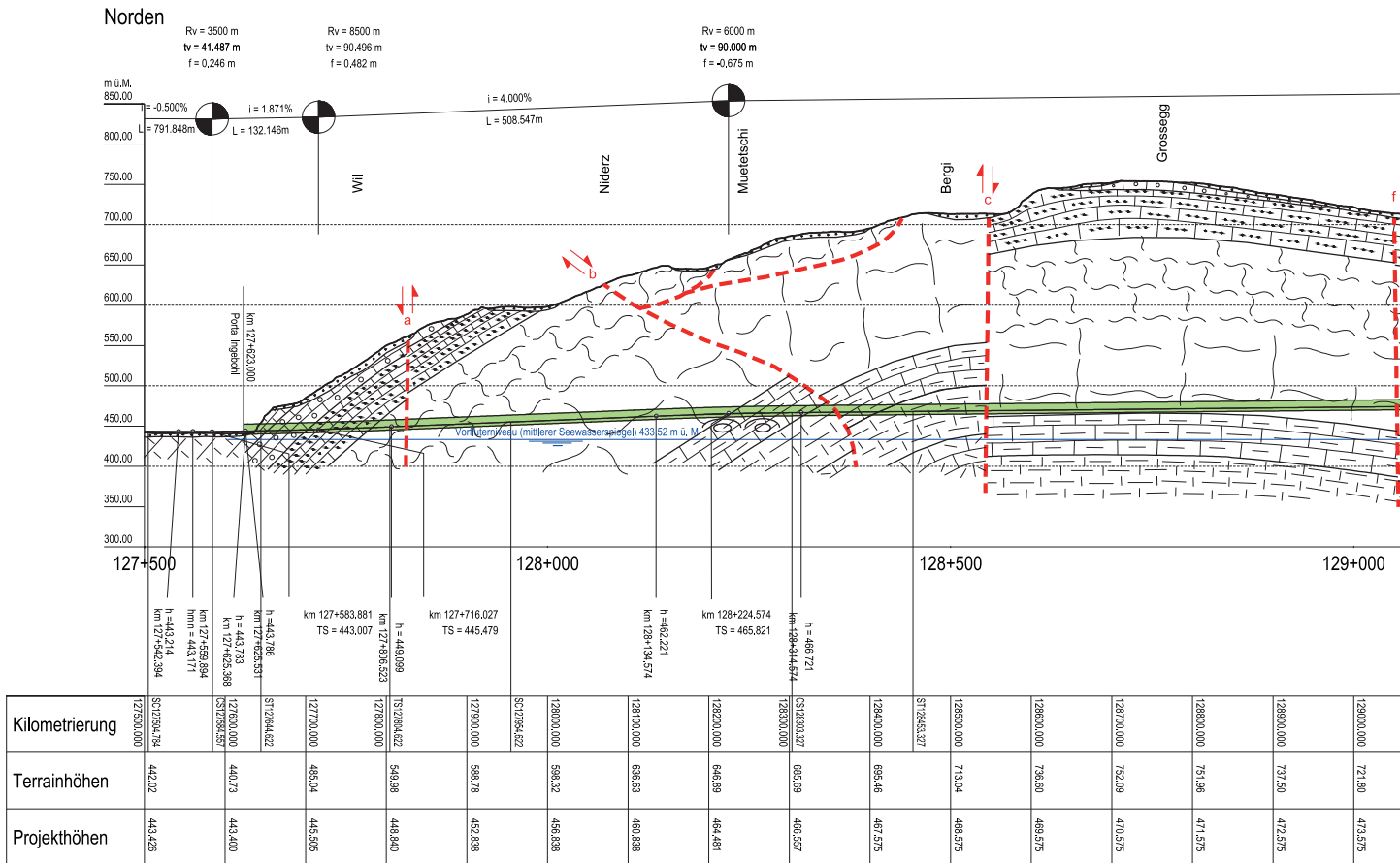
Both the organisational and the sociocultural challenges put a strain on the contracts with the contractors from a financial perspective. Whether changing an engineering office after certain project phases harms the project or actually strengthens the project can be discussed. With these considerations in mind, a developer as a project constant should not only prove itself as a coordinator, but be on an equal footing with the engineering offices in case of technical and contractual questions.

3 Geology

The tunnel constructions for the New Axenstrasse lie completely within the area of the Helvetic nappes. The rocks which were encountered in the Morschacher and Sisikoner Tunnels partially exhibit the same or comparable geological units, which however originate from different tectonic conditions. The thickness of the formations to be penetrated, the sequence, the tectonic deformation and therefore the stratification of the rocks and their jointing are often different. It is predicted that the geotechnical characteristics of the stone formations in the project will be the same even with a different tectonic unit and a different structure.

3.1 Prediction

The Morschacher Tunnel lies primarily in Schrattekalk (limestone), with few areas of marl and siliceous limestone (Fig. 6). Although these geological layers were also encountered in



6 Geologisches Längensprofil Morschacher Tunnel
 Geological longitudinal profile of Morschacher Tunnel

(Bild 6). Obschon auch beim Sisikoner Tunnel diese geologischen Schichten angetroffen werden (Bild 7), wird eine grössere Strecke im Palfrismergel leistungsbestimmend sein. Im Übergang zum südlichen Tunnelportal werden Schichten von Betliskalk aufgeföhren, welche eine überdurchschnittlich hohe Gesamtkonzentration von geogenem Arsen aufweisen.

Der Bergwasserzufluss ist, wie im Kalkstein nicht anders zu erwarten, recht hoch. Es wird mit einem permanenten Zufluss von bis zu 40 l/s*km gerechnet. Aufgrund von Karstvorkommen werden initiale Entleerungen von bis zu 500 m³ innert mehreren Stunden erwartet.

3.2 Verantwortung der Bauherrschaft

Wie bei jedem Projekt im Untertagbau spielt der Umgang mit geologischen Prognosen und den Erkenntnissen aus dem Vortrieb nicht nur eine technische, sondern auch – und wahrscheinlich vor allem – eine vertragliche Rolle. Der Unterschied zwischen veränderter Geologie (was nicht prognostiziert wurde) und der Interpretation der Prognose wird sehr oft zu einem Spielball der Experten. Die Bauherrschaft und deren Projektbeauftragte wundern sich in manchen Fällen, welche Auswirkungen doch kleinste geologische Veränderungen auf den Vortrieb, die Logistik und somit auf die gesamte Vertragsstruktur haben können.

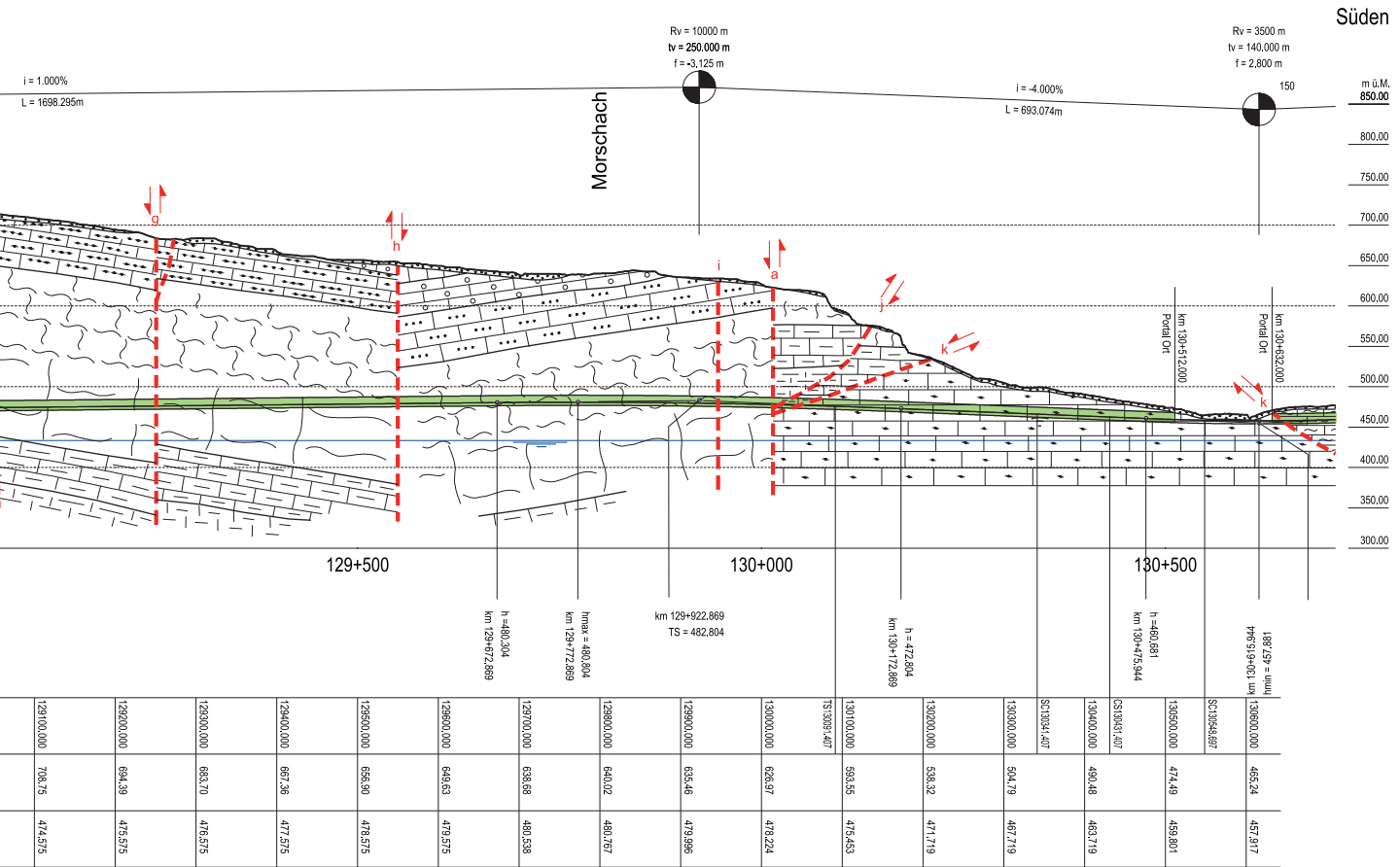
the Sisikoner Tunnel, (Fig. 7), a longer stretch in the Palfris marl will be performance determining. In the transition to the southern tunnel portal, layers of Betlis limestone are broken through, which exhibit an above-average total concentration of geogenic arsenic.

The inflow of water is, as expected in limestone, very high. A permanent inflow of up to 40 l/s*km expected. Due to karst deposits, initial draining of up to 500 m³ is expected within several hours.

3.2 Responsibility of the Developer

As with every underground construction project, dealing with geological predictions and knowledge from tunnelling plays not only a technical but also – and probably first and foremost – a contractual role. The difference between modified geology (which was not predicted) and the interpretation of the prediction often becomes a plaything of experts. In many cases, the developer and its project officer wonder what effects the smallest geological changes can have on the tunnelling, the logistics, and therefore on the entire contract structure.

In the process, the causes of geology-related claims do not lie in the geology but rather – in addition to possible gaps in the project – also in the awarding system itself. First and



Quelle/credit: Detailprojekt N4 Neue Axenstrasse

Dabei liegen die Ursachen von geologiebedingten Nachforderungen oft nicht in der Geologie selber, sondern, neben möglichen Lücken im Projekt, auch im Vergabesystem an sich. Die Verantwortung der Bauherrschaft liegt vor allem darin, die Situation objektiv zu analysieren und nicht zu polarisieren. Das Ziel muss es sein, das Projekt gemeinsam mit Projektverfasser, Geologen, Bauleitung und Baumeister zu stemmen. Dies gelingt jedoch nur, wenn die Arbeit jedes Projektbeteiligten respektiert wird.

4 Naturgefahren

Mit der N4 Neuen Axenstrasse sollen die Verfügbarkeit, die Funktionsfähigkeit und die Verkehrssicherheit der Nord-Süd-Transitachse zwischen Brunnen und Flüelen erhöht werden. Dies bedingt umfangreiche Massnahmen gegen Naturgefahren, die nicht nur für einen sicheren Betrieb ausgeführt werden; auch für die Bauphase sollen die Massnahmen den grösstmöglichen Schutz bieten.

4.1 Baubereich Gumpisch

Die Auswirkungen des Felssturzes vom 7. Januar 2019 und die ab 28. Juli 2019 eingetretenen Murgang- und Blockschlagereignisse haben aufgezeigt, dass der sichere Betrieb und die Verfügbarkeit der bestehenden Axenstrasse im Bereich Gumpisch nicht mehr gewährleistet waren. Die Strasse musste in der Folge mehrmals

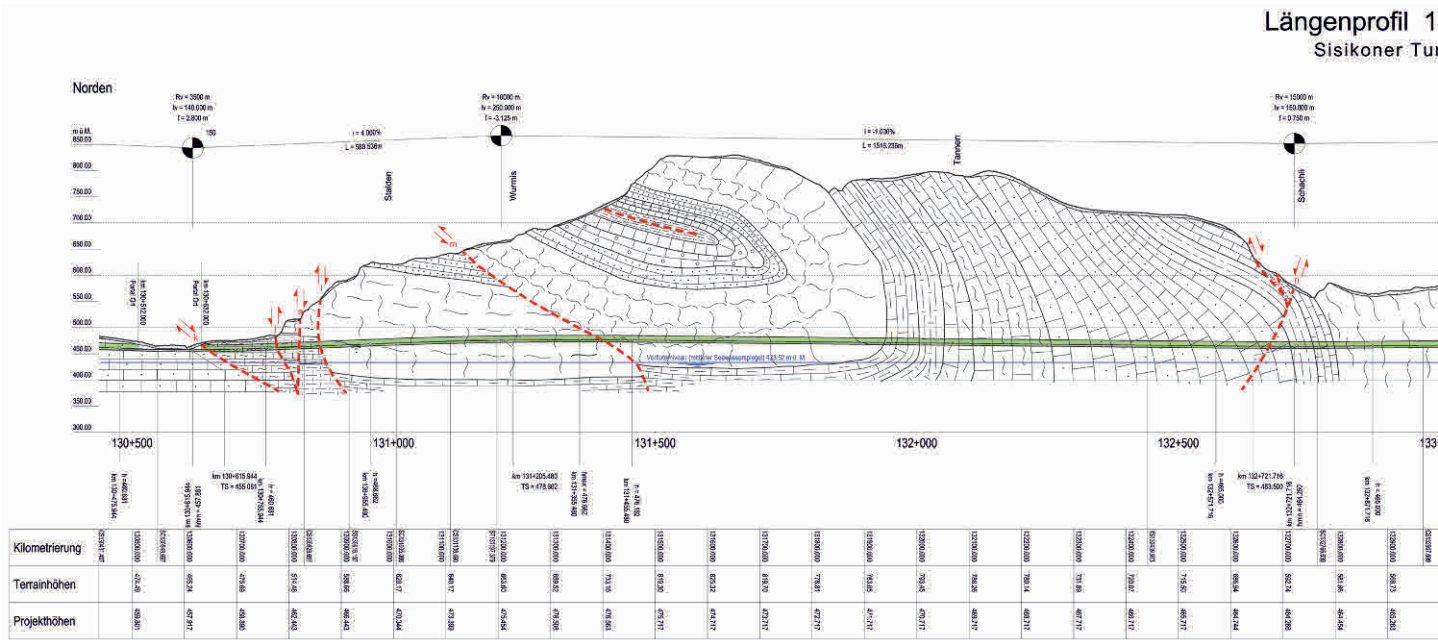
foremost, the responsibility of the developer lies in analysing the situation objectively and not polarising. The goal must be to manage the project together with the project author, geologists, construction management and the contractor. However, this will only succeed if the work of each project participant is respected.

4 Natural Hazards

The N4 Neue Axenstrasse should increase the availability, the functionality and the traffic safety of the north-south transit axis between Brunnen and Flüelen. This requires comprehensive measures against natural hazards, which are performed not only to ensure safe operation; these measures should also offer the greatest possible protection for the construction phase.

4.1 Gumpisch Construction Area

The effects of the avalanche on 7 January 2019 and the mudslide and block-fall events that occurred after 28 July 2019 showed that the safe operation and the availability of the existing Axenstrasse in the Gumpisch region were no longer guaranteed. Therefore, the road had to be closed multiple times for several days or even weeks. FEDRO took various measures to restore the reliable operation of the road.



7 Geologisches Längsprofil Siskoner Tunnel
 Geological longitudinal profile of Siskoner Tunnel

für mehrere Tage oder sogar Wochen gesperrt werden. Vom ASTRA wurden verschiedene Massnahmen ergriffen, um den sicheren Betrieb der Strasse wiederherzustellen.

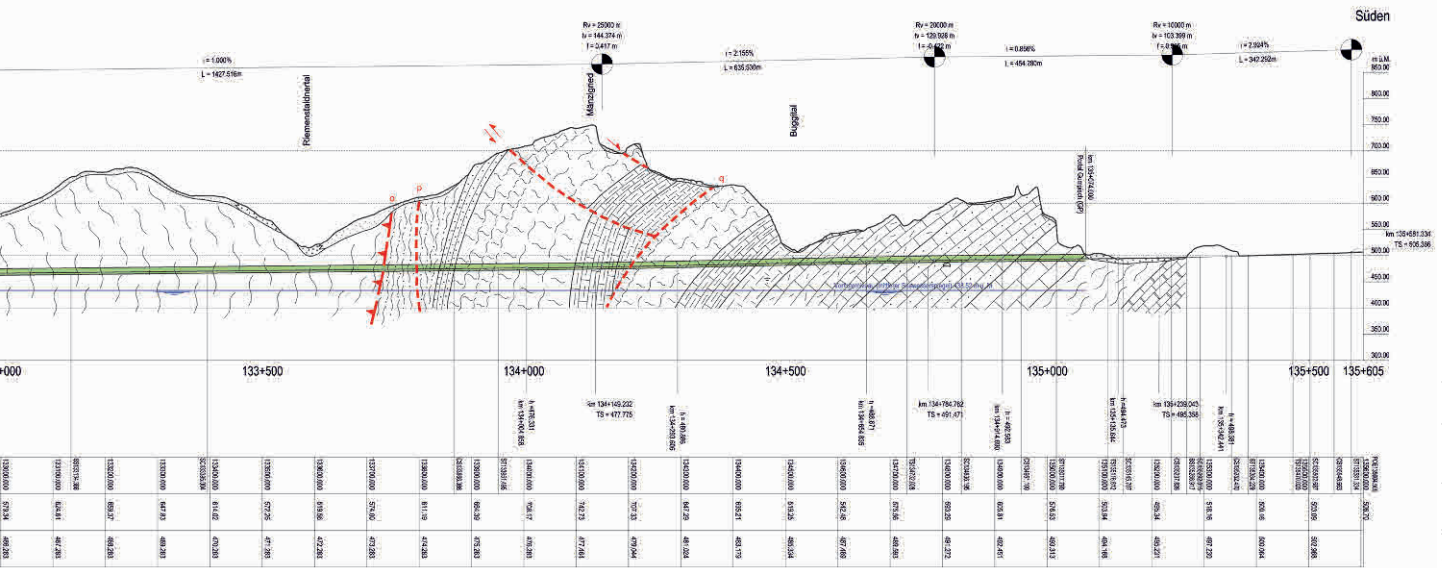
Das Überwachungssystem im Gumpischtal wurde im Auftrag des ASTRA eingerichtet. Es besteht aus unterschiedlichen Sensoren und Kameras, die an verschiedenen Orten positioniert sind. Das Herzstück der Anlage bilden zwei Steinschlagradare auf dem Buggistäfel, etwa 400 Höhenmeter oberhalb der Axenstrasse. Sie überwachen permanent die Schuttdepots und erkennen sich bewegende Gesteinsmassen in Echtzeit. Gleichzeitig messen am selben Standort drei seismische Sensoren die Erschütterungen im Boden und erkennen so ebenfalls Steinschlag oder einen Murgang. Wird ein Ereignis durch eine in Echtzeit berechnete Kombination beider Überwachungseinrichtungen erkannt, schaltet das System die Ampeln an der Axenstrasse automatisch auf Rot. Die oberhalb der Strasse eingerichteten Steinschlag- und Murgangschutznetze wurden mit Bewegungssensoren ausgestattet. Wenn nach einer Ereignisdetektion im oberen Bereich die Sensoren der Schutznetze ebenfalls ein Ereignis detektieren, bleiben die Ampeln auf Rot und Geologen müssen die Situation vor Ort beurteilen. Die Strasse wird je nach Resultat der Beurteilung danach wieder für den Verkehr freigegeben. Falls bei den Schutznetzen kein Ereignis detektiert wird, schalten die Ampeln nach zwei Minuten automatisch wieder auf Grün und die Strasse wird wieder für den Verkehr freigegeben. Die Überwachungseinrichtung wird auch während der geplanten Arbeiten für die N4 Neue Axenstrasse weiter genutzt, wobei die Anlage noch ausgebaut und auf die Bauarbeiten abgestimmt wird.

Neben der wichtigen und unerlässlichen Überwachung der Schuttdepots werden zum Schutz der Baustelle und auch für den späteren Betrieb zwei Schutz- und Ablenkdämme erstellt. Als massgebende Grösse zur Dimensionierung der

The monitoring system in the Gumpisch valley was established on FEDRO's behalf. It consists of various sensors and cameras which are positioned in different locations. The heart of the system is two rockfall radars about 400 metres above Axenstrasse. They constantly monitor the debris depot and detect moving rock masses in real time. Simultaneously, in the same location three seismic sensors measure the vibrations in the ground and thus can also detect rockfall or a mudslide. If a result is detected by a combination of both monitoring systems calculated in real time, the system automatically switches the traffic lights on Axenstrasse to red. The rockfall and mudslide safety net established above the road is equipped with motion sensors. If the safety net sensors also detect an event after an event has been detected in the upper area, the traffic lights will remain red, and geologists will have to assess the situation on site. Depending on the result of the assessment, the road will then be opened for traffic again. If the safety nets do not detect an event, the traffic lights will automatically be switched back to green after two minutes and the road will be opened for traffic again. The monitoring system will also continue to be used during the planned work for the N4 Neue Axenstrasse, with the system being further expanded and coordinated with the construction work.

In addition to the important and mandatory monitoring of the debris depot, for the protection of the construction site and also for later operation, two protective and diversion barriers will be built. As a determinative measurement for the dimensioning of the protective measures, the large block-fall of May 2020 with a block volume of 55 m³ is used as a basis. The protective barrier, which lies directly in the avalanche track of the events, will have a height of 16 m (Fig. 8).

: 5'000
unnel



Quelle/credit: Detailprojekt N4 Neue Axenstrasse

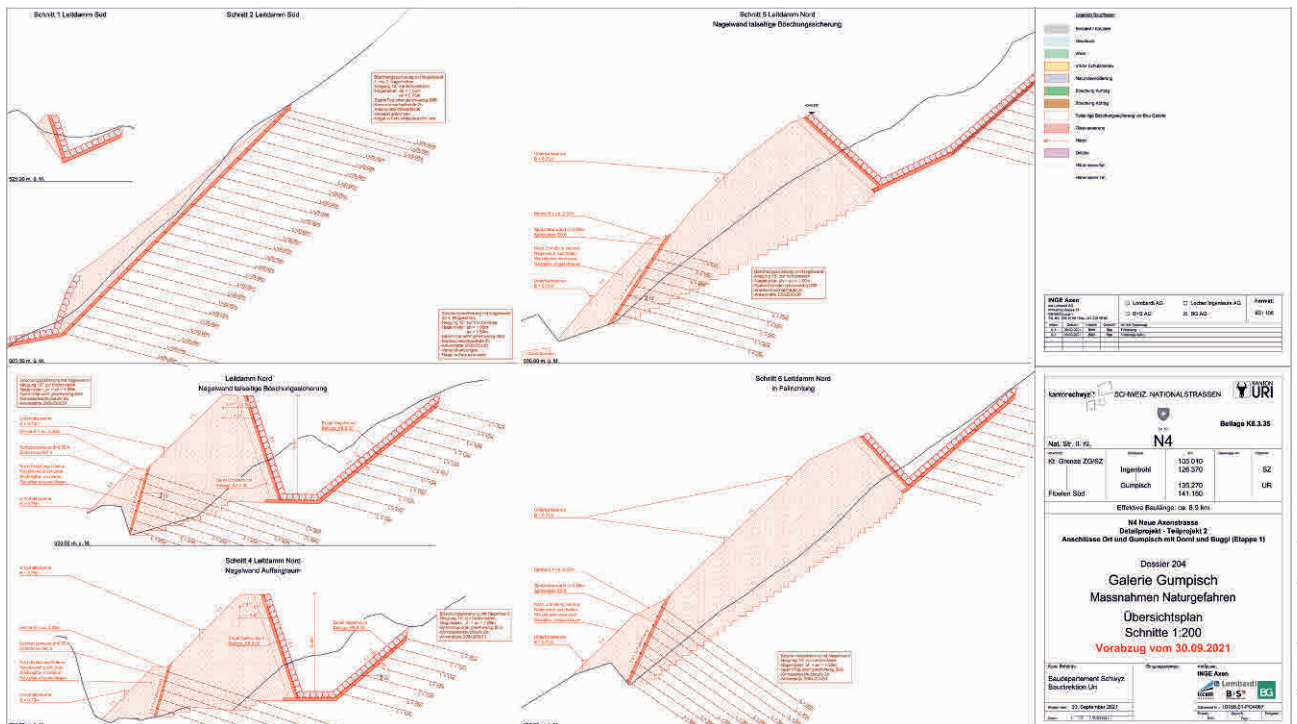
Schutzmassnahmen wurde der Grossblockschlag vom Mai 2020 mit einem Blockvolumen von 55 m³ zugrunde gelegt. Der Schutzdamm, der direkt in der Sturzbahn der Ereignisse liegt, wird eine Höhe von 16 m aufweisen (Bild 8).

4.2 Verantwortung der Bauherrschaft

Die Bauherrschaft muss sich klar zur Verantwortung für die Baumasnahmen im Bereich von Naturgefahren bekennen, denn letztendlich kann nur sie die Gesamtverantwortung

4.2 Responsibility of the Project Owner

The project owner must clearly acknowledge its responsibility for the construction work in the area of natural disasters, because ultimately only it can assume overall responsibility. The project owner must specify the analytical and structured procedure and set the necessary priorities. The projecting geologists can only be responsible for the assessment of the dangers that can arise from natural hazards insofar as these are based on experience and limit values. The neces-



8 Querprofil Leitdamm Nord
Cross profile of north training wall

Quelle/credit: Detailprojekt N4 Neue Axenstrasse

übernehmen. Die Bauherrschaft muss das analytische und strukturierte Vorgehen vorgeben und die notwendigen Prioritäten setzen. Die projektierenden Geologen können die Einschätzung der Gefährdungen, die aus den Naturgefahren entstehen können, nur insofern verantworten, als diese auf Erfahrungen und Grenzwerten basieren. Aus dieser Einschätzung resultiert die notwendige Sicherheit. Es liegt auf der Hand, dass das Wechselspiel zwischen Erfahrung und Grenzwert ein massgebender Faktor in der Bestimmung der erforderlichen Massnahmen gegen Naturgefahren ist.

Im weiteren Verlauf liegt es nun am Projektverfasser, die Erkenntnisse und Erwägungen der Geologen in das zu erstellende Projekt zu integrieren. Dabei sind die wirtschaftliche Abhängigkeit und die notwendige Sicherheit zwischen dem technisch Machbaren (Betriebsphase) und dem organisatorisch Möglichen (Bauphase) zu bestimmen.

Diese Verantwortung dürfen die Geologen und Projektverfasser nicht alleine tragen. Das Risiko, dass durch diese einseitige Verteilung der Verantwortung das Projekt in eine terminliche und finanzielle Schieflage gerät, ist nicht unerheblich, da die Gefahr besteht, dass sich Sicherheiten und die daraus resultierenden Massnahmen aufschaukeln. Nur die Bauherrschaft kann mit der Übernahme der Verantwortung – das heisst, die erforderlichen Entscheide zu treffen – dafür sorgen, dass «alles einen möglichst guten Verlauf nimmt, das jeweils Notwendige und Richtige getan wird und möglichst kein Schaden entsteht». [1]

sary safety results from this assessment. It is obvious that the interplay between experience and limit value is a decisive factor in determining the necessary measures against natural hazards.

As things progress, it is up to the project author to integrate the findings and considerations of the geologists in the project to be created. In the process, the economic dependency and the necessary safety must be determined between what is technically feasible (operating phase) and what is organisationally possible (construction phase).

The geologists and the project author must not bear sole responsibility for this. The risk that the project will encounter difficulties with deadlines and financial difficulties due to this one-sided distribution of responsibility is not insignificant, because there is a danger that collateral securities and the resulting measures will build up. By taking responsibility – i.e., making the necessary decisions – only the project owner can ensure that “everything proceeds as well as possible, that what is necessary and correct is done and that preferably no damage occurs”. [1]

Literatur/References

[1] «Verantwortung» auf Duden online, <https://www.duden.de/rechtschreibung/Verantwortung>

PROJEKTDATEN

Region

Schweiz, Kantone Uri und Schwyz

Bauherr, Projekt- und Oberbauleitung

Kantone Uri und Schwyz, Tiefbauamt des Kantons Schwyz

Planung und Bauleitung

- INGE Axen, c/o Lombardi AG, Luzern
- INGE Axen Bauleitung, c/o Lombardi AG, Luzern

Ausführung

Hauptlose noch nicht vergeben

Kenndaten

Bauzeit: ca. 12 Jahre
 Inbetriebnahme: voraussichtlich 2033
 Baukosten Tunnel: 662 Mio. Schweizer Franken
 Gesamtlänge: 8763 m
 Ausbruchquerschnitt: Haupttunnel-Normalprofil bis 115 m²

Besondere Merkmale

Ein Grossteil der Baustellen liegt in Bereichen mit Massnahmen gegen Naturgefahren. Die Installations- und Bauplätze liegen direkt neben der Alten Axenstrasse, die weiterhin in Betrieb ist.

PROJECT DATA

Region

Switzerland, Cantons of Uri and Schwyz

Client, project management and senior site management

Cantons of Uri and Schwyz, Civil Engineering Authority of the Canton of Schwyz

Planning and site management

- INGE Axen, c/o Lombardi AG, Luzern
- INGE Axen Construction Management, c/o Lombardi AG, Luzern

Construction

Main lots not yet awarded

Key data

Construction period: approx. 12 years
 Start of operation: presumably 2033
 Tunnel construction costs: 662 million Swiss francs
 Total length: 8763 m
 Excavation cross-section: Main tunnel standard cross section up to 115 m²

Special Features

A majority of the construction sites lie in areas with measures against natural hazards. The installation and building sites lie directly next to Alte Axenstrasse, which remains in operation.

The Southernmost Lot of the Brenner Base Tunnel, the “Eisack River Crossing”

Alessandro Marottoli, Ingegnere civile, Project Manager e Responsabile del Procedimento in fase di esecuzione BBT-SE, Bolzano/IT.

Andrea Fossati, Ingegnere edile, Project Manager dell'Impresa esecutrice dei lavori Isarco S.c.a r.l. (Capogruppo Webuild Italia S.p.A.), Fortezza/IT.

Il lotto più a sud della galleria di base del Brennero, il “sottoattraversamento del fiume Isarco”

La galleria di base del Brennero è un'infrastruttura ferroviaria in costruzione, oggetto di un progetto di ingegneria civile congiunto italo-austriaco, che collegherà Fortezza a Innsbruck passando sotto il passo del Brennero. Il lotto di costruzione «Sottoattraversamento Isarco», parte estrema meridionale dell'intera infrastruttura, ha superato le notevoli difficoltà incontrate nei contesti geotecnici presenti, estremamente complessi, con l'impiego di tecnologie innovative, tra le quali il congelamento artificiale del terreno ed il preconsolidamento dei fronti di scavo mediante Quick Set Jet Grouting (QSJG) e Roto Injection Controlled Parameters (RICP).

The Southernmost Lot of the Brenner Base Tunnel, the “Eisack River Crossing”

The Brenner Base Tunnel is a railway infrastructure project which is currently undergoing construction, the subject of a joint Italian-Austrian civil engineering project, which will link the Italian village of Franzensfeste (“Fortezza” in Italian) to the Austrian city of Innsbruck by passing under the Brenner Pass. The construction lot “Eisack River Crossing”, the southernmost part of the whole infrastructure project, has overcome the significant difficulties tied up with the extremely complex geotechnical context by implementing innovative technologies, including artificial ground freezing and pre-consolidation of the excavation faces using Quick Set Jet Grouting (QSJG) and Roto Injection Controlled Parameters (RICP).

1 Introduzione

Il passo del Brennero rappresenta uno dei collegamenti più importanti tra il nord ed il sud dell'Europa. Con un'altitudine di 1.371 m s.l.m. è il valico più basso dell'intero arco alpino e per questo motivo è da sempre ritenuto strategico da un punto di vista economico e commerciale. Per far fronte al continuo aumento della quantità di merci trasportata vennero realizzate due grandi infrastrutture di trasporto: la ferrovia storica del Brennero, nella seconda metà del 1800, e, circa 100 anni più tardi, l'autostrada A22 del Brennero.

Dopo 150 anni dalla sua inaugurazione, l'attuale linea ferroviaria del Brennero continua a rivestire un ruolo di primaria importanza come asse di collegamento tra Italia e Austria, ma il suo percorso è molto tortuoso e acclive, con raggi di curvatura ridotti e tratte a pendenza del 26%. Questi due fattori limitano fortemente la velocità dei treni e i massimali di carico. Considerando il costo dei mezzi necessari alla movimentazione dei convogli, l'elevato consumo di

1 Introduction

The Brenner Pass is one of the most important links between northern and southern Europe. With an altitude of 1,371 MSL making it the lowest crossing point anywhere along the arc of the Alps, it has always been commercially and strategically important. In response to the continuous increase in the quantity of goods transported, two large transport infrastructure projects have been carried out: the Brenner historic railway, in the second half of the 1800s, and the Brenner A22 motorway around 100 years later.

150 years after it opened, the modern Brenner railway line is still a very important connection between Italy and Austria, but its course is very tortuous and steep, with sharp bends and a gradient of up to 26% in places. These two factors seriously limit speeds and maximum loads for trains passing along it. The large amount of work and electrical energy and the long travel times involved in using the railway have led to a preference for transport-

Il lotto più a sud della galleria di base del Brennero, il “sottoattraversamento del fiume Isarco”

Das südlichste Los des Brennerbasistunnels, die «Unterquerung des Eisacks»

Der Brennerbasistunnel wird bei Fertigstellung eine in der Welt einmalige Rekordlänge von 64 km erreichen und somit die längste unterirdische Eisenbahnverbindung der Welt werden. Er wird das zentrale Element des Skandinavien-Mittelmeer-Korridors sein, mit dem die natürliche Barriere der Alpen nahezu geradlinig durch einen Tunnel mit nur geringem Gefälle durchquert werden kann.

Le lot le plus au sud du tunnel de base du Brenner, le « Passage sous la rivière Isarco »

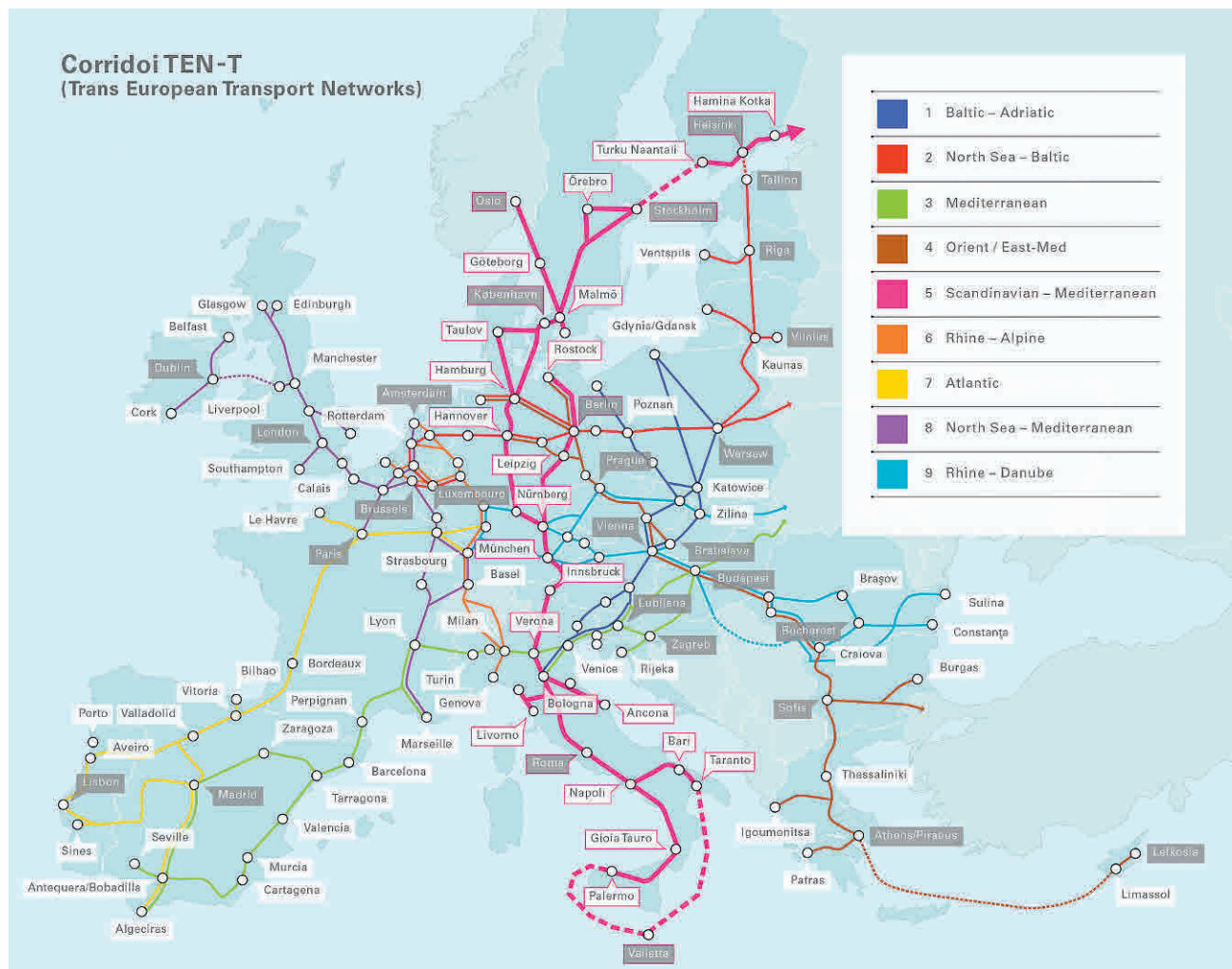
Avec une longueur totale de 64 km, le tunnel de base du Brenner sera la plus longue liaison ferroviaire souterraine du monde. Il sera également l'élément central du corridor Scandinavie-Méditerranée qui permettra de franchir la barrière naturelle des Alpes par des tunnels en pentes douces et quasiment rectilignes.

energia elettrica e i lunghi tempi di percorrenza, all'utilizzo dell'infrastruttura ferroviaria per il trasporto delle merci è stato preferito invece lo spostamento su gomma, con un conseguente aumento dell'impatto ambientale.

Nel 1994, nell'ottica di contrastare il crescente traffico pesante su strada in favore dell'infrastruttura ferroviaria, per so-

ing goods by road, with an associated increase in environmental impact.

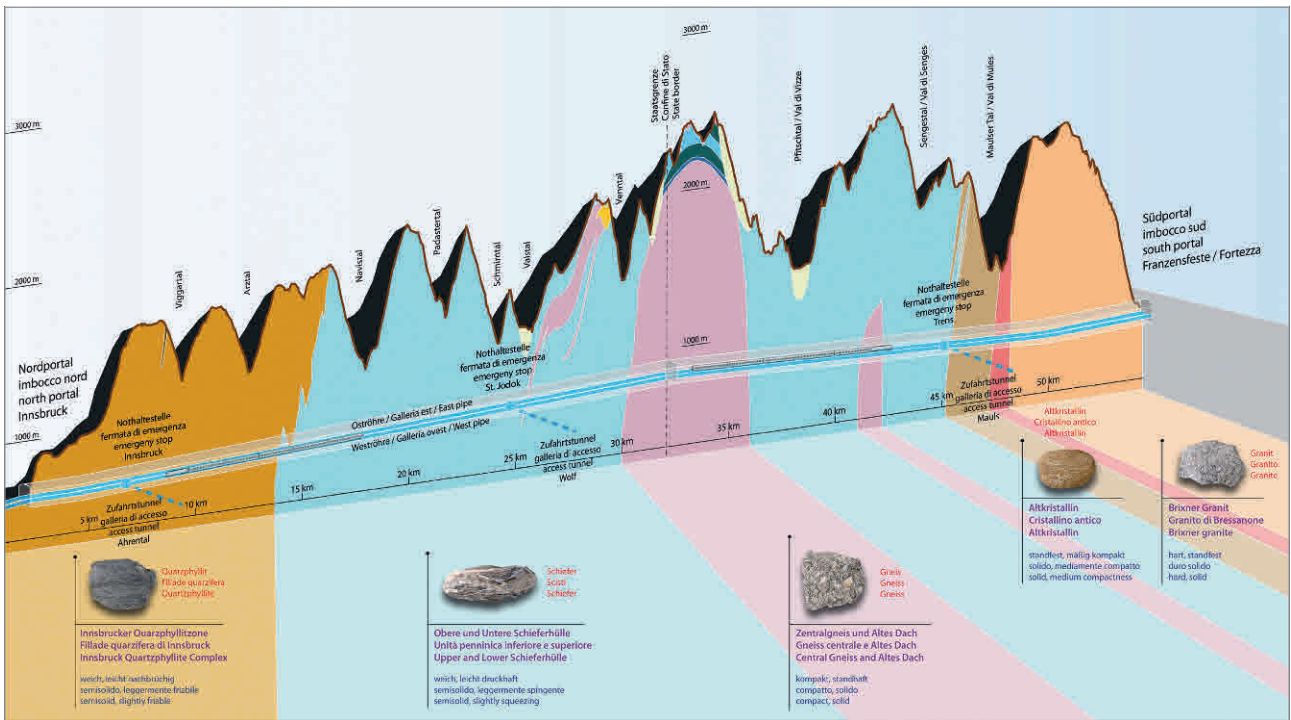
In 1994, with the aims of reducing increasingly heavy road traffic in favour of rail transport, supporting the single market, guaranteeing free circulation of goods and people, and bolstering the growth and competitiveness of the Union,



Credit: BBT-SE

1 Schema generale corridoi TEN-T
General scheme of TEN-T corridors

The Southernmost Lot of the Brenner Base Tunnel, the “Eisack River Crossing”



Credit: BBT-SE

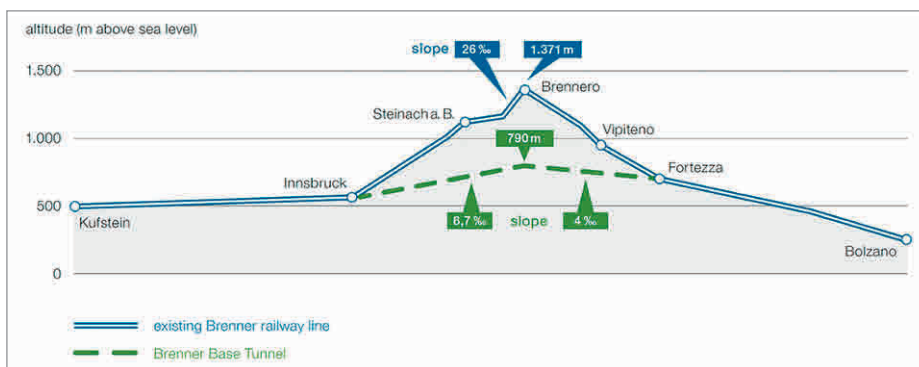
2 Profilo geologico schematico
Schematic geological profile of BBT

stenero il mercato unico, garantire la libera circolazione delle merci e delle persone e rafforzare la crescita e la competitività dell'unione, l'Unione europea ha promosso e sviluppato la rete di trasporto ferroviario TEN-T (Trans European Network-Transport, vedi Fig. 1). Sono stati definiti nove corridoi TEN-T, che toccano tutti i Paesi membri dell'Unione europea e che collegano i più importanti porti marittimi con l'infrastruttura ferroviaria e i relativi accessi alle arterie stradali.

Il corridoio scandinavo-mediterraneo costituisce un'infrastruttura di straordinaria importanza per lo sviluppo dell'economia sia italiana sia europea. Si trova sull'asse nord-sud e collegherà le città di Helsinki in Finlandia e La Valletta sull'isola di Malta, con una lunghezza complessiva di circa 7.500 km. La galleria di base del Brennero costituirà l'elemento centrale di tale corridoio e rappresenta il proget-

to EU promoted and developed the rail transport network TEN-T (Trans European Network-Transport, see Fig. 1). New TEN-T corridors have been defined, affecting all EU member states and linking the most important seaports with railway infrastructure and associated access points to arterial roads.

The Scandinavian-Mediterranean corridor represents extremely important infrastructure for both the Italian economy and the European economy as a whole. It is aligned along a North-South axis and will link the cities of Helsinki in Finland and La Valletta on Malta, with a total length of around 7,500 km. The Brenner Base Tunnel will be the central element of this corridor and its most important project, because it will make it possible to overcome the natural barrier formed by the Alps (Fig. 2). The Brenner Pass is the most important Italian pass in terms of transport volumes, and the existing railway line no longer satisfies contemporary demand. To reduce the excessive traffic of goods along the Brenner A22 motorway, it is essential to improve and expand railway infrastructure across the Brenner Pass by creating a new line with reduced gradients and no bends, which will in turn reduce travel time and allow train performance to improve in terms of both speeds and loads.



Credit: BBT-SE

3 Profilo altimetrico di confronto
BBT comparative altimetric profile

Il lotto più a sud della galleria di base del Brennero, il “sottoattraversamento del fiume Isarco”

to più importante, perché consente di superare la barriera naturale delle Alpi (Fig. 2). Il Brennero è il primo valico italiano in termini di volumi trasportati: l'esistente linea ferroviaria non è più adatta alle esigenze attuali di trasporto. Per ridurre l'eccessivo traffico merci che percorre giornalmente l'autostrada A22 del Brennero è infatti indispensabile potenziare ed ampliare l'infrastruttura ferroviaria attraverso la realizzazione di una nuova linea con pendenze minori e priva di curve, in modo da ridurre i tempi di percorrenza, permettendo così il potenziamento delle prestazioni dei treni in termini di velocità e peso.

La nuova galleria di base del Brennero collegherà il paese di Fortezza, a circa 50 km a nord di Bolzano, con la città di Innsbruck, in Austria. È definita «di base» proprio perché sarà realizzata alla base del valico del Brennero a una quota di 794 m s.l.m., con un percorso pressoché pianeggiante e rettilineo. Al suo completamento avrà una lunghezza di 55 km, rispetto ai 75 km della linea storica, con una pendenza massima del 7‰ circa (Fig. 3). Sul nuovo tracciato, i treni passeggeri potranno così viaggiare a una velocità massima di 250 km/h, riducendo i tempi di percorrenza dagli attuali 80 minuti a soli 25 minuti. Considerando che in prossimità di Innsbruck si raccorderà all'esistente circonvallazione della città austriaca, la galleria raggiungerà complessivamente una lunghezza di 64 km e avrà il primato di collegamento ferroviario sotterraneo più lungo del mondo.

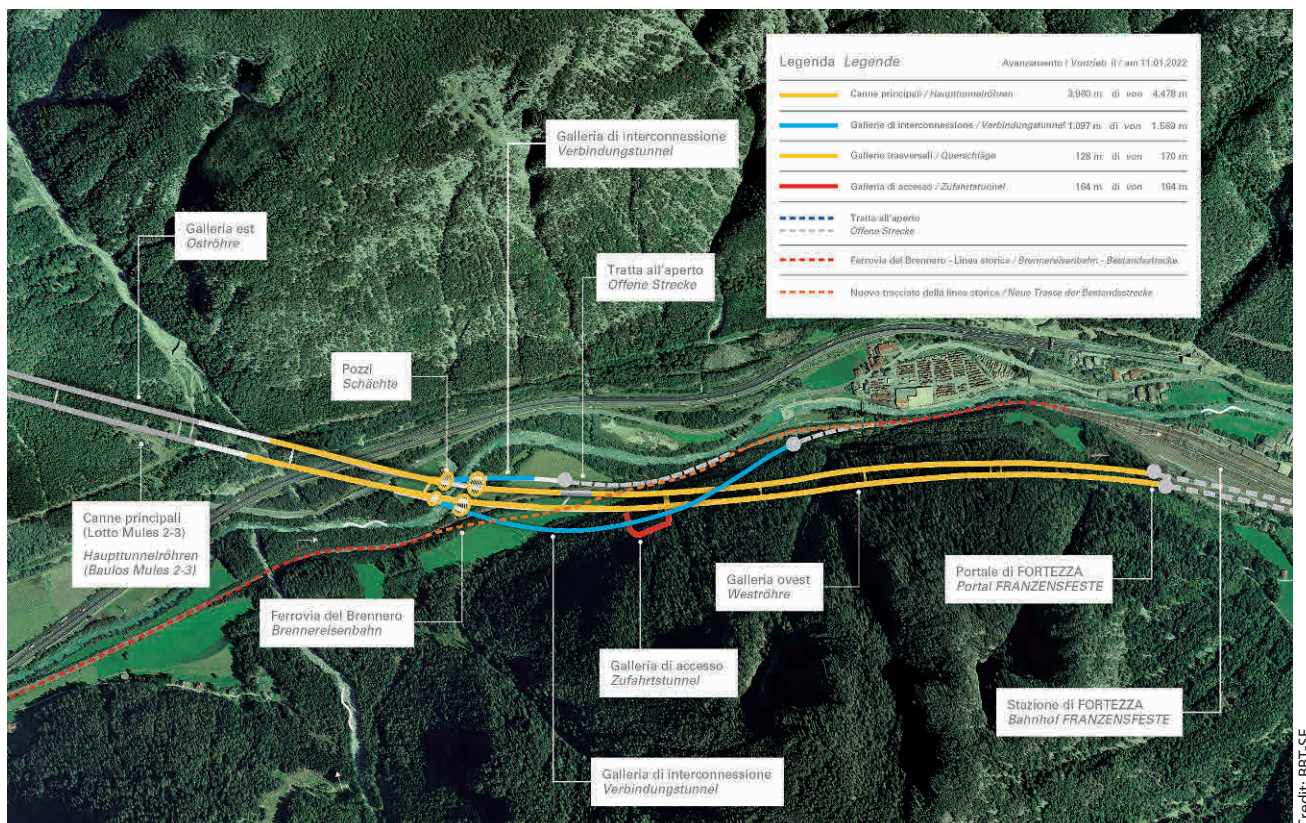
The new Brenner Base Tunnel will link the village of Franzensfeste, 50 km north of Bolzano, with the city of Innsbruck in Austria. It is called the “Base” Tunnel because it will traverse the Brenner Pass at its base, at an altitude of 794 MSL, its course almost level and straight. When complete, it will have a length of 55 km – 75 km less than the historic line – and a maximum gradient of around 7‰ (Fig. 3). This will allow passenger trains to travel at a maximum speed of 250 km/h on the new route, reducing travel time from 80 minutes to only 25 minutes. Including its links to Innsbruck's existing ring road, the tunnel will reach a total length of 64 km, making it the longest underground railway in the world.

2 The Project for the Lot “Eisack River Crossing”

The lot “Undercrossing of the River Eisack” will be the southernmost part of the Brenner Base Tunnel before it arrives at Franzensfeste station, and is located around 1 km north of the village of Franzensfeste, at Prà di Sopra (Bolzano).

The intervention is currently being implemented by the temporary grouping of contractors Webuild Italia S.p.A., Collini Lavori S.p.A., Consorzio Integra e Strabag S.p.A./AG.

The project area lies in a narrow valley floor only a few hundred metres wide, surrounded by steep rocky walls, with the Eisack River and the infrastructure for the A22 motorway, the



4 Planimetria lotto sottoattraversamento Isarco
Plan of the lot “Undercrossing of the Eisack”

The Southernmost Lot of the Brenner Base Tunnel, the “Eisack River Crossing”

2 Il progetto del lotto «Sottoattraversamento Isarco»

Il lotto «Sottoattraversamento del fiume Isarco» costituisce la parte estrema meridionale della galleria di base del Brennero prima dell'accesso nella stazione di Fortezza ed è ubicato a circa 1 km a nord del paese di Fortezza, in località Prà di Sopra (BZ).

L'intervento è in corso di realizzazione da parte del raggruppamento temporaneo di imprese Webuild Italia S.p.A., Collini Lavori S.p.A., Consorzio Integra e Strabag S.p.A./AG.

L'area di progetto ricade in uno stretto fondovalle, largo solo alcune centinaia di metri, racchiuso tra ripide pareti rocciose, in mezzo alle quali si snodano il fiume Isarco, le infrastrutture di trasporto dell'autostrada A22, della strada statale SS12 e della linea ferroviaria storica del Brennero.

Il progetto prevede la realizzazione delle opere civili di due canne principali, per un totale di circa 4,5 km, e di due gallerie di interconnessione, che si allacciano alla linea storica ferroviaria, per un totale di circa 1,7 km (Fig. 4).

Gli scavi delle gallerie sono realizzati interamente con la tecnica «tradizionale» con le seguenti metodologie di avanzamento/consolidamento (Fig. 5):

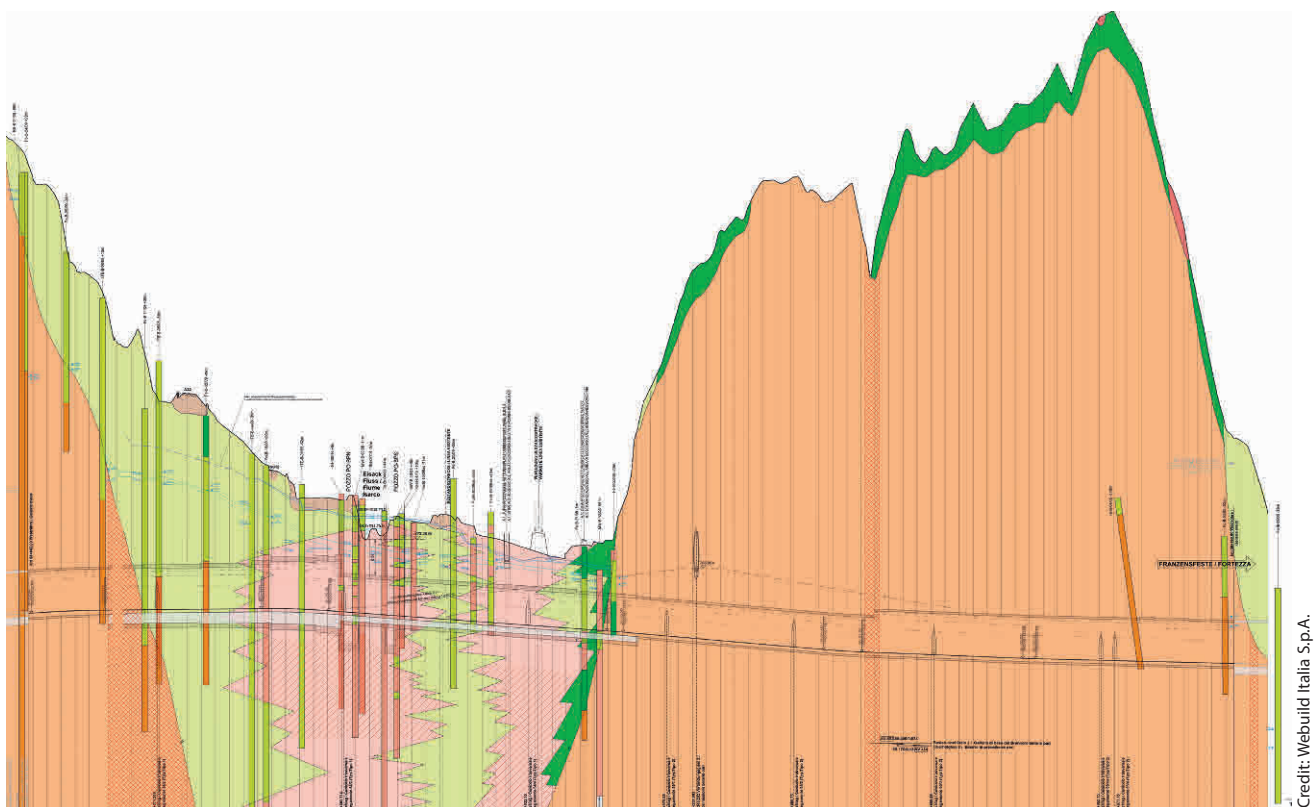
- Scavo con l'utilizzo di esplosivo (Drill & Blast) per le tratte nel substrato roccioso (graniti di Bressanone), classe di scavo A-B0-B0 V;

trunk road (“Strada Statale” in Italian) SS12, and the historic Brenner railway winding through the middle of it.

The project involves the execution of civil engineering works on two main tunnels totalling around 4.5 km in length, and two tunnels connecting to the historic railway line and totalling around 1.7 km (Fig. 4).

The tunnel excavations will be carried out entirely using the “traditional” tunnelling methods with the following progress and consolidation measures (Fig. 5):

- Excavation using explosives (drill and blast) for the sections with a rocky substrate (Brixen granite), excavation class A-B0-B0 V;
- Sub-horizontal pre-consolidation using Quick Set Jet Grouting (QSJG) for the sections in the loose valley floor deposits, excavation class C1;
- Sub-horizontal pre-consolidation using Quick Set Jet Grouting (QSJG) and Roto Injection Controlled Parameters (RICP) for the mixed dissolved deposits/alterated rocky substrate sections, excavation class C1trans;
- Sub-horizontal pre-consolidation using freezing for the sections below the River Eisack;
- Vertical pre-consolidation from ground level with columnar Jet Grouting bi-fluid treatments of a diameter of 2,000 mm for the sections in the loose valley floor deposits with low covers.



5 Profilo geologico lotto sottoattraversamento Isarco
Geological profile of the lot “Undercrossing of the Eisack”

Il lotto più a sud della galleria di base del Brennero, il “sottoattraversamento del fiume Isarco”



Credit: Webuild Italia S.p.A.

6 Pozzi di accesso per il sottoattraversamento del fiume
Access shafts for the undercrossing of the river

- Preconsolidamento sub orizzontale in avanzamento mediante Quick Set Jet Grouting (QSJG) per le tratte nei depositi sciolti di fondo valle, classe di scavo C1;
- Preconsolidamento sub orizzontale in avanzamento mediante Quick Set Jet Grouting (QSJG) e Roto Injection Controlled Parameters (RICP) per le tratte a fronte misto di depositi sciolti/substrato roccioso alterato, classe di scavo C1trans;

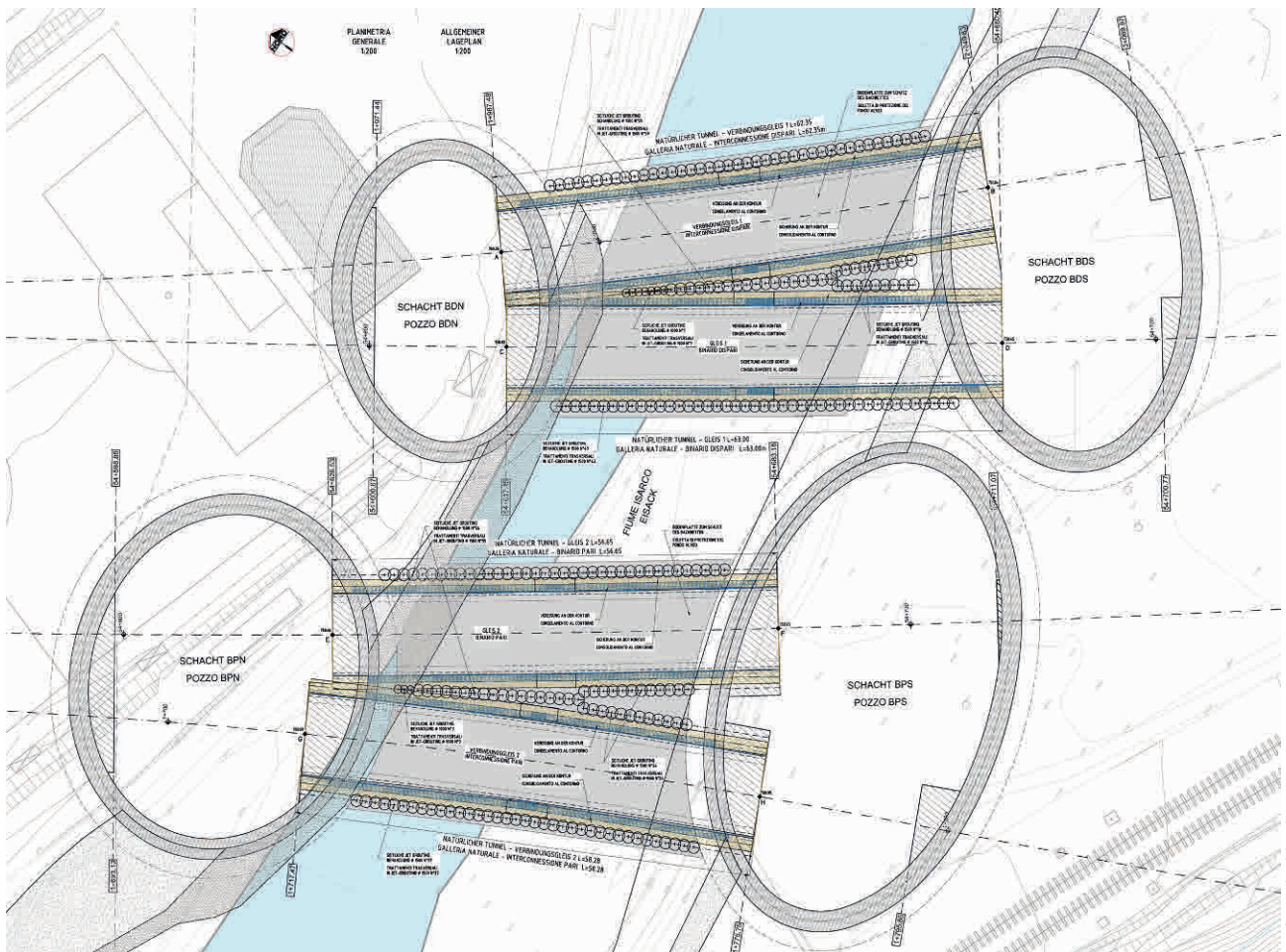
The upcoming sections describe in detail the most innovative and important ground improvement treatments used, namely Freezing, QSJG, and RICP.

2.1 Artificial Ground Freezing Technology

The crucial juncture of the whole intervention is the undercrossing of the River Eisack, achieved using four natural tunnels excavated with unshielded tunnels starting with four deep shafts around 30 m (Fig. 6 and 7): two on the right bank and two on the left bank of the River Eisack. The excavations are preceded by pre-consolidation interventions, combined with ground freezing technology (Fig. 8):

- Pre-consolidation to achieve a reduction in subterranean flow rate and to facilitate the freezing phase, by reducing ground permeability. This result was obtained by creating 60 injection shafts, equipped with “manchette” valves, for each individual portal, which were used to inject concrete into the ground.
- Freezing can form an ice shell with a thickness of 1.0 m and an isotherm of -10°C .

Ground freezing is an eco-friendly technology which uses fluid coolant particles carried around inside suitable pipes to directly



Credit: Webuild Italia S.p.A.

7 Planimetria sottoattraversamento del fiume
Plan of undercrossing of the river

The Southernmost Lot of the Brenner Base Tunnel, the “Eisack River Crossing”

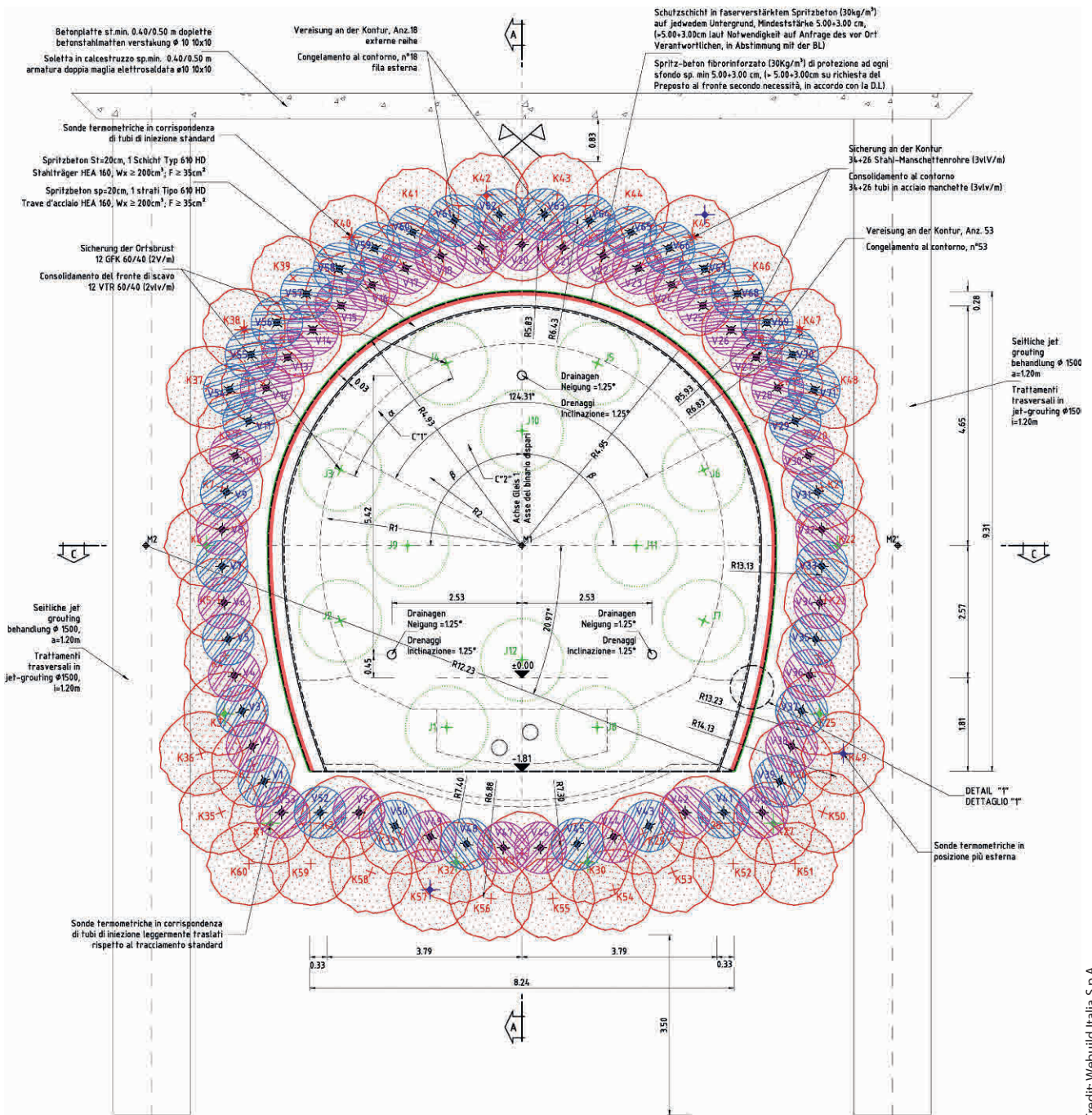
- Preconsolidamento sub orizzontale in avanzamento mediante congelamento per le tratte sotto il fiume Isarco;
- Preconsolidamento verticale da Piano campagna con trattamenti colonnari Jet Grouting bi-fluido di diametro 2.000 mm per le tratte nei depositi sciolti di fondo valle a basse coperture.

Nei capitoli seguenti saranno descritti in dettaglio i trattamenti di miglioramento dei terreni più significativi e innovativi utilizzati, ossia il congelamento, il QSJG e il RICP.

freeze existing groundwater, without any product being injected into and spreading through the ground and/or the aquifer.

This technology has made it possible to avoid the complexity of temporarily redirecting the River Eisack, and has guaranteed that the four tunnels under the river will remain fully watertight and impermeable during the excavation phases.

The project of artificially freezing the ground has two distinct phases:



8 Sezione di consolidamento del sottoattraversamento
Section of consolidation of the undercrossing

Credit: Webuild Italia S.p.A.

Il lotto più a sud della galleria di base del Brennero, il “sottoattraversamento del fiume Isarco”



Credit: Webuild Italia S.p.A.

9 Predisposizione del portale per il congelamento
Predisposition of the portal for freezing

2.1 Tecnologia del congelamento artificiale dei terreni

Lo snodo cruciale di tutto l'intervento è il sottoattraversamento del fiume Isarco, realizzato con quattro gallerie naturali scavate a piena sezione a partire da quattro pozzi profondi circa 30 m (Fig. 6 e 7): due in sponda destra e due in sponda sinistra del fiume Isarco. Gli scavi sono preceduti da interventi di preconsolidamento, abbinati alla tecnologia del congelamento dei terreni (Fig. 8):

- Preconsolidamento per ottenere una riduzione della velocità del flusso sotterraneo e agevolare la fase di congelamento andando ad agire sulla permeabilità del terreno. Tale risultato è stato ottenuto realizzando 60 canne di iniezione per ogni singolo portale, dotate di valvole a «manchette», attraverso le quali sono state eseguite le iniezioni cementizie nel terreno.
- Congelamento atto alla formazione di un guscio di ghiaccio dello spessore di un 1,0 m con una isoterma pari a -10°C.

Il congelamento dei terreni è una tecnologia eco-compatibile che, mediante l'utilizzo di particolari fluidi refrigeranti, fatti circolare all'interno di idonee tubazioni, congela direttamente l'acqua già presente nel terreno, senza che nessun tipo di prodotto venga iniettato e disperso nel terreno e/o nella falda acquifera.

Grazie a questa tecnologia è stato evitato il complesso spostamento temporaneo del fiume Isarco ed è stata garantita la tenuta idraulica e la completa impermeabilità durante le fasi di scavo delle quattro gallerie sotto il fiume.

1. The freezing phase, where heat is removed from the ground to create a portion of frozen ground with the geometric characteristics and temperature envisaged in the design;
2. The maintenance phase, during which heat continues to be extracted from the ground to maintain the ice shell formed in the freezing phase (Phase 1) without significantly increasing its dimensions, which in turn facilitates the subsequent excavation phase.

During the freezing phase (Phase 1), also called the “open cycle” phase, liquid nitrogen (N₂) is used as a coolant. The liquid nitrogen is stored inside four double-walled silos with a total storage capacity of 200,000 litres. The liquid nitrogen is compressed at a temperature of 196°C and channelled from the silos to the entrance portals to the tunnels in suitable insulated pipes.

So, the coolant is made to circulate towards distribution portals (Fig. 9) positioned outside the profile of the future tunnel, in coaxial pipes made of stainless steel, called “freezing probes”, with a diameter of 76 mm (external) and 42 mm (internal) connected at the head end by a particular distribution head or “freezing head” (Fig. 10). This particular duplex head, optimised and tested on a large scale in this work by Webuild group technicians, made it possible to enormously reduce the time and unforeseen events during the switch from liquid nitrogen to brine.

The liquid was first made to circulate through the internal stainless-steel pipe and then, after the expansion and gasification phase, to flow back towards the gap in the two coaxial stainless-steel pipes as far as the “freezing head”. The exhaust gas is therefore channelled into the atmosphere via suitable exhausts located at the top of the shafts.

Prior to the installation of the stainless-steel pipes, sub-horizontal perforation holes will be drilled along the circumference of the future tunnel from the inside of the shaft using special drilling tools that have been specially developed and designed for crossing the Eisack River. Steel pipes with a diameter of 114 mm are then placed within the perforation holes equipped with a tip to lose, which has the property of impeding the entrance of groundwater into the pipe itself.



Credit: Webuild Italia S.p.A.

10 Impianto per le sonde congelatrici
Implant for the freezing probes

The Southernmost Lot of the Brenner Base Tunnel, the “Eisack River Crossing”

Il progetto di congelamento artificiale del terreno prevede due fasi distinte:

1. Fase di congelamento, durante la quale, sottraendo calore al terreno, si ottiene la formazione di una porzione di terreno congelato, con le caratteristiche geometriche e le temperature previste dal progetto;
2. Fase di mantenimento, durante la quale si continua a sottrarre calore dal terreno con lo scopo di mantenere il guscio di ghiaccio formatosi nella fase di congelamento (fase 1) senza aumentarne significativamente le dimensioni, per permettere le successive fasi di scavo.

Durante la fase di congelamento (fase 1), denominata anche «a ciclo aperto», è stato impiegato come mezzo refrigerante l'azoto liquido (N₂). Questo è stato stoccato all'interno di quattro silos a doppia parete con un quantitativo di stoccaggio complessivo di 200.000 litri. L'azoto liquido compresso ad una temperatura di -196 °C, viene convogliato dai silos verso i due portali in ingresso alle gallerie all'interno di apposite tubazioni coibentate.

Il liquido refrigerante viene fatto quindi circolare, attraverso portali di distribuzione (Fig. 9) posizionati esternamente alla sagoma della futura galleria da scavare, entro tubi coassiali in acciaio inox, denominati «sonde congelatrici», del diametro pari a 76 mm (tubo esterno) e 42 mm (tubo interno) collegati in testa da una particolare testina di distribuzione o «freezing head» (Fig. 10). Questa particolare testina duplex, ottimizzata e testata su larga scala in questo lavoro dai tecnici del gruppo Webuild, ha permesso di contenere in modo enorme i tempi e gli imprevisti durante il passaggio («switch») da azoto liquido a salamoia.

Il liquido è stato fatto circolare dapprima attraverso il tubo inox interno e, successivamente, dopo la fase di espansione e gassificazione, fatto refluire attraverso l'intercapedine dei due tubi inox coassiali fino alla «freezing head». Il gas ormai esausto viene quindi convogliato in atmosfera attraverso idonei camini di scarico posti in sommità dei pozzi.

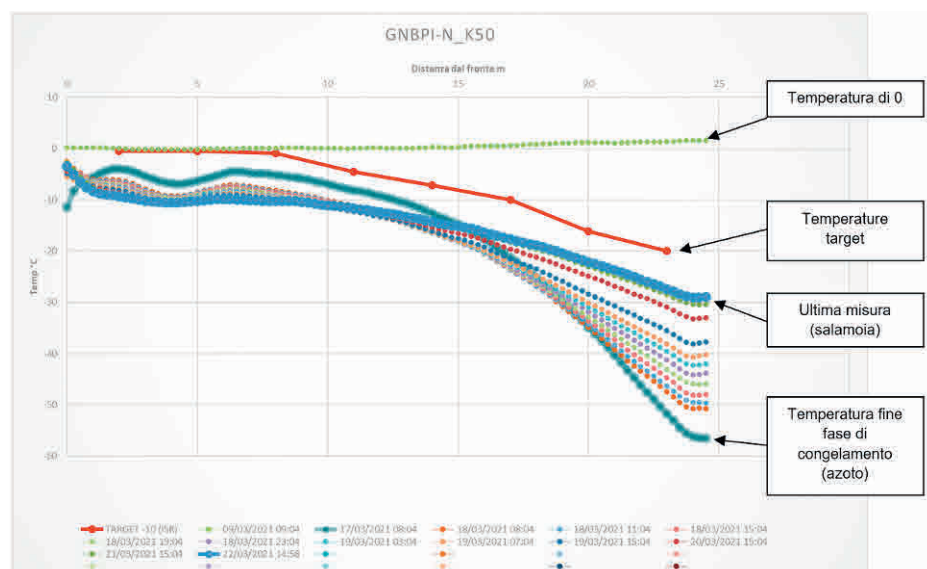
Preliminarmente all'installazione dei tubi in acciaio inox, con l'utilizzo di attrezzature di perforazione specificatamente studiate e progettate per le attività del sottoattraversamento del fiume Isarco, vengono eseguite dall'interno dei pozzi delle perforazioni sub orizzontali e perimetrali rispetto al futuro tunnel, entro le quali, contestualmente alla fase di perforazione, vengono posati tubi in

These pipes also protect the freezing probes during the subsequent excavation phases.

The position of the freezing probes and therefore the corresponding probe holder pipes (114 mm) are constantly monitored using an inclinometer (the Reflex Gyro), which uses gyroscopes and accelerometers to show and reconstruct in 3D the geometry of each individual probe with an azimuthal tolerance of 1 %, to ensure planning and design parameters are fully met and to allow for a more even distribution of the ice wall. The direction of each perforation hole is tracked with a specially developed and thoroughly tested system called FAS (Fast Aiming System) equipped with topographic total stations and reflective prisms that accurately reproduce the drilling data on control panels to provide the operator at any time of the drilling phase with the exact position of the drill holes and to allow the operator to position the drill pipe accordingly for an exact result.

The freeze body development is constantly monitored in terms of volume from both a spatial and temporal point of view by the constant display of temperatures registered by fibre optic cables, installed within appropriate thermometric probes (16 probes for each portal) placed on the external perimeter of the frozen shell (Fig. 11). These are placed within the holes previously used for the ground pre-consolidation phase with concrete mixtures, and make it possible to register variations in temperature every 25 cm along the course of the probe itself.

To reach the temperature values pre-fixed in the planning phase, defined as “temperature targets” (evaluated with an isotherm of -10 °C for the purpose of respecting the design requirement for the ice shell to be 1.0 m thick), and in parallel with the good result of the drainage tests to verify the



11 Esempio di andamento delle temperature nelle diverse fasi di congelamento
Example of progression of temperatures in the different phases of freezing

Credit: Webuild Italia S.p.A.

Il lotto più a sud della galleria di base del Brennero, il “sottoattraversamento del fiume Isarco”



Credit: Webuild Italia S.p.A.

12 Scavo del terreno congelato
Excavation of the frozen ground

acciaio del diametro di 114 mm, dotati di una punta a perdere, che ha la caratteristica di impedire l'ingresso dell'acqua di falda all'interno del tubo stesso. Tali tubi hanno anche la funzione di protezione delle sonde congelatrici durante le successive fasi di scavo.

La posizione delle sonde congelatrici e quindi dei corrispettivi tubi porta sonda (114 mm), al fine di rispettare gli interessi progettuali e consentire una distribuzione quanto più uniforme del muro di ghiaccio, è stata costantemente misurata con un particolare inclinometro (Gyro by Reflex Instruments), che attraverso giroscopi e accelerometri consente di rilevare e ricostruire tridimensionalmente la geometria di ogni singola sonda con una tolleranza azimutale dell'1%. Per il tracciamento e la direzionalità delle singole perforazioni è stato impiegato un sistema denominato FAS (Fast Aiming System), appositamente studiato e testato, dotato di stazioni topografiche totali e prismi riflettenti con cui, attraverso appositi tablet di controllo, l'operatore è stato guidato nelle varie fasi di posizionamento ed inizio perforazione.

Il monitoraggio dell'evoluzione del muro di ghiaccio è stato tenuto costantemente sotto controllo, sia da un punto di vista spaziale sia temporale, tramite la rilevazione in continuo delle temperature registrate da cavi in fibra ottica, installati entro apposite sonde termometriche (16 sonde per ogni portale) poste sul perimetro esterno del guscio congelato

planning requirement of impermeability, the brine maintenance phase (Phase 2) is started.

To start the maintenance face, we proceed to the switch, or to the change from an open system with liquid nitrogen to a closed system with brine circulation.

The brine is an aqueous solution of calcium chloride with a freezing point between -40°C and -50°C , which is made to circulate within a closed circuit using a delivery pump by a refrigeration system, consisting of 3 chillers of 240 kW each, one of them a backup, and sent within the same freezing probes already deployed in the liquid nitrogen freezing phase at a temperature of between -30°C and -35°C . The brine removes heat from the ground in the process of warming up and returns to the refrigeration system, where it is cooled again and re-introduced into the circuit.

Keeping the brine maintenance phase active, after it has been verified that the design requirements have been achieved, we proceed to start the excavation phase. The excavation is carried out with the traditional method, using hydraulic breakers mounted on crawler excavators with an average advance rate of 2.7 m/day (Fig. 12).

Once the excavation phase itself – during which temperature progression continues to be constantly monitored –

The Southernmost Lot of the Brenner Base Tunnel, the “Eisack River Crossing”

(Fig. 11). Queste sono state disposte entro i fori precedentemente utilizzati per la fase di preconsolidamento del terreno con miscele cementizie e hanno consentito di registrare variazioni di temperature ogni 25 cm lungo lo sviluppo della sonda stessa.

Al raggiungimento dei valori di temperature progettuali prefissati, definiti «temperature target» (valutate con una isoterma di -10°C al fine di rispettare il requisito progettuale di spessore del guscio di ghiaccio pari a 1,0 m), e in parallelo al buon esito delle prove di drenaggio per la verifica del requisito progettuale di impermeabilità, è stata avviata la fase di mantenimento a salamoia (fase 2).

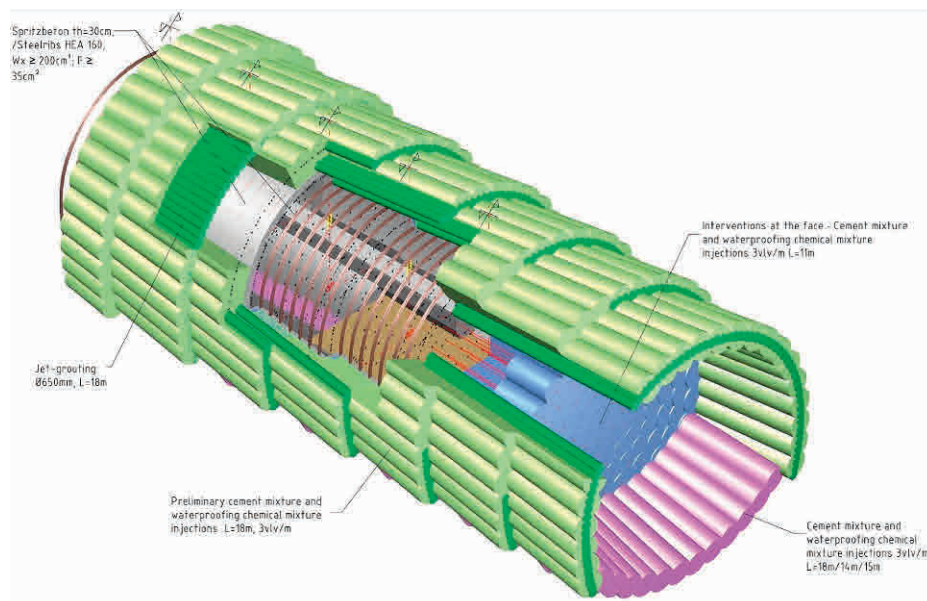
Per avviare la fase del mantenimento si è proceduto allo «switch», ovvero al passaggio dal sistema di tipo aperto con azoto liquido a quello di tipo chiuso con circolazione di salamoia.

La salamoia è una soluzione acquosa di cloruro di calcio con un punto di congelamento compreso tra -40°C e -50°C , che viene fatta circolare all'interno di un circuito chiuso mediante pompe di invio da un impianto frigorifero, costituito da 3 refrigeratori («chillers») da 240 kW cadauno, di cui uno di backup, ed inviata all'interno delle stesse sonde congelatrici già impiegate nella fase di congelamento ad azoto liquido a una temperatura compresa tra i -30°C e -35°C . La salamoia sottrae calore al terreno riscaldandosi e ritorna all'impianto frigorifero, dove viene raffreddata nuovamente e reimpressa nel circuito.

Mantenendo attiva la fase di mantenimento a salamoia, dopo la verifica del raggiungimento dei requisiti progettuali, si è proceduto all'avvio delle fasi di scavo. Lo scavo è stato eseguito con il metodo tradizionale, mediante l'impiego di demolitori idraulici montati su escavatori cingolati con una velocità media di avanzamento pari a 2,7 m/giorno (Fig. 12).

Terminata la fase propriamente di scavo, nella quale si è continuato a monitorare costantemente l'evoluzione delle temperature, si è proceduto alla realizzazione degli archi rovesci e successivamente al completamento della galleria, con l'esecuzione dei rivestimenti definitivi di calotta.

Con il congelamento sono state modificate temporaneamente le caratteristiche del terreno, sia dal punto di vista



13 Schema 3D dei consolidamenti per la classe di scavo C1
3D scheme of the consolidations for excavation class C1

has been completed, we proceeded to execute the tunnel inverts and subsequently the completion of the tunnel, by executing the final shell lining.

The freezing simultaneously modified the characteristics of the ground, both in terms of impermeability and in terms of mechanical characteristics, which are both significantly improved, allowing the safe excavation and development of the tunnels underneath the riverbed.

2.2 Quick Set Jet Grouting (QSJG) Technology

The new method called “Quick Set Jet Grouting” (hereinafter referred to as QSJG), a variation of the detailed design approved for the tunnel sections north of the Eisack River excavated in the quaternary dissolved deposits, was proposed with the primary purpose of optimising the (sub-horizontal) pre-consolidation interventions to be carried out in progress, under significant water pressure between 10 m and 30 m relative to the cap key, and making them more efficient. Indeed, the excavation is carried out under hydrostatic equilibrium, that is to say, without draining the layer, with a “by the glass” pre-consolidation system, which guarantees the creation of water-impermeable excavation compartments (Fig. 13).

The original design specified that injections of concrete mixtures and preliminary chemicals would be carried out, with the purpose of reducing the permeability of the ground, to allow the subsequent pre-consolidation phase to be carried out using sub-horizontal Jet Grouting mono-fluid interventions with a diameter of 650 mm.

The QSJG technology, on the other hand, thanks to the use of particular channelled set accelerators in the jet injection

Il lotto più a sud della galleria di base del Brennero, il “sottoattraversamento del fiume Isarco”

dell'impermeabilità sia da un punto di vista delle caratteristiche meccaniche, che risultano entrambe migliorate significativamente, permettendo in sicurezza lo scavo e la realizzazione delle gallerie sottofalda e al di sotto del letto del fiume.

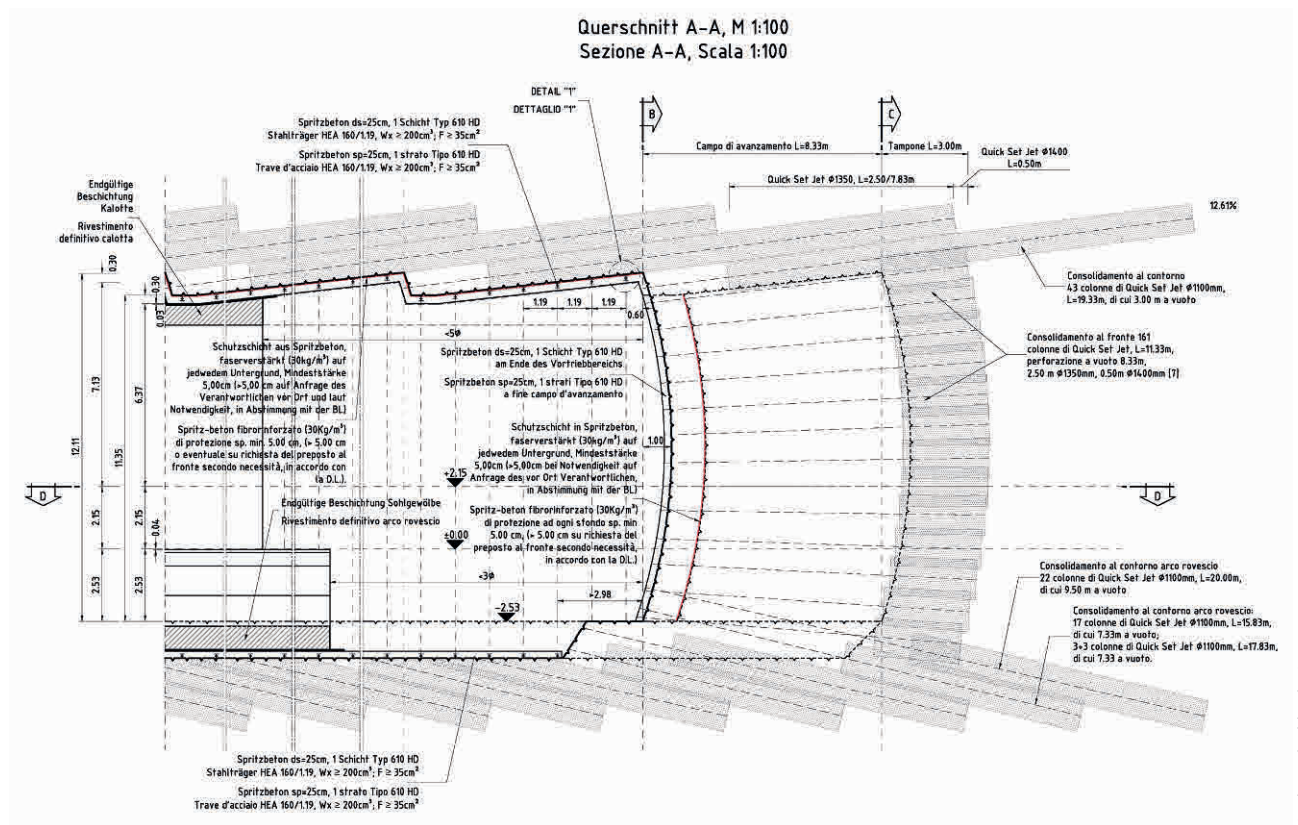
2.2 Tecnologia del Quick Set Jet Grouting (QSJG)

La nuova metodologia denominata «Quick Set Jet Grouting» (di seguito indicata QSJG), in variante rispetto al progetto esecutivo approvato per le tratte delle gallerie a nord del fiume Isarco scavate nei depositi sciolti quaternari, è stata proposta con lo scopo primario di ottimizzare e rendere più efficienti gli interventi di preconsolidamento da realizzarsi in avanzamento (sub orizzontali), sotto un battente idrico significativo, compreso tra 10 e 30 m rispetto alla chiave di calotta. Lo scavo infatti avviene in condizioni di idrostatico, ossia senza il drenaggio della falda, con un sistema di preconsolidamento «a bicchiere», che garantisce la creazione di compartimenti di scavo a tenuta idraulica (Fig. 13).

Il progetto originario prevedeva la realizzazione di iniezioni di miscele cementizie e chimiche preliminari, con lo scopo di ridurre la permeabilità del terreno per consentire la realizzazione della successiva fase di preconsolidamento mediante interventi di Jet Grouting monofluido sub orizzontali di diametro 650 mm.

phase using independent circuits within the drill pipe, which allowed the concrete mixture and the accelerator to mix only downstream of the injection nozzle, made it possible to carry out columnar jet grouting treatments even in the presence of significant hydraulic pressures, without the preliminary impermeability injection. The use of a specific hydraulic preventer also prevented the column from emptying, contrasting the elevated hydraulic pressures in play, and also allowed particular end caps for the consolidated column to be put into operation at the mouth of the hole. Ultimately, by using appropriate injection parameters, it was possible to carry out columnar treatments with a diameter of up to 1,400 mm, greater than those achieved with the traditional method (Fig. 14 e 15). The use of the QSJG technology described above was applied for the first time for the consolidation of tunnels under working progress, during the excavation. The use of the technology in such complex geotechnical contexts and the industrialisation of the technology (for each consolidation around 300 treatments are carried out in around 15 days), led to the planning and application of specific tools and technological tricks exclusively for such interventions by Webuild group technicians.

The use of this innovative technology (QSJG) was preceded by a field test carried out directly on the excavation face of the tunnel, where it was verified that the expected diameters had been achieved using coring, and it was verified that the



14 Profilo classe di scavo C1 con QSJ
Profile of excavation class C1 with QSJ

Il lotto più a sud della galleria di base del Brennero, il “sottoattraversamento del fiume Isarco”

(Fig. 14 e 15). L'uso della tecnologia QSJG sopra descritta è stata per la prima volta applicata per il consolidamento di gallerie in avanzamento e con scavo sottofalda. L'uso in contesti geotecnici così complessi e l'industrializzazione della tecnologia (per ogni consolidamento vengono eseguiti circa 300 trattamenti in circa 15 giorni) ha portato alla progettazione e applicazione, da parte dei tecnici del gruppo Webuild, di specifiche attrezzature e accorgimenti tecnologici esclusivi per tali interventi.

L'impiego di tale tecnologia innovativa (QSJG) è stato preceduto da un campo prova eseguito direttamente sul fronte di scavo della galleria, dove sono stati verificati il raggiungimento dei diametri attesi mediante carotaggi e il raggiungimento del requisito di impermeabilità mediante prove di permeabilità e di portata in foro.

Tale tecnologia è stata impiegata con successo per 175 m circa lungo la Galleria Pari (GNBPN) e 100 m per la Galleria Dispari (GNBDN) (Fig. 16).

2.3 Tecnologia del Roto Injection Controlled Parameters (RICP)

Il passaggio tra il detrito e il substrato roccioso prevede inevitabilmente lo scavo di fronti misti, ossia occupati parzialmente da detrito e parzialmente da roccia mediante fratturata e alterata (il cosiddetto «cappellaccio»). Il progetto esecutivo prevedeva per tali tratte l'impiego della classe di scavo denominata C1trans, con interventi differenziati in funzione del terreno, ovvero iniezioni e Jet Grouting (C1) per il settore in detrito ed elementi strutturali in VTR iniettati per il settore in roccia alterata e fratturata.

Dopo aver verificato il successo del QSJG proposto in variante, è stata elaborata una modifica tecnica anche per la classe C1trans, proponendo gli interventi QSJG nel settore in detrito e gli interventi denominati Roto Injection Controlled Parameters (di seguito denominati RICP) per il settore di roccia alterata e fratturata (Fig. 17 e 18). Tale tecnologia è stata totalmente studiata e testata dal Gruppo Webuild e applicata per la prima volta in contesti geologici critici quali quelli in precedenza descritti.

La tecnologia del RICP è in parte conseguenza dell'esperienza positiva del Quick Set Jet Grouting, utilizzato nel tratto di galleria completamente in detrito; grazie all'impiego di particolari acceleranti di presa in fase di jet-iniezione, di uno speciale preventer oleodinamico e di parametri di iniezione studiati e testati appositamente per la particolare tipologia di roccia fratturata/alterata incontrata, l'uso del RICP ha consentito la realizzazione di trattamenti di iniezione in questa porzione di roccia fratturata presente al contatto con la porzione in detrito.

La tecnica, rispetto alla tecnologia QSJG, consiste nell'iniezione di una miscela più permeante e con energia ridotta, utilizzando, in parte, la stessa attrezzatura studiata

section and structural elements in fibreglass (VTR) for the altered and fractured rock section.

Having verified the success of the QSJG proposal, a technical modification was also elaborated for the class C1trans, proposing the QSJG interventions in the debris section and the interventions called Roto Injection Controlled Parameters (hereinafter referred to as RICP) for the altered and fractured rock section (Fig. 17 e 18). This technology was fully investigated and tested by Webuild Group and applied for the first time in critical geological contexts like those described above.

RICP technology is in part a consequence of the positive experience of Quick Set Jet Grouting, used in the tunnel section which is completely debris; thanks to the use of particular set accelerators in the jet injection phase, of a special hydraulic preventer and of injection parameters which have been appropriately studied and tested for the particular type of fractured/alterated rock encountered, the use of RICP has made it possible to carry out injection treatments in this portion of fractured rock where it comes into contact with the debris portion.

The technique, in comparison to QSJG, consists in injecting a more permanent mixture with reduced energy, partially using the same equipment studied for the implementation of QSJG. The objective was to concrete the debris until the fractures in the rocky mass were filled and its discontinuities were intercepted and put in communication with the hole, for a section sufficient to impede the flow of water in the mass around the excavation, interrupting the communication between the various fractures and discontinuities, and guaranteeing the requirement of impermeability of the rocky septum required in the design (Fig. 19).

The fracture which faces the hole, during the injection phase, is in the first phase directly affected by the jet of mixture which comes out of the nozzle; in the second phase, the hole



16 Fronte di scavo classe di scavo C1 con QSJ
Excavation front for excavation class C1 with QSJ

Credit: Webuild Italia S.p.A.

The Southernmost Lot of the Brenner Base Tunnel, the “Eisack River Crossing”

per la realizzazione del QSJG. Lo scopo è stato quello di cementare il detrito fine che riempie le fratture e le discontinuità dell'ammasso roccioso intercettate e messe in comunicazione con il foro, per un tratto sufficiente a impedire il fluire dell'acqua nell'ammasso attorno allo scavo, interrompendo la comunicazione tra le varie fratture e discontinuità e garantendo il requisito di impermeabilità del setto roccioso richiesto in progetto (Fig. 19).

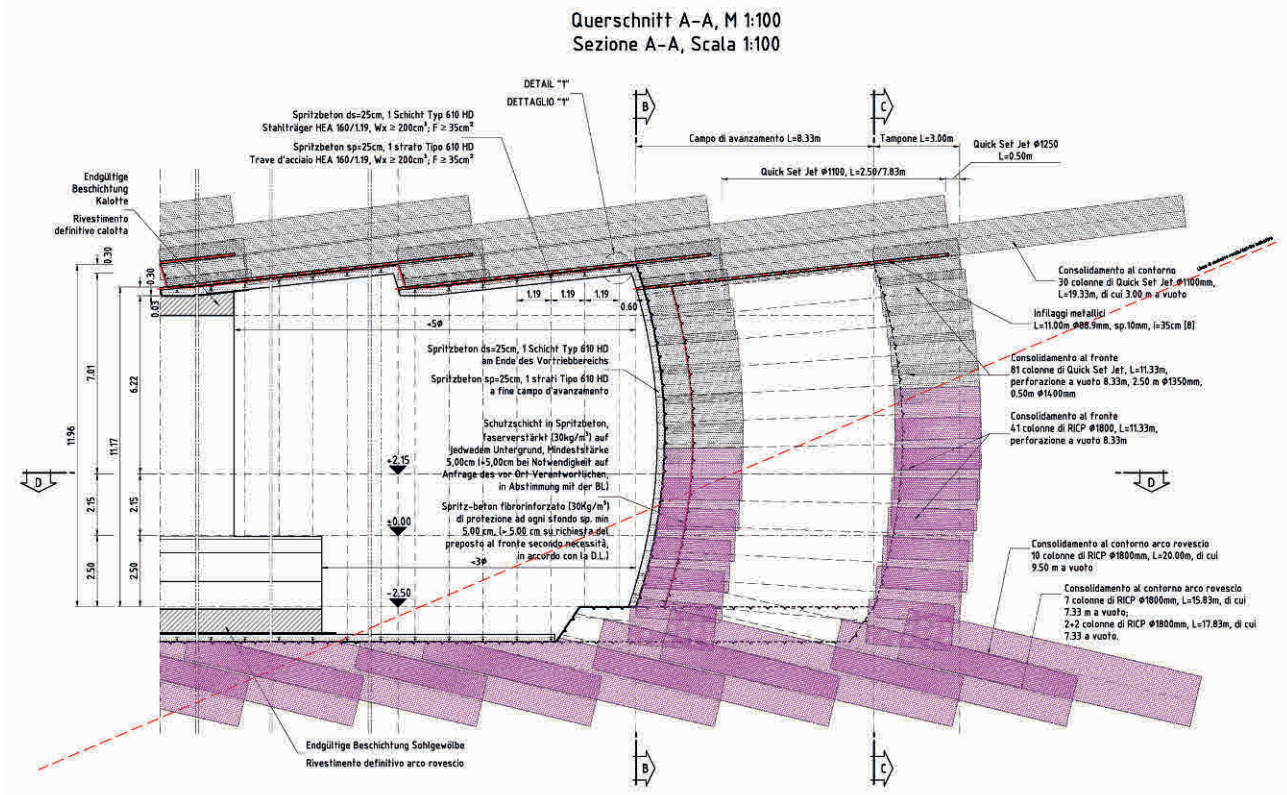
La frattura che si affaccia al foro, durante le fasi di iniezione, viene in prima fase interessata direttamente dal getto di miscela che fuoriesce dall'ugello; in seconda fase, il foro stesso, precisamente la parte posta anteriormente al monitor di iniezione, avendo la funzione di un accumulatore di energia, consente al sistema di mantenersi in pressione (pressione residua del jet) per tutta la durata dell'iniezione del tratto in roccia, facendo penetrare nelle fratture la particolare miscela impiegata.

Lo spostamento dell'ugello lungo il foro, in estrazione, avviene lentamente a velocità costante e non per step. Il singolo trattamento di iniezione con tecnica RICP ha un raggio di influenza di circa 90 cm, paragonabile a un trattamento eseguito con iniezione tradizionale per valvole, corrispondente a un'area di influenza del singolo trattamento, misurata sulla sezione ortogonale, pari a circa 2,5 m². Infine, un'ulteriore caratteristica della soluzione tecnica adottata è stata la possibilità di realizzare in fasi distinte ma continue e, soprattutto,

itself, precisely the part located anteriorly to the injection monitor, having the function of an accumulator of energy, allows the system to maintain itself under pressure (residual pressure of the jets) for the whole duration of the injection of the rocky section, causing the particular mixture used to penetrate into the fractures.

During extraction, the nozzle is moved slowly along the hole, at a constant velocity and not in steps. The single injection treatment with the RICP technique has a radius of influence of around 90 cm, comparable to a treatment carried out with traditional injection with valves, corresponding to an area of influence of the single treatment, measured on the orthogonal section, equal to 2.5 m². Finally, another characteristic of the technical solution adopted was the ability to complete in distinct but continuous phases and, above all, to use the two consolidation techniques in the same hole, RICP in the rocky section and QSJG in the debris section, for all the treatments which were necessary in the transition area between rock and debris.

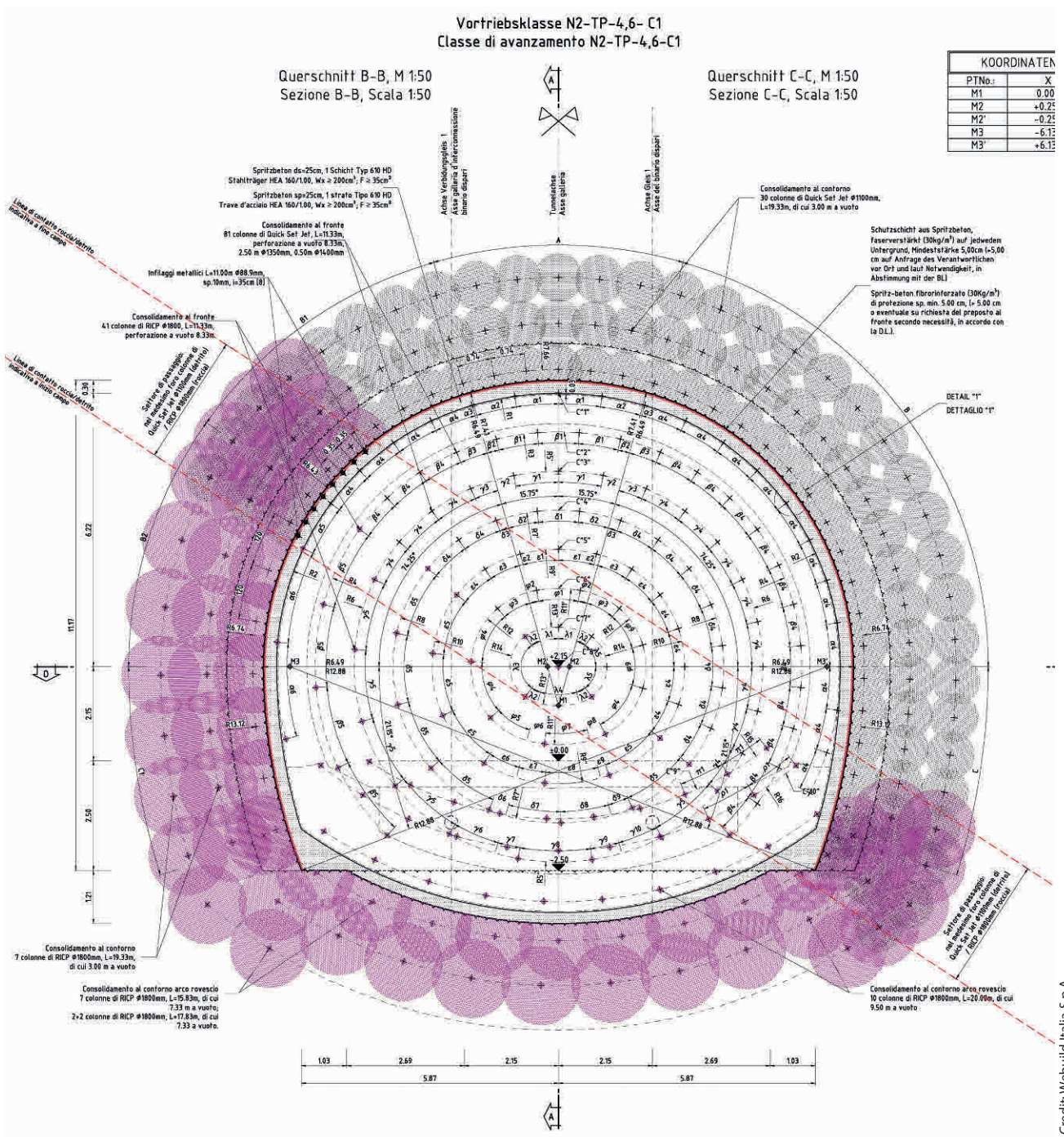
In this case, too, the application of this technology was preceded by a field test carried out on the excavation front of the tunnel, where it was possible to check that the fractures in the rock had been injected using cores, and that the permeability of the rocky septum treated with RICP had been reduced by comparing the flow rates within holes carried out before and after the treatment.



17 Profilo classe di scavo C1 con RICP
Profile excavation class C1 with RICP

Credit: Webuild Italia S.p.A.

Il lotto più a sud della galleria di base del Brennero, il “sottoattraversamento del fiume Isarco”



18 Sezione classe di scavo C1 con RICP
Section excavation class C1 with RICP

entro lo stesso foro le due tecniche di consolidamento, RICP nel tratto in roccia e QSJG in quello in detrito, per tutti quei trattamenti che si sono resi necessari nelle aree di transizione tra roccia e detrito.

Anche in questo caso l'applicazione di tale tecnologia innovativa è stata preceduta da un campo prova eseguito direttamente sul fronte di scavo della galleria, dove è stato possibile verificare l'avvenuta iniezione delle fratture della roccia mediante carotaggi e la riduzione della permeabilità del setto

3 Conclusions

This article has illustrated some innovative technologies used in carrying out the first lot of the Brenner Base Tunnel, which made it possible to successfully overcome considerable geotechnical difficulties with better execution times than originally planned.

The mixed freezing technology (open circuit with nitrogen and closed with brine) made it possible to create 4 tunnels of around 60 m, each beneath the River Eisack, with covers

The Southernmost Lot of the Brenner Base Tunnel, the “Eisack River Crossing”

roccioso trattato con RICP mediante il confronto delle portate misurate entro fori eseguiti prima e dopo il trattamento.

3 Conclusioni

Questo articolo ha illustrato alcune tecnologie innovative impiegate nella realizzazione del primo lotto della galleria di base del Brennero, che hanno permesso di superare con successo difficoltà di natura geotecnica considerevoli con tempi realizzativi migliori rispetto alle originarie previsioni progettuali.

La tecnologia del congelamento misto (circuiti aperti con azoto e chiusi con salamoia) ha consentito la realizzazione di 4 gallerie di 60 m circa ciascuna al di sotto del fiume Isarco, con coperture ridotte fino a soli 3,00 m, nei tempi prestabiliti, senza la deviazione del fiume come originariamente previsto nel progetto definitivo a base gara.

La tecnologia del Quick Set Jet Grouting (QSJ) ha consentito la realizzazione di 194 m di gallerie con fronti di scavo ampi fino a 180 m² in terreni sciolti e sottofalda, con carichi piezometrici di circa 25,00 m, senza interventi preventivi di drenaggio. Lo scavo è avvenuto a piena sezione con velocità d'avanzamento fino a 0,47 m/giorno, superiori alle previsioni progettuali.

Infine, la tecnologia del Roto Injection Controlled Parameter (RICP) ha consentito lo scavo di 75 m di gallerie con fronti di scavo ampi (170 m² circa), caratterizzati dalla presenza mista di detrito e roccia fratturata, con velocità d'avanzamento fino a 0,70 m/giorno.



Credit: Webuild Italia S.p.A.

19 Campioni di terreno consolidato con RICP
Samples of earth consolidated with RICP

reduced to only 3.00 m, within the pre-defined times, without the river deviating as originally envisaged in the detailed design put out for tender.

Quick Set Jet Grouting (QSJG) technology made it possible to create 194 m of tunnels with broad excavation faces of up to 180 m² loose ground below groundwater level, with piezometric loads of around 25.00 m, without preventive drainage interventions. The excavation was carried out unshielded with a rate of advance of up to 0.47 m/day, above design forecasts.

Finally, Roto Injection Controlled Parameter (RICP) technology made it possible to excavate 75 m of tunnels with broad excavation fronts (around 170 m²), characterised by the mixed presence of debris and fractured rock, with a rate of advance of up to 0.70 m/day.

DATI CHIAVE DEL PROGETTO

Regione

Trentino-Alto Adige, Italia

Cliente

BBT-SE

Progettazione

Rocksoil S.p.A.

Direzione lavori

Italferr S.p.A., Piniswiss S.r.l., Hbpm Ingegneri S.r.l.

Impresa esecutrice

Isarco S.c. a r.l. (ATI: Webuild Italia S.p.A., Collini Lavori S.p.A., Consorzio Integra e Strabag AG/S.p.A.)

Dati chiave

Periodo di costruzione: 2014–2023

Costi di costruzione: 329 milioni di euro

Lunghezza gallerie: 6.2 km

Sezione di scavo: 76–273 m²

Caratteristiche speciali: congelamento dei terreni, QSJG, RICP

PROJECT DATA

Region

Trentino-Alto Adige, Italy

Client

BBT-SE

Designer

Rocksoil S.p.A.

Works supervision

Italferr S.p.A., Piniswiss S.r.l., Hbpm Ingegneri S.r.l.

Contractors carrying out the works

Isarco S.c. a r.l. (ATI: Webuild Italia S.p.A., Collini Lavori S.p.A., Consorzio Integra e Strabag AG/S.p.A.)

Key data

Construction period: 2014–2023

Construction costs: 329 million euros

Length of tunnels: 6.2 km

Excavation section: 76–273 m²

Special characteristics: ground freezing QSJG, RICP

Martin Schneider, ing. civil EPF, Etat de Vaud, Lausanne/CH

Développement des métros automatiques m2 et m3

Sous la ville, mais proche de la surface

Dans dix ans, une nouvelle ligne de métro m3 entièrement souterraine sera construite à Lausanne, dans le canton de Vaud. En parallèle, la ligne m2 du métro, en service depuis 2008, sera transformée pour augmenter sa capacité : un tunnel à double voie et une nouvelle station seront construits en milieu de ligne. Cette contribution présente ce grand projet et fait un tour d'horizon des défis qu'il pose.

Development of Automated Metro Lines M2 and M3

Below the City but Close to the Surface

In ten years' time, the new M3 metro line, entirely underground, will be built in Lausanne in the canton of Vaud. At the same time, metro line M2, which has been in service since 2008, will be transformed to increase its capacity: a dual-track tunnel and a new station will be built in the middle of the line. This contribution presents this large project and provides an overview of the challenges it poses.



1 Nouvelle ligne m3 (en bleu) de 3,6 km, pour la desserte de l'écoquartier des Plaines-du-Loup, au nord de Lausanne
New 3.6 km M3 line (in blue) to serve the new eco-friendly district of Plaines-du-Loup to the north of Lausanne

Ten years from now, mobility in Lausanne, with 140,000 inhabitants, and the canton of Vaud in Switzerland will be transformed significantly. The new M3 metro line, entirely underground, will connect the station to the north of the city, where a new eco-friendly district will welcome 8,000 inhabitants and 3,000 jobs (Fig. 1). A less visible modification for users, but technically complex, is the upcoming transformation of the automated M2 metro line, in service since 2008: the centre of the line will be diverted to a new dual-track tunnel. In addition, a new station will be constructed for the M2 line beneath Lausanne main station, which will also be transformed. This article, which appears several years before the start of work, explains this large project and presents the main challenges that excavating tunnels so close to the surface of a very dense city centre entails.

1 Justification for Project and Background

The existing M2 line entered operation in 2008. Measuring 5.95 km in length, it provides a dedicated connection between the south of the city – the lakeside – and the north at the border with the municipality of Epalinges, while also serving the Swiss Federal railways (SBB) station.

The M2 very quickly became a victim of its own success (Fig. 2). After three years of full service, its passenger levels were those predicted for 2025. In 2019, more than 32 million passengers were transported on the M2.

Entwicklung der automatischen Metrolinien m2 und m3

Unter der Stadt, aber nahe der Oberfläche

In zehn Jahren wird in Lausanne im Kanton Waadt die neue, vollständig unterirdische Metrolinie m3 gebaut. Parallel dazu wird die Metrolinie m2, die seit 2008 in Betrieb ist, umgebaut, um ihre Kapazität zu erhöhen: In der Mitte der Strecke werden ein zweigleisiger Tunnel und eine neue Station gebaut. Dieser Artikel stellt dieses Grossprojekt und seine Herausforderungen vor: das Graben von Tunneln mit geringer Überdeckung direkt unter der Oberfläche eines dicht besiedelten Stadtzentrums, die Vereinbarkeit von Tiefbauarbeiten und der Modernisierung des automatischen Leitsystems einer in Betrieb befindlichen Metro sowie die Bewältigung von über einer Million Kubikmeter Aushubmaterial.

Sviluppo delle metropolitane automatiche m2 e m3

Sotto la città, ma vicino alla superficie

A Losanna, nel Canton Vaud, sarà costruita entro i prossimi dieci anni la nuova linea metropolitana m3, interamente interrata. Allo stesso tempo, la linea metropolitana m2, in servizio dal 2008, sarà ampliata per aumentarne la capacità: una galleria a doppio binario e una nuova stazione saranno costruite al centro della linea. Il presente articolo descrive questo grande progetto e le sue sfide: scavare appena al di sotto della superficie di un centro città densamente edificato, conciliare i lavori di ingegneria civile con la modernizzazione del sistema di controllo automatico di una metropolitana in funzione e gestire più di un milione di m³ di materiale di scavo.

D'ici 10 ans, la mobilité de Lausanne, 140 000 habitants, et du canton de Vaud en Suisse sera significativement transformée. Une nouvelle ligne de métro m3 entièrement souterraine reliera la gare au nord de la ville, où un nouvel écoquartier accueillera 8000 habitants et 3000 emplois (fig. 1). Modification moins visible pour les usagers, mais techniquement complexe, la ligne de métro automatique m2, en service depuis 2008, sera transformée : le cœur de la ligne sera dévié vers un nouveau tunnel à double voie. De plus, une nouvelle station sera construite pour le m2 sous la gare de Lausanne en pleine transformation. Cet article, qui intervient plusieurs années avant le début des travaux, explique ce grand projet et présente les principaux défis qu'implique le fait de creuser des tunnels en flirtant avec la surface d'un centre-ville très dense.

1 Justificatif du projet et historique

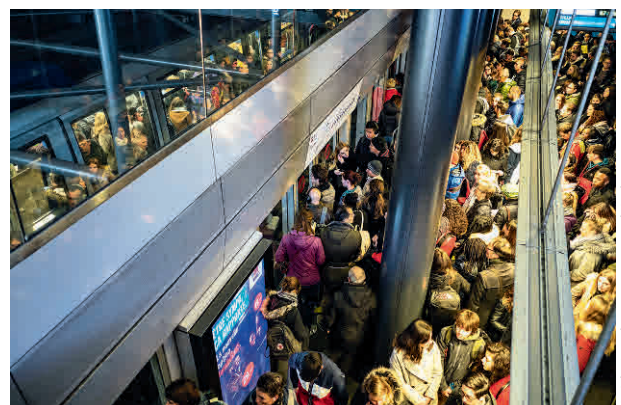
La ligne existante m2 a été mise en exploitation en 2008. D'une longueur de 5,95 km, elle assure une liaison entièrement en site propre entre le sud de la ville, au bord du lac, et le nord, à la limite avec la commune d'Epalinges, tout en desservant la gare des Chemins de fer fédéraux suisses (CFF)

Le m2 a très vite été victime de son succès (fig. 2). Après trois ans d'exploitation complète, sa fréquentation était celle qu'on lui prédisait en 2025. En 2019, plus de 32 millions de passagers ont été transportés en m2.

L'augmentation de la capacité du m2 et la construction d'une nouvelle ligne m3 entre la gare CFF et le nord-ouest de la ville de Lausanne, au lieu-dit la Blécherette, se révèlent indispensables pour répondre aux futurs besoins de mobilité du canton de Vaud. La population croît et atteindra 1 million d'habitants en 2044, contre 815 000 aujourd'hui.

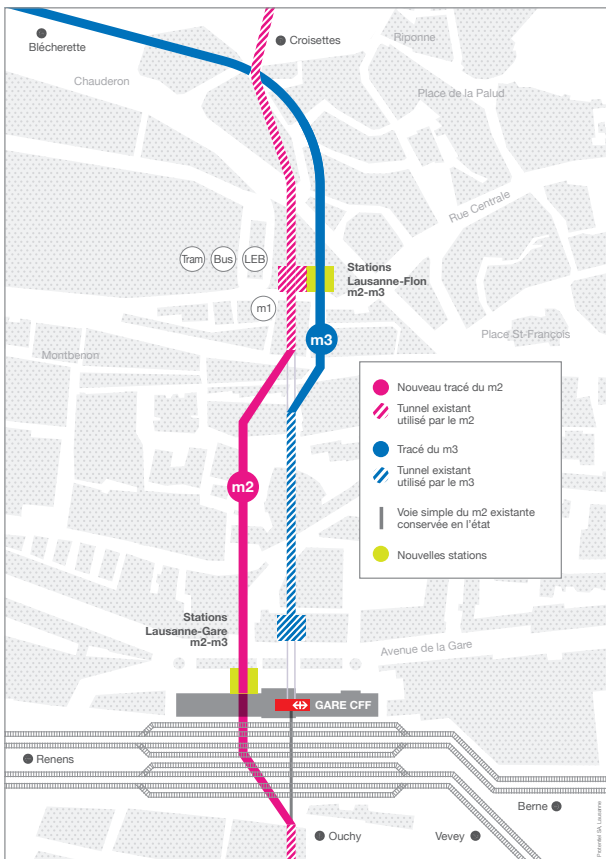
The increase in the capacity of the M2 and the construction of the new M3 line between the SBB station and the north-west of the city of Lausanne, at La Blécherette, have proven vital in order to respond to future mobility needs in the canton of Vaud. The population is growing and will reach one million inhabitants in 2044, compared to 815,000 today. The Lausanne–Morges urban area, which is home to 35 % of the canton's population and almost one in two jobs, is developing. Public-transport usage in general has grown steadily over the past 20 years. For example, the prediction is that Lausanne station will see 200,000 users a day by 2030, compared to 130,000 today.

In addition, development of public transport is vital to respond to challenges associated with climate change. The Council of State of Vaud is aiming for carbon-neutrality in 2050. Today, mobility makes up almost 40% of greenhouse gas emissions, the most significant share of which can be



2 Métro m2, affluence en heure de pointe en 2019
M2 metro line, crowds at rush hour in 2019

Crédit/credit: Jean-Bernard Sieber



Crédit/credit: Protentiel

3 Un nouveau tunnel à double voie sera construit pour le m2 (en rose). Le tunnel actuel sera utilisé pour le m3 (en hachuré bleu)
 A new dual-track tunnel will be built for the M2 (pink).
 The actual one will be dedicated to the M3 (hatched blue).

L'agglomération Lausanne-Morges, qui accueille plus de 35 % de la population cantonale et près d'un emploi sur deux, se développe. La fréquentation des transports publics en général a régulièrement augmenté ces vingt dernières années. Il est par exemple prévu que la gare de Lausanne accueille 200 000 usagères et usagers au quotidien à l'horizon 2030, contre 130 000 aujourd'hui.

Par ailleurs, le développement des transports publics est indispensable pour répondre aux enjeux climatiques. Le Conseil d'Etat vaudois vise la neutralité carbone en 2050. Or, la mobilité représente aujourd'hui près de 40% des émissions de gaz à effet de serre, la part la plus importante étant imputable à la circulation automobile. Il est donc essentiel d'offrir un réseau de transports publics efficace.

2 Description du projet

Le m2 est un métro entièrement automatique de type GoA 4, soit *Grade of Automation Level 4*. La ligne m3 le sera également. Les deux lignes seront interoperables afin de mutualiser certains équipements, comme le poste de commande et l'atelier. Pour satisfaire cette exigence et améliorer les performances du système, une nouvelle technologie *Communications-based train control* (CBTC) sera déployée sur tout

attributed to road traffic. It is therefore essential to offer an efficient public-transport network.

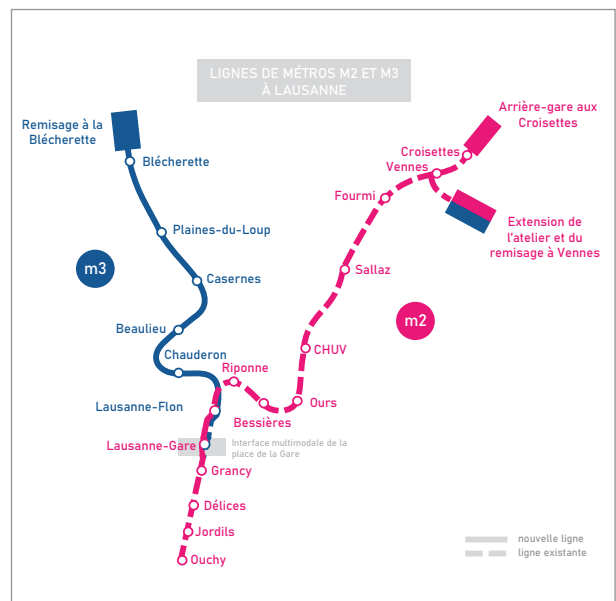
2 Description of the Project

The M2 is a fully automated metro line of type GoA4, or Grade of Automation Level 4. This will also be the case for the M3 line. The two lines will be interoperable in order to share certain equipment, such as the control room and workshop. In order to meet this requirement and improve system performance, a new technology, communications-based train control (CBTC), will be rolled out throughout the future network and new trains will be purchased. The revamp of the M2's automated-running system is a very delicate operation.

Modernisation of the M2 Line

Several operations are necessary in order to improve the frequency of trains on the M2 line. A new dual-track tunnel with a total length of 500 metres will be built further to the west between the main station and Lausanne-Flon station, which serves the city centre (Fig. 3). It will replace the historical single-track tunnel – currently still in operation – of the former funicular railway that was in place prior to the arrival of the M2. Via the new tunnel, the metro will serve a new station beneath Place de la Gare, which will be more spacious and with a gentler gradient – 6% versus 11.3%. A turnback siding, completely underground, will be created beyond the terminus of the line at Croisettes.

Thanks to these operations and the revamp of the automated-running system, the M2's frequency will be 1 minute 50 seconds on its new route during peak times, as opposed



Crédit/credit: Projet de développement des métros m2 et m3

4 En continu = schéma général des lignes projetées m2 et m3.
 En pointillé = ligne existante
 Solid = general plan of envisaged M2 and M3 lines
 Dotted = existing line

le futur réseau et de nouvelles rames seront achetées. Le renouvellement du système de conduite automatique du m2 est une opération très délicate.

Modernisation de la ligne m2

Afin d’améliorer la cadence de la ligne m2, plusieurs interventions sont nécessaires. Un nouveau tunnel à double voie d’une longueur totale de 500 mètres sera construit plus à l’ouest entre la gare et la station Lausanne-Flon qui dessert le centre-ville (fig. 3). Il remplacera l’ancien tunnel historique à voie unique du funiculaire antérieur à l’arrivée du m2 et actuellement encore en exploitation. Via le nouveau tunnel, le métro desservira une nouvelle station dans le sous-sol de la place de la Gare, plus spacieuse et avec une pente plus douce que l’actuelle, 6% contre 11,3%. Une arrière-gare entièrement souterraine sera créée au-delà du terminus de la ligne aux Croisettes.

Grâce à ces interventions et au renouvellement du système de conduite automatique, la cadence du m2 sera de 1’50’’ sur son nouveau tracé aux heures de pointe, contre 2’10’’ actuellement. Le réseau est conçu pour s’adapter progressivement à l’augmentation de la demande : le m2 et le m3 doivent pouvoir circuler toutes les 1’30’’ en achetant davantage de rames et en adaptant l’infrastructure.

Enfin, l’actuel atelier du m2 sera transformé et agrandi (fig. 4).

Construction de la ligne m3

Une nouvelle ligne m3 de 3,6 km entièrement à double voie et en souterrain sera construite entre la gare CFF et la Blécherette au nord de la ville. Elle comptera sept stations, dont six nouvelles. Toutes seront peu profondes afin que les usagers puissent entrer et sortir rapidement. La ligne partira de l’actuelle station du m2 au niveau de la gare et empruntera l’actuel tunnel du m2 jusqu’au Flon, où une extension de la station sera construite pour le m3. Un dépôt pour 18 rames sera construit en bout de ligne. A sa mise en service, la ligne m3 comptera un métro toutes les trois minutes aux heures de pointe.

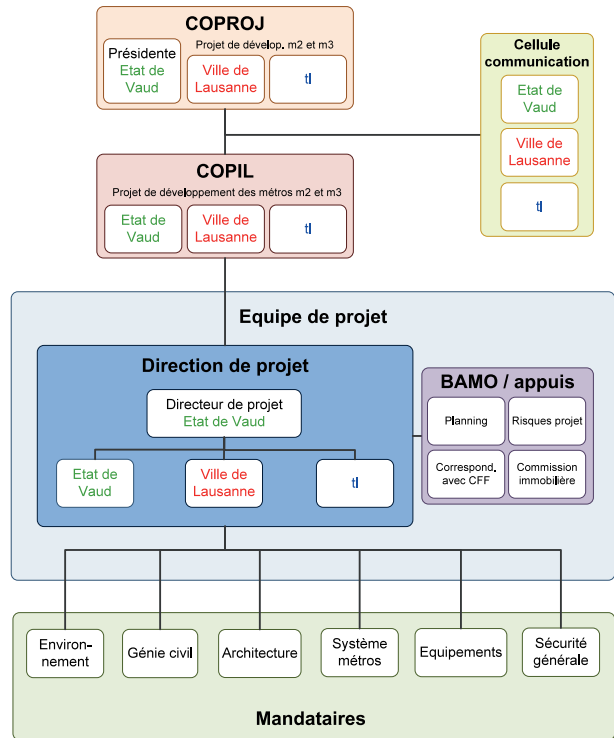
Tout un programme

Le développement des métros automatiques m2 et m3 présente donc deux volets indissociables : des travaux de génie civil qui impliqueront de creuser des tunnels sous un centre-ville dense ; la modernisation d’un système de métro automatique en exploitation et son extension avec la création d’une nouvelle ligne. L’ensemble, conçu comme un tout par la même équipe, constitue davantage un véritable « programme » plutôt qu’un projet.

3 Organisation du projet, maîtrise d’ouvrage

La maîtrise d’ouvrage actuelle du programme de développement des métros est tripartite. Les études sont pilotées et financées par l’Etat de Vaud, en collaboration avec les Transports publics de la région lausannoise (tl), l’actuel exploitant de la ligne m2 qui exploitera aussi la ligne m3 et la Ville de Lausanne.

Structure de gouvernance du projet de développement des métros m2 et m3



Credit/credit: Projet de développement des métros m2 et m3

5 Organigramme Organigram

to 2 minutes 10 seconds currently. The network is designed to gradually adapt to increasing demand: the M2 and M3 will be able to run every 1 minute 30 seconds by purchasing more train sets and adapting the infrastructure.

Lastly, the current M2 workshop will be transformed and enlarged (Fig. 4).

Construction of the M3 Line

The new M3 line – 3.6 km in length and entirely dual-track and underground – will be built between the SBB station and La Blécherette north of the town. It will include seven stations, six of which will be new. All of these will be fairly shallow to ensure that users can enter and leave quickly. The line will leave from the current M2 station at main-station level and take the current M2 tunnel as far as Le Flon, where an extension of the station will be built for the M3. A depot for the train sets will be built at the end of the line. When the line is opened, the M3 will see one train every three minutes at peak times.

An Entire Programme

Development of the automated metro lines M2 and M3 thus presents two inseparable components: the civil engineering works involving the excavation of tunnels under a dense city centre infrastructure, and the modernisation of an active automated metro system and its extension with the creation of a new line. All this, designed as a unit by the same team, is more of a ‘programme’ than a project.

L'équipe pluridisciplinaire compte une vingtaine de membres et continuera de s'étoffer avec l'avancée du projet (fig. 5).

La construction d'une partie du tunnel à double voie du m2 (environ 250 mètres) et sa nouvelle station sous la gare a été confiée aux CFF dans le cadre du projet d'agrandissement et de modernisation de la gare, dont les travaux ont commencé durant l'été 2021.

4 Etat d'avancement du projet et planification générale

Etapes clés

- 2019 : demande d'approbation des plans auprès de l'Office fédéral des transports (OFT), pour le m2 et le m3 entre Grancy et le Flon
- 2022 : demande d'approbation des plans auprès de l'OFT, pour le m3 entre le Flon et la Blécherette
- Horizon 2024* : début des travaux
- Horizon 2025* : début de la construction des nouvelles rames de métro
- Horizon 2030* : mise en service du m2 sur son nouveau tracé, en même temps que les principaux aménagements de la gare de Lausanne
- Horizon 2031* : mise en service du m3

* sous réserve de l'obtention des autorisations de construire

5 Financement assuré par le Canton de Vaud, en quatre étapes successives

Le principe d'un financement par étape pour l'ensemble du projet a été accepté par le Grand Conseil vaudois dès 2015.

Cette façon de faire permettra notamment de baser une grande partie des estimations sur des offres d'entreprises. Elles pourront par conséquent être au plus proche des coûts réels lors de la quatrième et dernière demande de financement.

Les autorités politiques cantonales ont d'ores et déjà validé trois étapes du financement :

- en février 2015, env. 19 millions de CHF pour l'entame des études ;
 - en novembre 2019, env. 154 millions de CHF pour la suite des études et la réalisation du gros œuvre d'un court tronçon de tunnel et la station du m2 sous la gare ;
 - en février 2022, env. 320 millions de CHF pour la suite des études, la première partie de la réalisation du gros œuvre, ainsi que des acomptes sur les contrats industriels de fourniture du système de pilotage et de construction des nouvelles rames de métro.
- une quatrième étape de financement interviendra à l'horizon 2025.

3 Project Organisation, Client

The current client for the metro development programme is tripartite. The studies are managed and financed by the Canton of Vaud in partnership with the Transports publics de la région lausannoise (Lausanne region public transport – tl) – the current operator of the M2 line, who will also operate the M3 line – and the City of Lausanne. The multidisciplinary team has around twenty members and will continue to grow as the project progresses (Fig. 5).

Construction of one section of the dual-track M2 tunnel (around 250 metres) and its new station under the main station has been entrusted to the SBB within the framework of an enlargement and modernisation project for the main station. These works began in the summer of 2021.

4 Project Progress and General Planning

Key Stages

- 2019: application to the Federal Office of Transport (FOT) for approval of the plans for the M2 and M3 between Grancy and Le Flon
 - 2022: application to the FOT for approval of the plans for the M3 between Le Flon and Blécherette
 - Projection 2024*: start of works
 - Projection 2025*: start of construction for the new metro train sets
 - Projection 2030*: opening of the M2 on its new route at the same time as the main developments of Lausanne station
 - Projection 2031*: opening of the M3 line
- * providing building permits are acquired

5 Financing Assured by the Canton of Vaud in Four Successive Stages

The principle of financing in stages for the project as a whole was accepted by the Grand Council of Vaud from 2015.

In particular, this method will facilitate basing a large proportion of estimates on offers from companies. They will therefore be as close as possible to actual costs during the fourth and final financing request.

The cantonal political authorities have already approved three financing stages:

- In February 2015, around CHF 19 million to commence the studies
- In November 2019, around CHF 154 million for the next stage of the studies and to implement the structural works for a short section of tunnel and the M2 station under the main station
- In February 2022, around CHF 320 million for the next stage of the studies, the first part of implementation of the structural works, and advance payments on industrial contracts for delivery of the control system and construction

En outre, le projet bénéficie d'une contribution fédérale d'environ 161 millions de CHF dans le cadre des projets d'agglomération.

6 Les défis principaux

Durant les quelques années d'étude qui se sont déjà déroulées, ou en vue de la phase de réalisation, les divers acteurs appelés à participer à la conception de ce projet ont été confrontés à des contraintes ou particularités très diverses, dont certaines méritent d'être mentionnées ci-après. Elles sont de trois types. Premièrement, certaines sont spécifiques à la nature des sols et au contexte urbain dans lequel les tunnels vont être creusés. Ces défis sont accentués par le fait que les tunnels seront peu profonds. La deuxième contrainte réside dans le fait que les travaux de génie civil sont très étroitement liés au déploiement d'un nouveau système de métros. Enfin, la troisième a trait aux quantités de matériaux qui seront excavés.

6.1 Environnement urbain

Au vu du niveau extrêmement élevé de l'offre de transport de personnes que procure un métro automatique (le m2 transporte actuellement 5800 voyageurs par sens aux heures de pointe ; le m2 et le m3 pourront transporter 12 200 personnes par sens aux heures de pointe dès 2031) et de son coût très important, le déploiement du réseau n'a forcément de sens qu'au centre de zones fortement densifiées.

De fait, aussi bien le tracé de la ligne m2 existante que celui de la future ligne m3 desservent des zones de densité maximale en termes de bâtiments et de réseaux de surface ou souterrains.

Les incidences d'un tel environnement se ressentent tant lors de la recherche d'une implantation adéquate des émergences, c'est-à-dire les stations, que lors de la définition du tracé en souterrain. Les conditions géométriques des axes des tunnels sont telles qu'il n'est pas toujours possible d'éviter de passer à l'aplomb de bâtiments, ou autres structures, qui présentent des fondations ou extensions profondes. En fonction de la période de construction de ces « obstacles », leur configuration exacte n'est parfois pas connue, ce qui rend délicat l'établissement de plans en vue d'éventuelles mesures de confortation préalable, voire de leur reprise en sous-œuvre. Des conventions foncières avec les propriétaires de chaque parcelle touchée doivent être établies sur 100% du tracé, qu'il s'agisse d'emprise définitive en surface ou en profondeur.

Pour ce qui est de la phase de réalisation, les nuisances temporaires des chantiers émanent autant des places d'installation que des moyens et cheminements d'accès.

6.2 Topographie particulière

La ville de Lausanne est construite dans une région topographiquement accidentée.

of the new metro train sets

- A fourth financing stage is due to take place in 2025

Moreover, the project benefits from a federal contribution of around CHF 161 million within the context of urban development projects.

6 The Main Challenges

Over the course of the few years of study that have already taken place, or in light of the implementation phase, the various stakeholders called on to participate in designing this project have been faced with a wide variety of constraints or particularities, some of which are worth mentioning here. There are three types. First, some are particular to the type of soil and the urban context in which the tunnels will be excavated. These challenges are exacerbated by the fact that the tunnels will be relatively shallow. The second constraint can be found in the fact that the civil engineering works are very closely linked to the roll-out of a new metro system. The third is associated with the quantity of materials that will be excavated.

6.1 Urban Environment

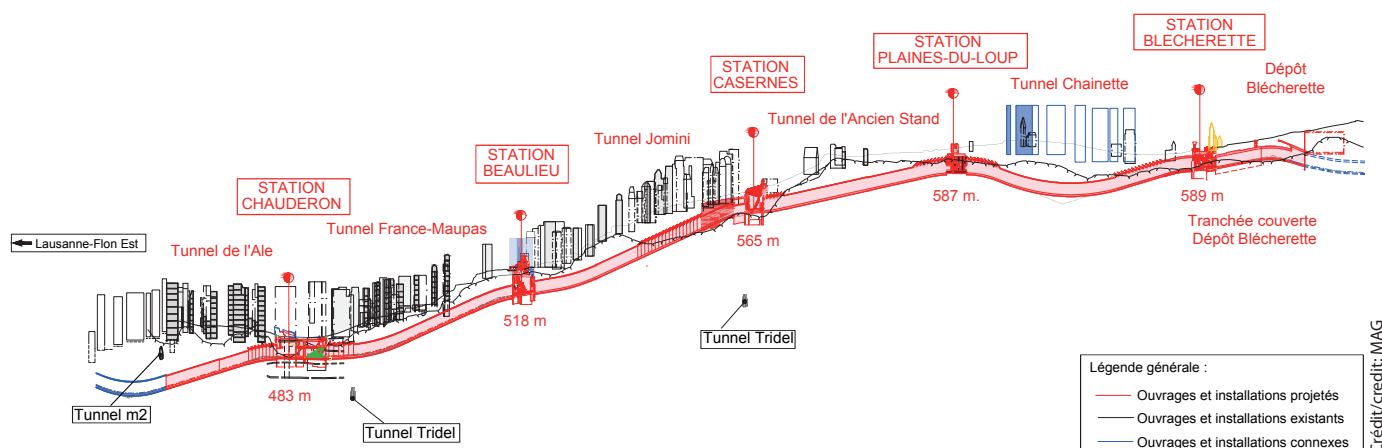
In light of the extremely high level of passenger transport that an automated metro brings with it (the M2 currently transports 5,800 passengers each way during peak times; the M2 and M3 will be able to transport 12,200 people each way at peak times from 2031) and the very high cost, roll-out of the network only makes sense at the centre of heavily built-up areas.

In fact, both the route of the existing M2 line and that of the future M3 line serve zones with maximum density with respect to buildings and surface and underground networks.

The impact of this kind of environment can be seen during both research for an adequate location for superstructures – the stations – and the definition of the underground route. The geometric conditions of the tunnel axes are such that it is not always possible to avoid passing directly beneath buildings or other structures that have deep foundations or extensions. Depending on the construction period of these obstacles, their precise configuration is sometimes unknown, which makes establishing plans a delicate operation in light of possible initial consolidation measures or underpinning. Property conventions with the owners of each affected plot should be established along 100% of the route, whether this has an impact above or below the surface.

As regards the implementation phase, temporary inconveniences caused by the construction sites will be presented both by the installation sites themselves and the access means and routes.

PROFIL EN LONG DU TUNNEL DU M3 ENTRE LE FLON ET LA BLECHERETTE



6 Nouvelle ligne m3 – profil en long Flon-Blécherette
New M3 line – longitudinal profile, Flon-Blécherette

Entre Ouchy, le quartier historiquement situé sur les rives du lac à environ 370 mètres d'altitude, et les stations d'extrémité nord des lignes m2 (station Croisettes à 711 mètres) et m3 (station Blécherette à 600 mètres), le dénivelé que les métros franchissent est de l'ordre de 300 à 400 mètres, avec des pentes localement de 12%. Cette valeur représente probablement l'une des pentes les plus élevées parmi l'ensemble des réseaux de métros existants. Elle implique notamment le recours à une technologie de rames sur pneus. Malgré cela, le ralliement entre les points de départ et d'arrivée nécessite d'allonger le parcours en intégrant au tracé en situation des courbes et contre-courbes à l'instar d'une route franchissant un col (fig. 6).

6.3 Géologie lausannoise

Au jour de rédaction du présent article, 72 forages, présentant une longueur totale de 1300 mètres environ, ont été réalisés spécifiquement pour le projet des métros. Ce nombre de forages représente une densité proche d'un forage tous les 50 mètres de tracé. A cela s'ajoute le recours aux indications des forages qui ont été réalisés indépendamment pour des bâtiments ou autres infrastructures, mais qui sont souvent de profondeur insuffisante.

En résumé, sur la base des reconnaissances faites dans le cadre des études préliminaires, plusieurs formations géologiques se distinguent tout d'abord par une série de formations quaternaires würmiennes hétérogènes reposant sur un substratum molassique. Ce dernier est constitué de molasse grise de Lausanne (Aquitanien), composée de marnes, de grès et de siltites. Dans la partie basse et le centre-ville de Lausanne, les marnes dominent, tandis que les grès apparaissent progressivement en partie amont de la ville.

Surmontant la molasse, les dépôts morainiques forment des vallums morainiques composés principalement de li-

6.2 Distinctive Topography

The city of Lausanne is built in a topographically hilly region.

Between Ouchy, the district historically located on the banks of the lake at an altitude of around 370 metres, and the stations at the north extremity of the M2 (Croisettes station at 711 metres) and M3 (Blécherette station at 600 metres) lines, the elevation that the metros have to cross is of the order of 300 to 400 metres, with gradients of 12% in places. This value is probably one of the steepest gradients of all current metro networks. In particular, it involves reliance on tyre-based train technology. Despite this, connecting the departure and arrival points requires an extension of the route by incorporating curves and counter-curves following the example of a road crossing a pass (Fig. 6).

6.3 Geology of Lausanne

At the time that this article was written, 72 bores with a total length of around 1,300 metres have been conducted specifically for the metro project. This number of bores represents a density approaching one borehole every 50 metres of the route. On top of this is a reliance on information from boring conducted independently for buildings or other infrastructure but that are often at an insufficient depth.

In summary, based on findings conducted within the scope of preliminary studies, several geological formations can be seen first and foremost with a series of varied Quaternary Würm formations resting on a molasse substratum. The latter consists of grey Lausanne molasse (Aquitanian), made up of marls, sandstone and siltstone. In the lower area and city centre of Lausanne, the marls predominate, while sandstone appears gradually in the area upstream of the city.

On top of the molasse, moraine deposits form morainic vallums primarily consisting of very firm sand/gravel loams

mons sablo-graveleux très fermes et de lentilles de dépôts glacio-lacustres (sables fins et limons sableux), au comportement fluent. Des lentilles de dépôts fluvio-glaciaires sont également rencontrées par endroits et composées de sables graveleux.

Le secteur de Saint-Laurent, où le sol s'était effondré durant la construction du m2 en ne causant heureusement que des dommages matériels, est caractérisé par la présence de matériaux de remplissage d'un lac de retrait glaciaire, composés de tourbe, de craie lacustre, d'argiles, ainsi que de limons et sables varvés.

Enfin, des remblais superficiels sont rencontrés en surface et présentent une composition hétérogène, avec des matériaux anthropiques. L'épaisseur des remblais peut être localement importante, par exemple dans la vallée remblayée du Flon.

Globalement, les conditions de réalisation des ouvrages souterrains de l'ensemble du projet peuvent être appréciées comme suit :

- 69% avec profil entièrement en molasse (couverture rocheuse inférieure à un diamètre d'excavation)
- 23% en profil mixte
- 8% avec profil entièrement en terrains meubles

6.4 Tracé et profil en long : la volonté de garantir une accessibilité optimale

La ville de Lausanne étant d'une taille relativement modeste, sans doute la plus petite au monde, pour une telle infrastructure, les distances interstations sont courtes, variant de 320 à 725 mètres, soit en moyenne moins de 600 mètres (comparés par exemple à 1200 mètres sur la ligne 14 à Paris).

Les autorités politiques qui soutiennent le développement des métros ont qualifié de prioritaire le critère « attractivité » : c'est-à-dire que le temps nécessaire à un voyageur pour accéder aux quais souterrains doit être minimal. Ainsi, pour toutes les nouvelles stations, la profondeur des quais par rapport au niveau du terrain naturel varie de 9 à 13 mètres seulement (fig. 8). Cette particularité combinée à la faible distance entre les stations implique un tracé en profil en long flirtant de façon presque continue avec les terrains meubles de couverture et les niveaux inférieurs des bâtiments construits.

and lenses of glaciolacustrine deposits (fine sand and sandy loams) with creep behaviour. Lenses of glaciofluvial deposits are also found in places and are made up of gravelly sand.

The Saint-Laurent area, where the ground collapsed during construction of the M2 – fortunately only causing material damage – is characterised by the presence of filler material from a proglacial lake, consisting of peat, lacustrine chalk and clay, as well as loams and varved sand.

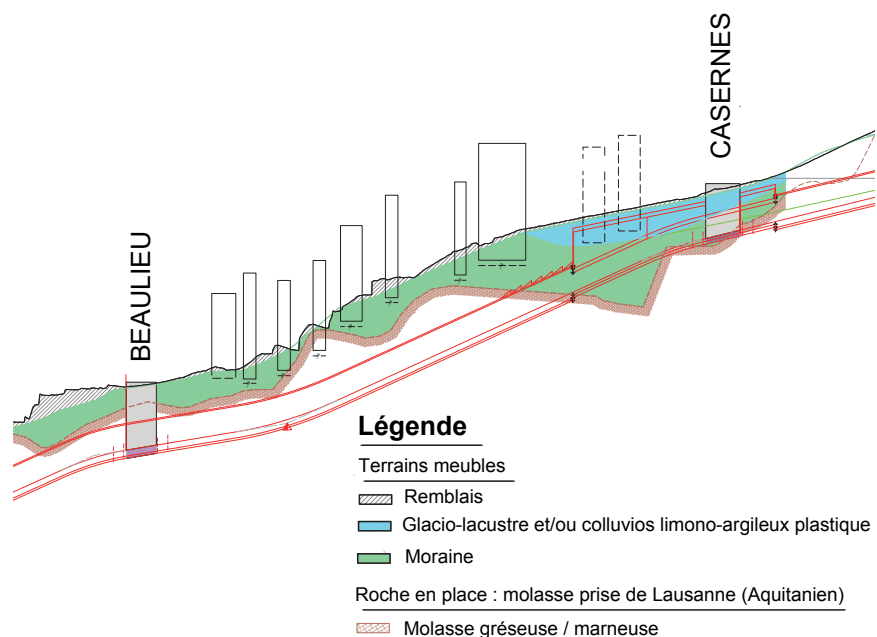
Finally, superficial backfill has been encountered on the surface and exhibits a varied composition with human-made materials. The thickness of the backfill may be extensive in places, for example in the backfilled valley of Le Flon.

Overall, the conditions for conducting the underground works for the project as a whole can be understood as follows:

- 69% with a profile entirely of molasse (rock cover less than an excavation diameter)
- 23% with mixed profile
- 8% with a profile entirely of unconsolidated ground

6.4 Route and Longitudinal Profile: the Desire to Ensure Optimal Accessibility

The city of Lausanne is of relatively modest size – without doubt the smallest in the world with this kind of infrastructure – meaning that the distances between stations are short, varying from 320 to 725 metres, with an average of less than 600 metres (compared to 1,200 metres on line 14 in Paris, for example).



7 Nouvelle ligne m3 – profil géologique entre les stations Beaulieu et Casernes : proximité du toit rocheux (molasse)

New M3 line – geological profile, between the stations Beaulieu and Casernes: proximity of roof rock (molasse)



Crédit/credit: la-clique & co

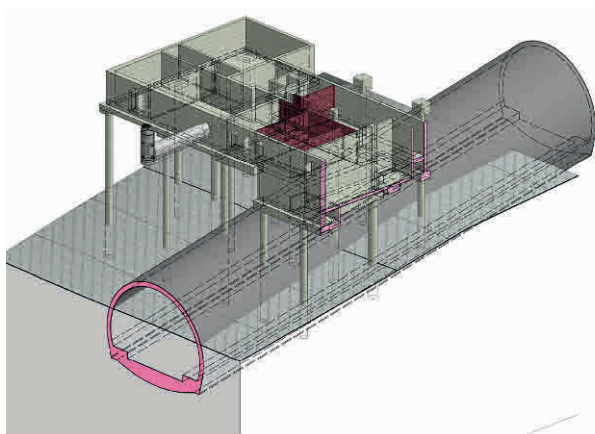
8 *Ambiance dans les futures stations du m3, qui seront proches de la surface.*
Ambiance in the future stations of the M3, which will be close to the surface.

A plusieurs endroits, la réalisation des tunnels nécessite la préconsolidation du terrain depuis la surface, ou la reprise en sous-œuvre préalable des bâtiments existants (fig. 9).

6.5 Migration inéluctable et préalable des automatismes

Les « automatismes de conduite » constituent le système de commande des véhicules. Une partie d'entre eux dits « fixes » sont installés sur les voies. Les autres dits « embarqués » se situent dans les rames de métro. Ce système, véritable cerveau du réseau, permet aux véhicules de se repérer les uns par rapport aux autres le long des voies et de circuler sans conducteur. Les automatismes gèrent aussi l'ouverture des portes palières dans les stations.

Le système de conduite automatique des véhicules, actuellement en service sur la ligne m2, doit être renouvelé dès lors que sont envisagées des modifications du réseau ou une augmentation de la fréquence.



Crédit/credit: EBS

9 *Coupe-type exemplaire sous un bâtiment fondé sur piles*
Example cross-section underneath a building founded on piles

The political authorities supporting the metro development have prioritised the criterion 'attractiveness' – meaning that the time required for a passenger to access the underground platforms should be kept to a minimum. Therefore, the depth of the platforms vis-à-vis the level of the natural terrain varies between just nine and 13 metres for all new stations (Fig. 8). This distinctive feature, combined with the short distance between stations, involves a route with a longitudinal profile that is very close to the unconsolidated ground cover and the lower levels of the built structures almost continually.

In several places, completion of the tunnels requires the prior consolidation of the terrain from the surface or the initial underpinning of existing buildings (Fig. 9).

6.5 The Inevitable Preliminary Migration of Automated Systems

'Automated driving systems' are the vehicles' command systems. One part of these, referred to as 'fixed', is installed on the rails. The others, called 'on-board', are located in the metro trains. This system – the brains of the network – allows vehicles to detect one another on the rails and to operate without a driver. The automation systems also control the opening of the screen doors in the stations.

The vehicles' automated operating system, currently in use on line M2, will need to be renewed when modifications to the network are being considered or the frequency increases.

To ensure that this project runs smoothly, this 'migration' of the automated systems on line M2 must be completed prior to the start of infrastructural work affecting the operation of line M2. This presents a severe time constraint that needs to be taken into account in general planning of the works (Fig. 10).

Pour garantir le bon déroulement du projet, cette « migration » des automatismes sur la ligne m2 doit être terminée avant l'engagement des travaux d'infrastructure touchant l'exploitation du m2. Cela représente une contrainte temporelle très forte à prendre en considération dans le planning général des travaux (fig. 10).

6.6 Interopérabilité m2-m3

L'interopérabilité parfaite entre les lignes m2 et m3, soit le déploiement d'un système unique sur un réseau constitué de deux branches distinctes, mais équipées de la même technologie, représente l'une des exigences de base du projet de développement du métro lausannois.

Cette exigence découle du principe de rationalisation de l'exploitation au moyen de la mutualisation des moyens, de l'unification des prestations de maintenance ou de potentielles synergies dans la disponibilité du matériel roulant, ainsi que de simplifications des marchés de fournitures.

Le réseau en Y présente de plus une souplesse du schéma d'exploitation, en cas d'évolution des demandes futures.

6.6 Interoperability of M2 and M3

The absolute interoperability of lines M2 and M3 – the roll-out of a single system on a network consisting of two distinct branches but equipped with the same technology – is one of the basic requirements of the development project for the Lausanne metro.

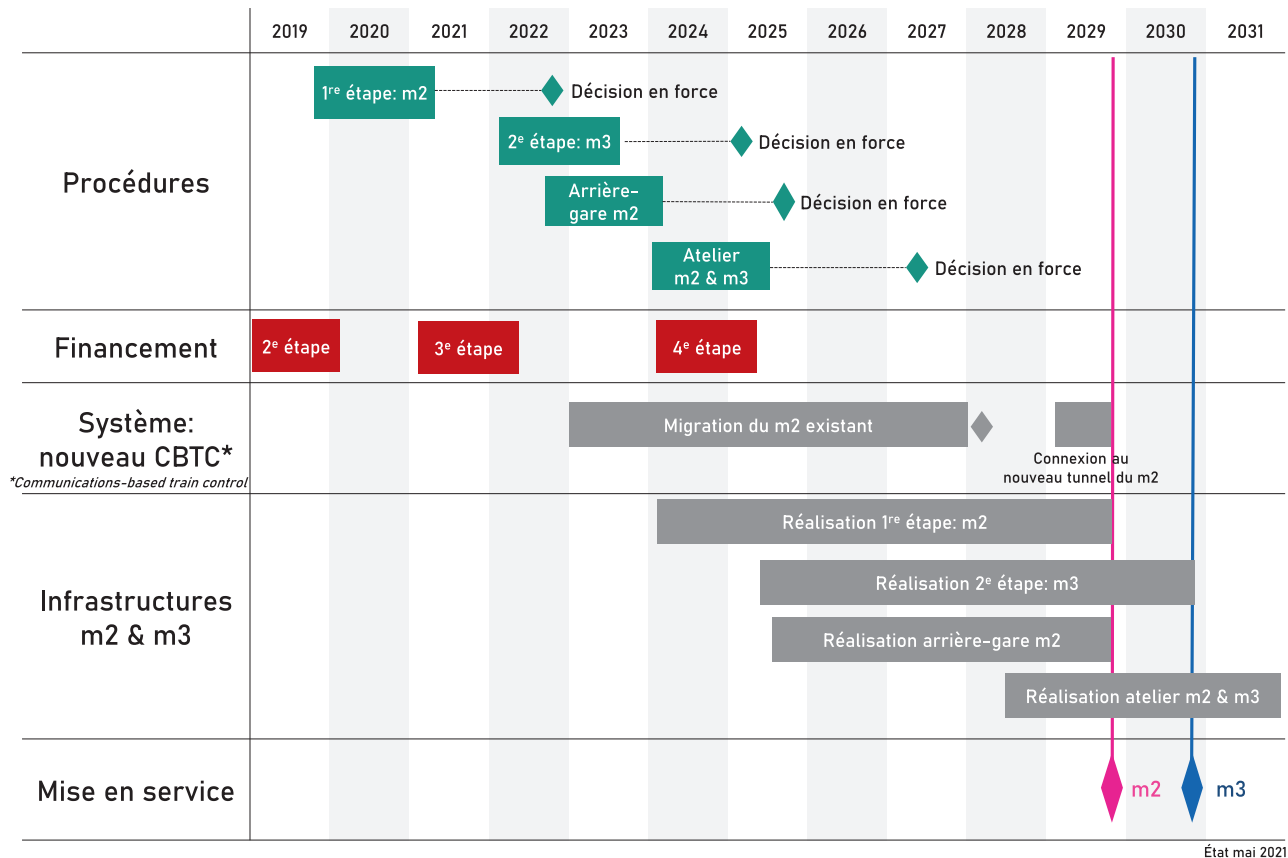
This requirement stems from the principle of streamlining operations by means of resource pooling, the unification of maintenance services or potential synergies in the availability of rolling stock, and the simplification of supply procurement.

In addition, a Y-shaped network presents flexibility in its operating model in the event of evolving future requirements.

The repercussions of this strategy for transport system policy are the strict harmonisation of infrastructural elements such as the length of the stations, gauges, geometric route configurations, etc. These constraints were taken into account from the start of the studies thanks to a very close collaboration between the civil engineers and the transport system and equipment specialists.

Planning intentionnel

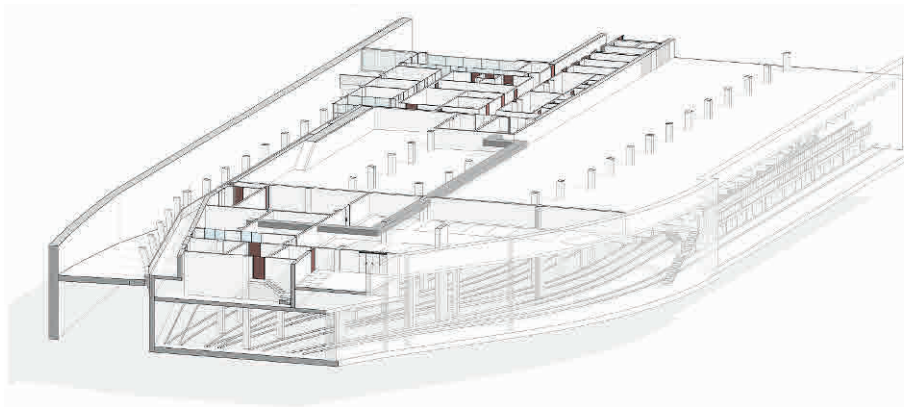
(sous réserve de l'obtention des permis de construire)



10 Planification générale intentionnelle des procédures (en vert ou en rouge) et des travaux (en gris)
Intended general planning of procedures (in green and red) and works (in grey)

Crédit/credit: Projet de développement des métros m2 et m3

État mai 2021



11 M3, nouveau dépôt souterrain à la Blécherette pour 18 rames, réalisé à ciel ouvert
M3, new underground depot at Blécherette for 18 train sets, open-air implementation

Cette stratégie politique du système de transport a pour incidence la concordance stricte des éléments d'infrastructure tels que la longueur des stations, les gabarits, les configurations géométriques des tracés, etc. Ces contraintes ont été prises en compte dès le début des études, grâce à une très étroite collaboration entre les ingénieurs civils et les spécialistes du système de transport et des équipements.

6.7 Remisage des rames

Le projet de développement du métro crée une offre de transport sensiblement augmentée par rapport à la situation actuelle, tant par l'extension du réseau (nouvelle ligne m3) que par l'accroissement de la fréquence (sur la ligne m2).

Cette augmentation de l'offre a pour conséquence logique la nécessité d'engager du matériel roulant supplémentaire : de 18 rames en exploitation aujourd'hui, 32 à 46 rames seront à l'avenir nécessaires selon les programmes d'exploitation prévisionnels.

Pour des raisons de maintenance, les rames de métro ne peuvent pas occuper les voies principales durant les intervalles de nuit (interruption de l'exploitation commerciale entre 00h15 et 5h30). Elles sont systématiquement acheminées vers des faisceaux de voies de remisage.

Le projet de développement intègre la transformation du « dépôt » actuel du m2 et la réalisation d'un nouveau « dépôt » pour le m3 permettant de stocker respectivement 28 et 18 rames, avec la contrainte géométrique d'une parfaite horizontalité.

Le dépôt du m3 sera réalisé en tranchée couverte depuis la surface. Il prendra place sous l'un des terrains de football récemment créé dans le complexe sportif de la Tuilière (fig. 11).

6.8 Synergie avec le projet CFF de la gare de Lausanne

Mise à l'enquête en 2015, et ayant fait l'objet de deux enquêtes complémentaires en 2018, la transformation complète

6.7 Storage of Train Sets

The metro development project creates a transport service that is distinctly enhanced compared to the current situation, both with the extension of the network (new M3 line) and the increase in frequency (on the M2 line).

This increase in service will as a logical consequence require taking on additional rolling stock: from 18 train sets in use today, 32 to 46 train sets will be required in future according to provisional operating schedules.

For maintenance reasons, metro trains may not occupy the main tracks during the night-time (cessation of commercial operation between 00.15 am and 5.30 am). They are systematically directed to converging storage lines.

The development project includes the transformation of the actual depot for the M2 and the completion of a new depot for the M3 facilitating the storage of 28 and 18 train sets respectively, with the geometric constraint of being perfectly horizontal.

The depot for the M3 will be build from the surface by using the cut and cover method. The construction will be carried out at the location of one of the recently built soccer fields of the La Tuilière sports complex (Fig. 11).

6.8 Synergy with SBB Project for Lausanne Station

Put out for public consultation in 2015 and having been subject to two additional studies in 2018, the complete transformation of Lausanne station is part of the SBB project



12 M2, vue 3D de la future station sous la place de la Gare
M2, 3D view of future station under Place de la Gare

de la gare de Lausanne appartient au groupe de projets CFF « Léman 2030 ». Le permis de construire est entré en vigueur début 2021 et les travaux ont progressivement commencé dans les mois suivants. La transformation de la gare répond à l'évolution prévue de la demande sur toutes les lignes qui la traversent, avec par exemple le quasi-doublement des passagers entre Lausanne et Genève envisagés en 2030 (jusqu'à 100 000 par jour). La gare doit être adaptée pour le trafic ferroviaire, mais aussi pour les déplacements des usagers.

Coordonnée avec l'environnement urbain (et notamment avec le projet cantonal Plateforme 10, un quartier de musées en cours d'achèvement, auquel elle facilitera l'accès), la transformation de la gare de Lausanne déplace vers l'ouest le centre de gravité de celle-ci. C'est en effet dans cette direction que les quais seront prolongés, et c'est également à l'ouest qu'est créé un nouveau passage inférieur. Le déplacement prévu vers l'ouest de la station du m2 s'inscrit dans la même logique.

Le projet de la transformation de la gare inclut le gros œuvre de la nouvelle station pour la ligne m2 ainsi que le nouveau tunnel sous la gare. Les travaux sont réalisés par les CFF en maîtrise d'ouvrage déléguée. Néanmoins, des jalons temporels de rencontre des deux projets constituent des éléments

group 'Léman 2030'. The building permit came into effect at the start of 2021 and works began progressively over the following months. The station's transformation is a response to the expected evolution in demand on all lines passing through it, with an almost doubling of passengers between Lausanne and Geneva expected in 2030, for example (up to 100,000 a day). The station needs to be adapted for rail traffic, but also for user movement.

Coordinated with the urban environment (notably with cantonal project Plateforme 10 – a museum district currently in progress – to which it will facilitate access), the transformation of Lausanne station will shift its centre of gravity to the west. It is in this direction that the platforms will be extended, and a new lower passage has also been created in the west. The planned shift to the west of the M2 station follows this logic.

The station transformation project includes the structural work for the new M2 station and the new tunnel under the main station. The works will be conducted by the SBB as delegated project management. Nevertheless, the time-related milestones where the two projects intersect are crucial elements in the general planning of the metro development (Fig. 12).



13 Chargement du marin en souterrain, tunnel de Tridel : chantier LEB - 2020
Underground muck loading, Tridel tunnel: LEB construction site – 2020

clés dans la planification générale du développement des métros (fig. 12).

6.9 Gestion des matériaux d'excavation

En 2021, le concept préliminaire de gestion des matériaux a permis de faire un bilan des quantités prévisionnelles et caractéristiques des matériaux d'excavation à gérer.

La quantité globale de matériaux d'excavation ou de terrassement à gérer dans le cadre du projet s'établit à environ 1 240 000 m³, extraits depuis dix points de sortie, situés au centre-ville pour la plupart, sur une durée de près de 5 ans.

Près de 55% des matériaux excavés seront constitués de molasse, 30% de moraine, et le reste de dépôts glacio-lacustres et remblais. Ces matériaux à granulométrie fine sont peu valorisables, et devront en grande majorité être orientés vers des filières de stockage définitif en décharge.

Ces matériaux, excavés depuis les divers points de sortie, seront ensuite acheminés vers des sites d'évacuation ferroviaires ou routiers, en vue d'être finalement transportés vers des sites de valorisation ou de stockage définitif.

La volonté du maître d'ouvrage est de maximiser les évacuations par rail pour gérer les matériaux issus du centre-ville.

Cela implique la réalisation d'un pont de chargement sur wagons connecté au réseau ferroviaire souterrain de Tridel, l'usine d'incinération de la ville. Ce mode d'évacuation pourrait générer un trafic d'environ 5 à 17 wagons par jour sur le réseau Tridel. Il a déjà été éprouvé lors de la creuse du tunnel du LEB, la ligne ferroviaire « Lausanne-Echallens-Bercher ». Seuls les matériaux en provenance de l'hypercentre seraient acheminés vers cette connexion ferroviaire souterraine (fig. 13).

Pour le reste des matériaux, dans une optique de réduction des nuisances et du trafic de camions au centre-ville de Lausanne, les matériaux issus des chantiers proches des grands axes autoroutiers seront directement évacués par camion.

L'étude des possibilités de stockage définitif des matériaux est en cours. Le défi consiste à déterminer des lieux dont la capacité sera suffisante pour ces quantités relativement importantes à l'échelle régionale du canton.

7 Conclusion

Au terme de cette présentation, l'une des problématiques centrales du projet n'a pas été développée. Il est toutefois important de la mentionner. En facilitant les déplacements, le m2 a transformé la géographie de la ville de Lausanne. Le m3 aura le même effet. Chacune des stations doit s'intégrer à son environnement urbain et offrir un maximum de connexions aux autres moyens de transport. Les enjeux sont importants et au cœur du projet, au même titre que le génie civil et le déploiement du nouveau système de métro.

6.9 Management of Excavation Materials

In 2021, the preliminary material management concept facilitated the assessment of provisional quantities of excavation materials to be handled and their characteristics.

The overall quantity of excavation materials or soil removal to be managed within the scope of the project has been calculated to be around 1,240,000 cubic metre extracted from ten exit points primarily located in the city centre over the course of almost five years.

Nearly 55% of the excavated materials will be made up of molasse, 30% moraine, and the rest glaciolacustrine deposits and backfill. With their fine particle size, these materials exhibit low recoverability and the vast majority will need to be conveyed to permanent waste storage facilities upon discharge.

These materials, excavated from various exit points, will then be conducted to rail or road evacuation sites with a view to being ultimately transported to recovery or permanent-storage sites.

The client's desire is to maximise rail evacuations to better manage the materials coming from the city centre.

This involves the implementation of a wagon loading ramp connected to the underground rail network of Tridel, the city's incineration plant. This evacuation method could generate around five to 17 wagons a day on the Tridel network. This was already tested during excavation of the LEB – regional train – tunnel. Only materials originating from the absolute centre will be conducted to this underground rail connection (Fig. 13).

For the remaining materials, those from construction sites close to major roads will be evacuated by lorry with the objective of reducing disruption and lorries in Lausanne city centre.

A study is in progress on possible permanent storage options for materials. The challenge is in determining locations with sufficient capacity for these relatively high quantities for the canton on a regional scale.

7 Conclusion

To conclude this presentation, one of the project's central problem areas has not been expanded on. It is important to mention it, however. By facilitating movement, the M2 has transformed the geography of the city of Lausanne. The M3 will have the same effect. Each of the stations must integrate into its urban environment and offer the maximum number of connections possible to other modes of transport. The challenges are significant and are central to this project, just like the civil engineering and deployment of the new metro system.

Development of Automated Metro Lines M2 and M3 • Below the city but close to the surface

Cette contribution ne se veut pour l'instant qu'une présentation générale du projet, dont les études sont à des stades très divers. Certaines parties du projet ont déjà été mises à l'enquête, certaines autres sont encore au stade de l'avant-projet.

Les prochaines années, peut-être à l'occasion des futures éditions du Swiss Tunnel Congress, il sera possible de développer certains aspects techniques et intéressants quant à la conception du point de vue du génie civil, ou de la planification et des méthodes de réalisation des travaux.

For the moment, this contribution is merely intended as a general presentation of the project, whose studies are at very different stages. Certain areas of the project have already been put out for public consultation; others are still at the design phase.

In the coming years, perhaps for future editions of the Swiss Tunnel Congress, it will be possible to expand on certain interesting technical aspects concerning the design from a civil engineering perspective, or the planning and implementation methods of the works.

DONNÉES DU PROJET

Région

Suisse, Canton de Vaud : territoires des communes de Lausanne et d'Epalinges

Client

- Pilote : Canton de Vaud, Direction générale de la mobilité et des routes
- Partenaire : tl, Transports publics de la région lausannoise
- Partenaire : Ville de Lausanne

Auteurs du projet et direction des travaux

- Système métro : groupement SyMeo
- Architecte et génie civil :
 - Opération 1 : Groupement EBS, et Architram
 - Opération 2 : Lots 2 et 5 : Groupement MAG
Lots 3 et 4 : Groupement DAVEL
 - Opération 3 : Groupement MAG-C
- Environnement : CSD

Exécution

Les entreprises de construction ne sont pas encore désignées. Les premiers appels d'offres pour entreprises sont prévus en 2023.

Caractéristiques

Période de construction (génie civil) : dès 2024, jusqu'en 2030
Mise en service : Métro m2 : horizon 2030 (sous réserve de l'obtention des permis de construire)
Métro m3 : horizon 2031 (sous réserve de l'obtention des permis de construire)

Longueur totale : 4,5 km
Section d'excavation : 65 à 120 m²

Particularités

Toutes les informations sur le projet : www.vd.ch/metros

PROJECT DATA

Region

Switzerland, canton of Vaud: area of the municipalities of Lausanne and Epalinges

Client

- Lead: Canton of Vaud, Direction générale de la mobilité et des routes
- Partner: tl, Transports publics de la région lausannoise
- Partner: City of Lausanne

Project originators and construction management

- Metro system: SyMEO consortium
- Architect and civil engineering:
 - Operation 1: EBS consortium and Architram
 - Operation 2: Lots 2 and 5: MAG consortium
Lots 3 and 4: DAVEL consortium
 - Operation 3: MAG-C consortium
- Environment: CSD

Execution

The construction companies have not yet been designated. The first calls for tender for companies are expected in 2023.

Characteristics

Construction period (civil engineering): from 2024 and until 2030
Opening: M2 metro line: expected 2030 (providing building permits are acquired)
M3 metro line: expected 2031 (providing building permits are acquired)

Total length: 4.5 km
Excavation cross-section: 65 to 120 m²

Particularities

All information on the project: www.vd.ch/metros

Francesco Caggia, Dipl. Bau-Ing. FH/SIA REG A, ASTRA, Bellinzona/CH

Filippo Civetta, Dipl. Bau-Ing., ASTRA, Bellinzona/CH

Francesco Amberg, Dipl. Bau-Ing. ETH, Lombardi AG, Giubiasco/CH

Francesco De Salvo, Dipl. Bau-Ing., Lombardi AG, Giubiasco/CH

Davide Merlini, Dipl. Bau-Ing., Pini Group SA, Lugano/CH

Marcello Zampieri, Dipl. Geol., Lombardi AG, Giubiasco/CH

N2-Tunnel Melide–Grancia

Teil 1: Beschreibung des Bauwerks und Bruchereignis

Teil 2: Verstärkung der Innenschale

Am 8. Juni 2017 stürzte ein Teil der Verkleidung des seit 1968 in Betrieb befindlichen Melide–Grancia-Tunnels auf der Autobahn N2 südlich von Lugano ein.

Das Ereignis von 2017 hat gezeigt, dass der derzeitige Zustand der Verkleidung des Tunnels nach Verstärkungsmassnahmen verlangt, welche heute unter Betrieb durchgeführt werden. Der Tunnel wurde jedoch gerade erst zwischen 2010 und 2015 instand gesetzt.

N2 Melide–Grancia Tunnel

Part 1: Description of the Structure and the Breakage Event

Part 2: Reinforcement of the Inner Lining

On 8 June 2017, part of the lining of the Melide–Grancia Tunnel, which had been in operation since 1968, collapsed on the N2 motorway south of Lugano.

The event in 2017 showed that the current status of the tunnel lining demands reinforcement measures, which are now being performed while the tunnel continues to operate. However, the tunnel was just repaired between 2010 and 2015.

1 Beschreibung des Bauwerks und Bruchereignis

1.1 Beschreibung des ursprünglichen Bauwerks

Der in den Jahren 1966 bis 1968 gebaute, 1740 m lange doppelröhrige Tunnel Melide–Grancia befindet sich entlang der Autobahn N2 südlich von Lugano. Es handelt sich um den ersten realisierten Autobahntunnel im Tessin, er wurde von einer Generalunternehmung gebaut. Das innere Hufeisenprofil der Verkleidung ist etwa 10 m breit und 7 m hoch und jedes Rohr weist zwei Fahrspuren auf. Im zentralen Bereich des Tunnels erreicht die maximale Gebirgsüberlagerung 370 m.

Die Tunnelauskleidung besteht aus einem unbewehrten Betonring mit variabler Stärke zwischen 30 cm und 80 cm, je nach den geotechnischen und hydrologischen Randbedingungen. Nachdem die Wasserinfiltrationen aus dem Gebirge gefasst worden waren, wurde die Auskleidung direkt gegen den Felsen (oder gegen die Sicherungsmassnahmen) betoniert.

Die Zwischendecke, welche den Verkehrsraum von den Lüftungskanälen trennte, sowie vorgefertigte seitliche

1 Description of the Structure and the Breakage Event

1.1 Description of the Original Structure

The 1,740 m long, twin-tube Melide–Grancia Tunnel, which was built in the years 1966 to 1968, is located along the N2 motorway south of Lugano. It is the first motorway tunnel that was realised in the Canton of Ticino, and was built by a General Contractor. The internal horseshoe profile of the lining is about 10 m wide and 7 m high, and each tunnel has two lanes. In the central area of the tunnel the maximum ground overburden reaches 370 m.

The tunnel lining consists of an unreinforced concrete ring with a variable thickness between 30 cm and 80 cm, depending on the geotechnical and hydrological boundary conditions. After the water infiltrations from the ground had been caught, the lining was concreted directly against the rock (or against the primary support measures).

The intermediate ceiling, which separated the traffic area from the ventilation ducts as well as prefabricated lateral in-

N2 Melide–Grancia Tunnel •

Part 1: Description of the Structure and the Breakage Event

Part 2: Reinforcement of the Inner Lining

Tunnel Melide-Grancia sur la N2

Partie 1 : description de l'ouvrage et de l'effondrement

Partie 2 : renforcement du revêtement intérieur

Après le démantèlement de la couche intermédiaire, pour éviter l'infiltration des eaux du massif depuis la calotte sur la voie de circulation, des injections d'hydrogel ont été effectuées dans les années 2010 à 2013 pour assurer l'étanchéité. Cette intervention a cependant entraîné une augmentation de la pression exercée par l'eau du massif sur l'extrados du revêtement. L'effondrement a montré clairement qu'il faut renforcer le revêtement fragile du tunnel et procéder à la reconstitution du dispositif de drainage. Les travaux s'effectuent la nuit malgré les difficultés et les obstacles que cela représente, étant donné que le tunnel doit rester en service en journée compte tenu de l'importance du trafic.

N2 galleria Melide-Grancia

Parte 1: descrizione dell'opera e del crollo

Parte 2: rafforzamento del rivestimento interno

Successivamente allo smantellamento della soletta intermedia, per evitare l'ingresso dell'acqua di montagna dalla calotta sulla carreggiata, negli anni compresi tra il 2010 e il 2013 sono state effettuate delle iniezioni isolanti con idrogel. Questo intervento ha tuttavia causato un aumento della pressione esercitata sull'estradosso del rivestimento dall'acqua presente nell'ammasso roccioso. Il crollo ha dimostrato chiaramente la necessità di procedere al rafforzamento del fragile rivestimento della galleria e al ripristino del drenaggio. I lavori sono attualmente svolti durante la notte con tutte le difficoltà e gli impedimenti del caso, dato che la galleria deve rimanere in esercizio durante il giorno in considerazione del forte traffico.

Innenwände erlaubten allfälliges durch die Tunnelverkleidung eindringendes Bergwasser in die Hauptdrainage abzuleiten.

Im ersten, 350 m langen Abschnitt des Tunnels Melide–Grancia, vom Nordportal ausgehend, wurde zusätzlich eine Hauptabdichtung auf der inneren Seite der Tunnelverkleidung platziert. Dies war wegen Frostgefahr erforderlich. Dazu waren in diesem Bereich auch höhere Wassereintritte prognostiziert als in den Bereichen mit grösserer Gebirgsüberlagerung. Um die nicht selbsttragende Abdichtung zu stützen, wurde es notwendig, einen zweiten innenliegenden Betonring anzubringen (Bild 1). Dieser Ring, auch als Schutzgewölbe bezeichnet, war nicht dafür ausgelegt, bedeutende Wasserdrücke aufzunehmen, betrachtet man seine begrenzte Dicke von nur 30 cm, das Fehlen einer Bewehrung sowie das Vorhandensein der Nische für die Aufhängung der Zwischendecke.

Aus den Dokumenten [1], [2], [3] und [4] geht hervor, dass in den 60er-Jahren folgende Massnahmen vorgesehen waren, um Wassereintritte in den Tunnelraum zu vermeiden:

- Vorabdichtung: lokale Entnahmen, Abdichtungsfolien und Rohre zum Sammeln und Ableiten der Wasseranfälle vor dem Betonieren des Gewölbes (Aussenring, im Falle eines Doppelrings). Wobei der Begriff «Abdichtung» hierbei nicht ganz korrekt ist, da es sich hauptsächlich um eine Drainage handelt, welche das aus dem Massiv anfallende Wasser zum Hauptsammler des Tunnels transportieren sollte. Dies war eine notwendige Massnahme, um den Betonring bauen zu können, aber zu jener Zeit wurde er auch als dauerhaftes Entwässerungssystem akzeptiert [3] (wenn auch mit einigen Vorbehalten). Zwischen Ausbruchssicherung und Betonverkleidung war somit keine systematische Drainage- und Abdichtungsschicht zu finden, wie es heute üblich ist.

Internal walls, allowed any groundwater penetrating through the tunnel lining to be drained off in the main drainage pipe.

In the first 350 m long section of the Melide–Grancia Tunnel starting from the northern portal, a main waterproofing system was additionally placed on the internal side of the tunnel lining. This was necessary due to the danger of freezing. Higher water ingress was predicted in this area than in the areas with a greater ground overburden. To support the non-self-bearing waterproofing system, it was necessary to install a second internal concrete ring (Fig. 1). This ring, also known as a protective vault, was not designed to resist significant water pressures, given its limited thickness of only 30 cm, the lack of reinforcement and the presence of the niche for the suspension of the intermediate ceiling.

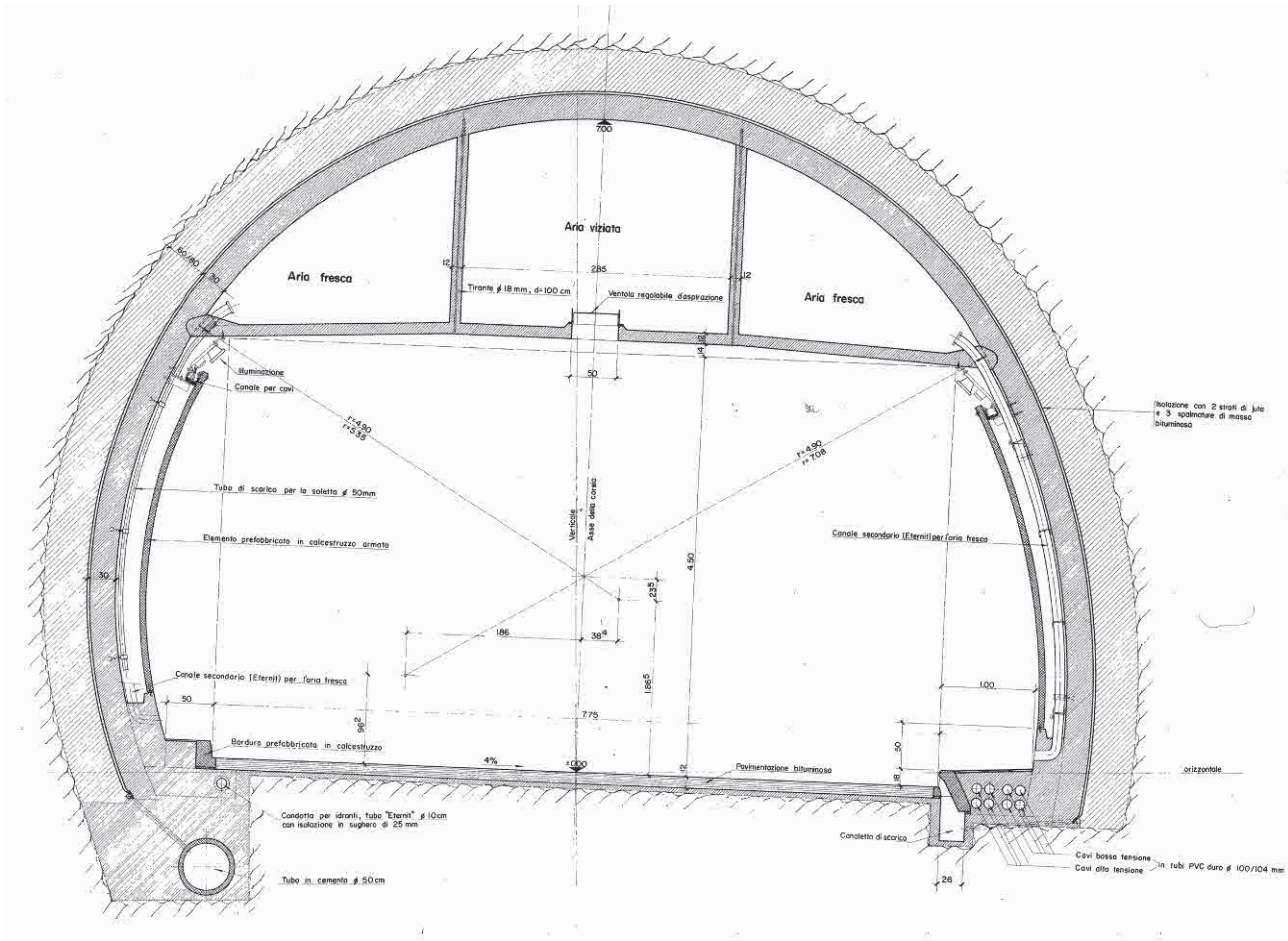
Documents [1], [2], [3] and [4] indicate that in the 1960s the following measures were planned to prevent water ingress in the tunnel space:

- Primary waterproofing system: capture of local water ingress, sealing sheeting and pipes to collect and drain the water ingress before the concreting of the vault (outer ring in case of a double ring). The term “waterproofing system” is not entirely correct here, because it primarily involves drainage, which was intended to transport the water arising from the massif to the main collector of the tunnel. This was a necessary measure to make it possible to build the concrete ring, but at that time it was also accepted as a permanent drainage system [3] (although with a few reservations). Between excavation support and concrete lining there was therefore no systematic drainage and waterproofing system layer, as is common today.

N2-Tunnel Melide–Grancia •

Teil 1: Beschreibung des Bauwerks und Bruchereignis

Teil 2: Verstärkung der Innenschale



Quelle/credit: ASTRA-Archiv

1 Ursprünglicher Tunnelquerschnitt im nördlichen Bereich mit Doppelring und Hauptabdichtung im Zwischenraum (ursprünglicher Zustand mit Zwischendecke und seitlichen Innenwänden)

Original tunnel cross-section in the northern area with double ring and main waterproofing system in the gap (original status with intermediate ceiling and lateral internal walls)

- Hauptabdichtung: in den Abschnitten mit möglicher Eissbildung im Winter, typischerweise in der Nähe der Portale und in den Kanälen der Frischluftzufuhr. Das Dokument [1] von 1963 erwähnt zwei Lösungen: bei Gebirge guter Qualität, wo keine Betonverkleidung erforderlich war, Auftragen von Epoxidharz auf die Oberfläche, ansonsten die Lösung mit einem Doppelring (Trag- und Schutzgewölbe) und armierten Bitumenbahnen im Zwischenraum. In den Dokumenten [2], [3] und [4], welche von 1969 bis 1977 erstellt wurden, wurden auch andere Lösungen vorgestellt, wonach davon auszugehen ist, dass es keine standardisierte und konsolidierte Praxis gab. Das Ganze befand sich in der Entwicklung.

Die Hauptabdichtung in der Strecke mit Doppelring des Tunnels Melide–Grancia, bestehend aus zwei Schichten Jute und drei Bitumenbeschichtungen, entspricht dem eben erwähnten bewehrten Bitumen. Jute ist daher die «Bewehrung» dieser Abdichtung. Auch in dem Dokument [4] ist die Rede von «sealing sheets of bitumen modified with synthetics».

Es scheint daher, dass Jute eher die Funktion einer Bewehrung und nicht diejenige einer drainierenden Schicht hat.

- Secondary main waterproofing system: in the sections with possible ice formation in winter, typically near the portals and in the fresh-air-supply ducts. Document [1] from 1963 mentions two solutions: for ground of good quality, where no concrete lining was necessary, application of epoxy resin on the surface, otherwise the solution with a double ring (bearing and protective vault) and reinforced bituminous sheeting in the gap. In documents [2], [3] and [4], which were created from 1969 to 1977, other solutions were also presented, from which it can be assumed that there was no standardised and consolidated practice. It was all being developed.

The secondary main waterproofing system in the stretch of the Melide–Grancia Tunnel with a double ring, consisting of two layers of jute and three bitumen coatings, corresponds to the above-mentioned reinforced bitumen. Jute is therefore the “reinforcement” of this waterproofing system. Also in document [4] there is talk of “sealing sheets of bitumen modified with synthetics”.

It therefore appears that jute has more the function of a reinforcement rather than that of a draining layer. Therefore,

N2 Melide–Grancia Tunnel •

Part 1: Description of the Structure and the Breakage Event

Part 2: Reinforcement of the Inner Lining

Über die Drainagewirkung der im Hohlraum zwischen den beiden Ringen vorhandenen Abdichtung könnte daher eine gewisse Unsicherheit bestehen bleiben.

Der Zwischenraum zwischen beiden Betonringen hat jedoch Entwässerungsröhre am Fusse der Paramente, womit ein übermässiger Anstieg des Wasserdrucks vermieden werden kann. Die Wirksamkeit des Entwässerungselements hängt sehr stark von der Wassermenge ab, welche den äusseren Betonring passieren kann; sie ist jedoch minimal.

Die Thematik der Wasserinfiltration existiert seit der Inbetriebnahme des Tunnels. In der Tat wurden in der Vergangenheit bereits Massnahmen getroffen, um die Wasserinfiltrationen besser zu kontrollieren, wie die Beschichtung der Zwischendecke mit flüssigem Asphalt, die Installation von Stahlblechen, Injektionen, lokale Wasserentlastungsbohrungen usw.

1.2 Sanierungsarbeiten 2008–2015

Um den Tunnel auf den heutigen Sicherheitsstandard zu bringen, wurden in den Jahren 2008 bis 2015 einige Erhaltungsarbeiten durchgeführt:

- 2008–2009 Bau eines technischen Stollens zwischen den beiden Röhren;
- 2010–2013 Abdichtungsinjektionen mit Hydrogel [5], mit dem Zweck, das Eindringen von Wasser in den Tunnel zu reduzieren, indem ein Injektionsschleier im Untergrund in den Bereichen der beobachteten Feuchtstellen zu erstellen ist (sowohl im Einzelring- als auch im Doppelringabschnitt);
- 2012–2015 Abriss der Zwischendecke und Einrichtung der neuen elektromechanischen Installationen.

1.3 Niederbruch der Betonverkleidung am 8. Juni 2017

Ein Teil des inneren Schutzgewölbes, geschätzt auf ein Betonvolumen von etwa 2,5 m³, stürzte plötzlich auf die Überholspur in der Nord-Süd-Röhre in einem Abstand von 190–195 m vom Nordportal. Der Bruchkörper war nach oben von der Nische für die Aufhängung der Zwischendecke begrenzt, seitlich und nach unten von Rissen sowie teilweise von der Fuge zwischen den Verkleidungsblöcken (Bild 2). Beim Einsturz wurde ein Fahrzeug leicht beschädigt, Menschen kamen jedoch nicht zu Schaden. Das äussere, tragende, 80 cm dicke Traggewölbe ist intakt geblieben. Im Hohlraum zwischen den beiden Gewölben wurde Hydrogel beobachtet und es war die Anwesenheit der Hauptabdichtung erkennbar.

Erste Massnahmen zur provisorischen Sicherung der Einsturzstelle wurden sofort getroffen, indem die Kalotte auf Höhe der Nische für die Aufhängung der Zwischendecke von unten abgestützt wurde. Der Tunnel konnte somit gleich wieder in Betrieb gesetzt werden.

2 Sofortmassnahmen

Die Beurteilung des Zustandes der Tunnelauskleidung startete unmittelbar nach dem Ereignis mittels visueller

some uncertainty persisted about the drainage effect of the waterproofing system present in the cavity between the two rings.

However, the gap between the concrete rings has drainage pipes at the foot of the side walls, with which an excessive increase of the water pressure can be prevented. The effectiveness of the drainage element depends to a very large extent on the amount of water that can pass through the external concrete ring; however, this is minimal.

The topic of water infiltration has existed since the start of operation of the tunnel. In fact, in the past, measures were already implemented to better control the water infiltrations, such as coating the intermediate ceiling with liquid asphalt, installing steel sheets, injections, local water drainage drillholes, etc.

1.2 Renovation Work 2008–2015

To bring the tunnel up to the current safety standard, some maintenance work was performed in the years 2008 to 2015:

- 2008–2009 construction of a technical gallery between the two tubes.
- 2010–2013 sealing injections with hydrogel [5] with the aim of reducing the penetration of water into the tunnel by creating an injection curtain in the substrate in the areas of the observed wet patches (both in the single-ring and in the double-ring section).
- 2012–2015 demolition of the intermediate ceiling and installation of the new electromechanical installations.

1.3 Breakage Event of the Concrete Lining on 8 June 2017

A part of the internal protective vault, estimated to have a concrete volume of about 2.5 m³, suddenly collapsed on the overtaking lane of the north–south tube at a distance of 190–195 m from the northern portal. The unstable block was bordered above by the niche for the suspension of the inter-



2 Niederbruch des inneren Schutzgewölbes (Foto vom 08.06.2017)
Cave-in of the internal protective vault (photo dated 08.06.2017)

Quelle/credit: Lombardi AG

Inspektionen, Laserscan, Georadar und Laboruntersuchungen. Eine Überwachung startete auch sofort mit der Messung von Grundwasserdrücken ausserhalb der Tunnelverkleidung und allfälliger Bewegungen zwischen benachbarten Verkleidungsblöcken mittels oberflächlich angebrachter Glasfaserkabel.

Der sich daraus ergebende Zustand war nicht besonders befriedigend:

- Die Wasserdrücke waren nicht zu hoch, jedoch war die Zuverlässigkeit der gemessenen Werte wegen der sehr tiefen Durchlässigkeit des Gebirges nicht eindeutig. Ein minimaler Wasserverlust durch die Packer könnte bereits die Messwerte abmindern.
- Der innere Betonring wies diverse Defekte auf wie Unterprofile und Kiesnester.
- Das Hydrogel war instabil. Bei Fugen und bei Bohrungen wurden häufig Gelaustritte beobachtet.

Von da an wurden auch Massnahmen in zwei Phasen getroffen, um die Sicherheit gegenüber weiteren potenziellen Einstürzen vorübergehend zu erhöhen.

Phase 1 (Periode Juni–August 2017):

- Wiederherstellung des inneren Betonrings beim Verkleidungsblock 28, wo der obere Teil des Paraments eingestürzt war;
- Verstärkung des Verkleidungsblockes 32, welcher ein ähnliches Rissbild aufwies wie Verkleidungsblock 28;
- Entlastungsbohrungen \varnothing 32 mm alle 3,5 m in Tunnellängsrichtung bei jedem Parament im Bereich des Doppelrings.

Phase 2 (Periode September–Dezember 2017):

- Verstärkung der Entlastungsbohrungen (die Bohrungen der Phase 1 wurden ständig durch Hydrogel verstopft);
- Drainagevorrichtungen, um das aus den Entlastungsbohrungen kommende Wasser abzuleiten;
- Verstärkung des inneren Betonrings mittels Füllung der Nische für die Aufhängung der Zwischendecke mit dem Zweck, eine statische Kontinuität zwischen neuem und altem Beton zu erreichen.

3 Mittelfristige Instandsetzung des Tunnels

3.1 Kritikalität im Tunnel und Hauptziele der Sanierung

Auch nach Ausführung der obenerwähnten Massnahmen blieben potenzielle kritische Bedingungen über die gesamte Tunnellänge bestehen:

- Koexistenz einer brüchigen Verkleidung infolge fehlender Bewehrung und hydrostatischer Drücke, welche den strukturellen Widerstand möglicherweise überschreiten könnten;
- Risiken für den Betrieb durch Wassereintritte und Eisbildung im Tunnel sowie durch Hydrogel auf der Fahrbahn.

Aufgrund der angetroffenen Kritikalität war eine generelle Sanierung des Tunnels erforderlich, wobei die folgenden

mediate ceiling, laterally and below by cracks and partially by the joint between the lining blocks (Fig. 2). One vehicle sustained light damage due to the collapse, however no one was injured. The external, bearing, 80 cm thick bearing vault remained intact. In the cavity between the two vaults hydrogel was observed, and the presence of the main secondary waterproofing system was identifiable.

The first measures for provisionally securing the collapse site were implemented immediately by supporting the top heading at the height of the niche for suspending the intermediate ceiling from below. As a result, it was possible to resume the operation of the tunnel immediately.

2 Immediate Measures

The appraisal of the condition of the tunnel lining began immediately after the event by means of visual inspections, laser scan, ground radar and laboratory analyses. Monitoring also began immediately with the measurement of groundwater pressures outside the tunnel lining and possible movements between neighbouring lining blocks by means of fibre optic cable attached to the surfaces.

The condition these measures revealed was not particularly satisfactory:

- The water pressures were not too high, however, due to the very high permeability of the ground, the reliability of the measured values was ambiguous. A minimal loss of water due to the packers could already reduce the measured values.
- The inner concrete ring showed various defects such as subprofiles and rock pockets.
- The hydrogel was unstable. Gel ingresses were often observed at joints and at boreholes.

From then on measures were also implemented in two phases in order to temporarily increase the safety with regard to additional potential collapses.

Phase 1 (period of June–August 2017):

- Restoration of the internal concrete ring at lining block 28, where the top part of the sidewall collapsed.
- Reinforcement of lining block 32, which exhibited a crack pattern similar to that of lining block 28.
- Pressure relief boreholes \varnothing 32 mm every 3.5 m in the longitudinal direction of the tunnel at each sidewall in the area of the double ring.

Phase 2 (period of September–December 2017):

- Intensification of the pressure relief boreholes (the boreholes of phase 1 were constantly clogged with hydrogel).
- Drainage devices to drain off the water coming out of the pressure relief drill holes.
- Reinforcement of the internal concrete ring by filling the niche for suspending the intermediate ceiling with the aim of achieving static continuity between the new and old concrete.

N2 Melide–Grancia Tunnel •

Part 1: Description of the Structure and the Breakage Event

Part 2: Reinforcement of the Inner Lining

Hauptziele zu verfolgen waren:

- strukturelle Verstärkung der Tunnelverkleidung;
- Reduktion von Wassereintritten hin zur Fahrbahn;
- Drainage des Gebirgswassers zur Reduktion des Wasserdrucks auf die Verkleidung.

3.2 Randbedingungen

Der Melide–Grancia-Tunnel ist am frühen Morgen in Richtung Norden und am späten Nachmittag in südlicher Richtung durch Pendlerverkehr (insbesondere den grenzüberschreitenden Verkehr) stark überlastet. Die Sanierungsarbeiten am Tunnel waren so durchzuführen, dass tagsüber beide Tunnelröhren in Betrieb bleiben konnten. Für die Sanierungsarbeiten wurde daher die Sperrung einer Tunnelröhre in den nächtlichen Stunden vorgesehen, während die andere Röhre den Verkehr dann in beide Richtungen aufnehmen sollte.

Die Nutzungsdauer der Intervention wurde auf 20 Jahre festgelegt, um so den Zeitraum zwischen dem Ende der betreffenden Sanierung und dem Abschluss des Projektes zur Engpassbeseitigung des Autobahnabschnitts zwischen Lugano und Mendrisio (sog. Projekt PoLuMe), in dem der Rückbau der betreffenden Tunnelstrukturen geplant ist, abzudecken. In diesem Zusammenhang wird eine der beiden Röhren aufgeweitet werden (bei der die gesamte Verkleidung abgebaut wird), während die andere Röhre für den Verkehr offenbleiben wird; daher soll die aktuelle Sanierung auch die volle Sicherheit der Arbeiten während dieser künftigen Bauphasen gewährleisten.

3.3 Instandsetzungsmassnahmen

3.3.1 Strukturelle Verstärkung der Tunnelauskleidung

Um das Einsturzrisiko der Tunnelverkleidung zu minimieren, wurden verschiedene Lösungen betrachtet:

- «diskontinuierliche» Stützmittel: beispielsweise durch Anbringung von Stahlprofilen in regelmässigen Abstand (Bild 3), eventuell verstärkt mit Stahlbeton zwischen benachbarten Stahlprofilen (Bild 4);
- «kontinuierliche» Stützmittel (Bild 5): durch eine Stahlbetonauskleidung mittels verlorener (mitwirkend oder nicht mitwirkend) oder normaler Schalung.

Aus dem Variantenvergleich wurde die Lösung der durchgehenden Innenschale wegen der folgenden Vorteile vorgeschlagen:

- statisch unabhängig von der bestehenden Verkleidung, deren tatsächlicher Beitrag zum Widerstand ungewiss bleibt;

3 Medium-Term Repair of the Tunnel

3.1 Criticality in the Tunnel and Main Goals of the Renovation

Even after implementing the measures mentioned above, potential critical conditions still existed over the entire length of the tunnel:

- Coexistence of a fragile lining due to a lack of reinforcement and hydrostatic pressures, which could possibly exceed the structural resistance.
- Risks for the operation due to water ingress and ice formation in the tunnel as well as due to hydrogel on the carriageway.

Based on the criticality that was found, a general renovation of the tunnel was necessary, in which the following main goals were to be pursued:

- Structural reinforcement of the tunnel lining.
- Reduction of the water ingress to the carriageway.
- Drainage of the water to reduce the water pressure on the lining.

3.2 Boundary Conditions

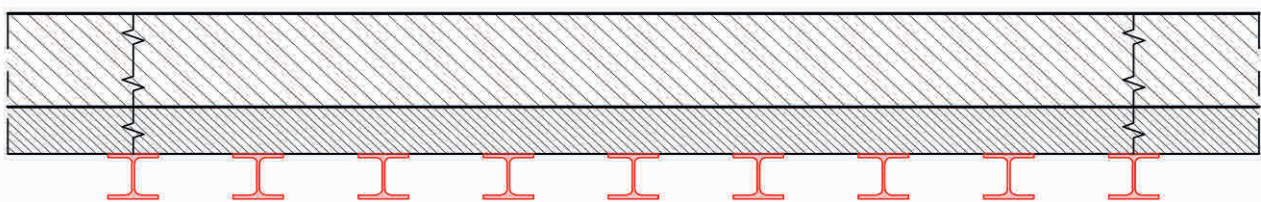
The Melide–Grancia Tunnel is heavily overburdened by commuter traffic (particularly cross-border traffic) in the early morning in the northern direction, in the late afternoon in the southern direction. The renovation work on the tunnel was to be performed in such a way that both tunnel tubes could remain in operation during the day. For the renovation work the closure of one tunnel tube in the night-time hours was scheduled, while the other tube was to accept bidirectional traffic.

The service life of the intervention was determined to be 20 years to cover the period between the end of the renovation in question and the conclusion of the project for bottleneck removal on the motorway section between Lugano and Mendrisio (the so-called PoLuMe project), in which the decommissioning of the tunnel structures in question is planned. In this context, one of the two tubes will be enlarged (for which the entire lining will be removed), while the other tube will remain open for traffic; therefore, the current renovation should also guarantee the complete safety of the work during the future construction phases.

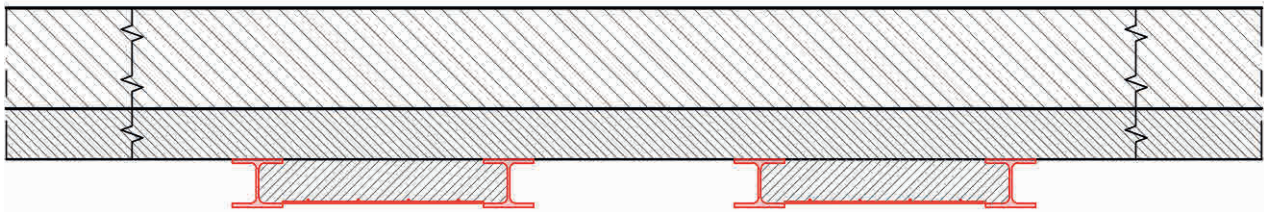
3.3 Repair Measures

3.3.1 Structural Reinforcement of the Tunnel Lining

To minimise the risk of the collapse of the tunnel lining, various solutions were considered:



3 Diskontinuierliche Stützmittel mit Anbringung von Stahlprofilen
Discontinuous means of support with installation of steel profiles



Quelle/credit: Consorzio TILUME

4 Diskontinuierliche Stützmittel mit Stahlbetonrippen zwischen benachbarten Stahlprofilen
Discontinuous means of support with reinforced concrete ribs between neighbouring steel profiles

- maximale statische Wirkung;
- bessere Brandbeständigkeit;
- Verringerung von Wassereintritten auf der Fahrbahn durch die Abdichtung zwischen der Innenschale und der bestehenden Verkleidung;
- erhöhte Sicherheit bei Unfällen mit Anprall gegen die Tunnelwand;
- hoher Fahrkomfort dank des regelmässigen und kontinuierlichen Wandprofils.

3.3.2 Vorgeschlagene strukturelle Stützmassnahme

Die Realisierung der Innenschale nur nachts mit täglichen Sperrungen des Tunnels für den Verkehr ist mit erheblichen technischen Schwierigkeiten verbunden. Das notwendige Schalungssystem darf in keiner Weise den Verkehrsraum beeinträchtigen.

Es wurde daher entschieden, gebogene Predalles-Elemente zu verwenden, welche keine zusätzlichen Elemente benötigen, die den Verkehr beeinträchtigen könnten. Es handelt sich um selbsttragende Ringsegmente aus vorgefertigtem Stahlbeton (Bild 6). Nach der Installation dieser Elemente wird der Hohlraum dahinter mit selbstverdichtendem Beton verfüllt.

Das System aus zwei Stücken erlaubt eine isostatische Bogenstruktur mit drei Scharnieren zu schaffen, welche an der vorhandenen Verkleidung stabilisiert wird. Dies ermöglicht die Wiederöffnung des Tunnels für den Verkehr in absoluter Sicherheit, ohne dass sofort mit der Betonhinterfüllung begonnen werden muss. Um mögliche die Fahrbahn betreffende Wasserinfiltrationen zu reduzieren, ist eine PVC-Platte am Übergang von zwei Auskleidungselementen vorgesehen.

- “Discontinuous” means of support: for example, by installing steel profiles at regular intervals (Fig. 3), possibly reinforced with reinforced concrete between neighbouring steel profiles (Fig. 4).
- “Continuous” means of support (Fig. 5): by a reinforced concrete lining by means of lost (contributing or non-contributing) or normal formwork.

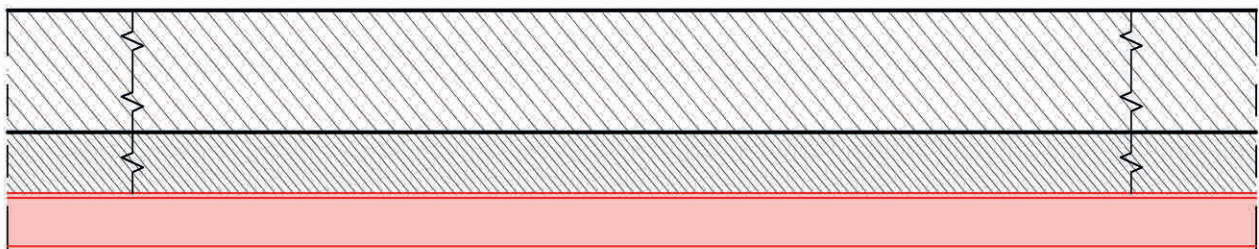
From the comparison of variants, the solution of the continuous inner lining was suggested due to the following advantages:

- Statically independent of the existing lining, whose actual contribution to the resistance remains uncertain.
- Maximum static effect.
- Better fire resistance.
- Reduction of water ingress on the carriageway due to the waterproofing system between the inner lining and the existing lining.
- Increased safety in case of accidents with impact against the tunnel wall.
- High driving comfort thanks to regular and continuous wall profile.

3.3.2 Suggested Structural Support Measure

The implementation of the inner lining only at night with daily closures of the tunnel to traffic is associated with significant technical difficulties. The required formwork system must not impair the traffic area in any way.

The decision was therefore made to use curved predalles elements, which do not require any additional elements that could affect traffic. They are self-bearing ring elements made of prefabricated reinforced concrete (Fig. 6). Following the installation of the elements, the cavity behind them is filled with self-compacting concrete.



Quelle/credit: Consorzio TILUME

5 Kontinuierliche Stützmittel (durchgehende Innenschale)
Continuous means of support (continuous inner lining)

N2 Melide–Grancia Tunnel •

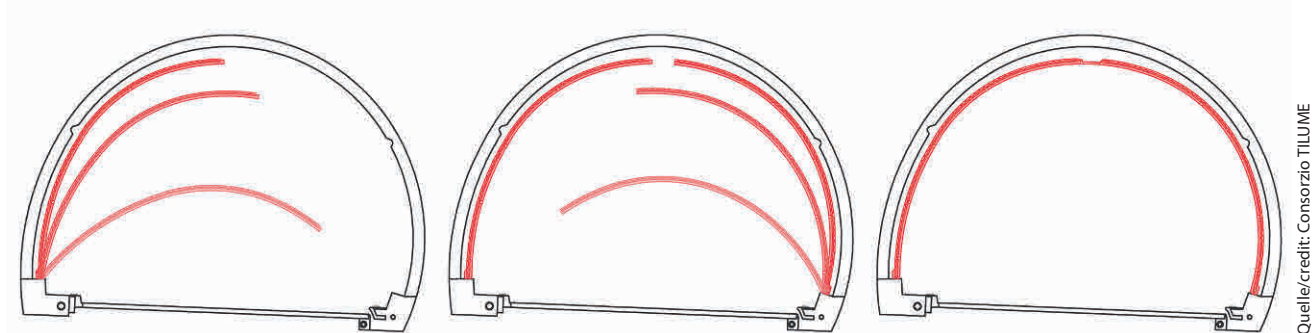
Part 1: Description of the Structure and the Breakage Event

Part 2: Reinforcement of the Inner Lining

In Anbetracht der verkürzten Nutzungsdauer der Massnahme, die den künftigen Arbeiten zur Tunnelerweiterung im Bereich PoLuMe entspricht, wurde von vornherein auf eine kostspielige Erweiterung der Innenschale über den gesamten Tunnel verzichtet (eine Massnahme, die im Falle einer Sanierung mit normaler Nutzungsdauer sicherlich vorzuziehen wäre). Die Notwendigkeit der Erweiterung der Verkleidung mit einer Innenschale wurde daher mittels einer Risikoanalyse ermittelt, welche ergab, dass darauf verzichtet werden kann, sofern die vorhandene Verkleidung robuster ist, z.B. in Tunnelabschnitten mit einer (nicht verschlissenen) Verkleidungsdicke von 60 cm.

The two-piece system allows for the creation of an isostatic arch structure with three hinges, which is stabilised on the existing lining. This allows for the reopening of the tunnel to traffic with absolute safety without having to start the concrete backfilling immediately. To reduce water infiltrations that possibly affect the carriageway, a PVC plate is planned on the transition of two lining elements.

In view of the shortened service life of the measure, which corresponds to the future work for tunnel expansion in the PoLuMe area, from the beginning a costly expansion of the inner lining of the entire tunnel was not considered



Quelle/credit: Consorzio TILUME

6 Innenring-Konzept mit Predalles-Platten
Inner ring concept with predalles slabs

3.4 Drainage

Die Entwässerung ist so auszulegen, dass sie den auf die Tunnelverkleidung wirkenden Wasserdruck reduziert. Hierbei stellt die Anwesenheit von instabilen Hydrogelen nahe der Verkleidung eine grosse Herausforderung dar. Das Hydrogel könnte das neue Entwässerungssystem verstopfen und einen Effizienzverlust verursachen. Es wurde daher ein Drainagesystem entwickelt, welches trotz Anwesenheit von Hydrogel weiter funktionieren kann. Um das Verstopfungsrisiko zu begrenzen, wurden Drainagebohrungen ausgeführt, welche in den ersten Metern entsprechend verrohrt sind, damit das mit Hydrogel verunreinigte Wasser dort nicht gefasst wird. Dieser verrohrte Abschnitt ist dann mit den verbleibenden Bohrlochmetern mit einem Schlitzrohr verbunden.

So wird das Wasser ausschliesslich in einem gewissen Abstand von der Verkleidung drainiert, welcher – so die Annahme – nicht mit Hydrogel verunreinigt ist.

Bild 7 veranschaulicht das Konzept der Realisierung von Drainagebohrungen ausgehend von sogenannten offenen Schlitzten, welche innerhalb der neuen Innenschale liegen. Die offenen Schlitzte ermöglichen auch die Unterbringung von Wellrohren, welche dann mit einem abnehmbaren Metallblech abgedeckt sind und so die Wandverkleidung homogen machen.

Im Gegensatz zur Innenschale ergab die Risikoanalyse die Notwendigkeit, das Entwässerungskonzept auf den gesamten Tunnel auszuweiten (systematische Entwässe-

(a measure that would certainly be preferable in case of a renovation with a standard service life). The necessity of expanding the lining with an inner lining was therefore determined by means of a risk analysis, which showed that the inner lining is not necessary if the existing lining is more robust, e.g. in tunnel sections with a (not worn-out) lining thickness of 60 cm.

3.4 Drainage

The drainage must be designed so that it reduces the water pressure acting on the tunnel lining. Here the presence of unstable hydrogels near the lining represents a great challenge. The hydrogel could clog the new drainage system and cause a loss of efficiency. Therefore, a drainage system was developed that can continue to function despite the presence of hydrogel. To limit the risk of clogging, drainage boreholes were implemented which are lined over the first few meters so that water contaminated with hydrogel is not caught there. This lined section is then connected with the remaining borehole meters with a slot pipe.

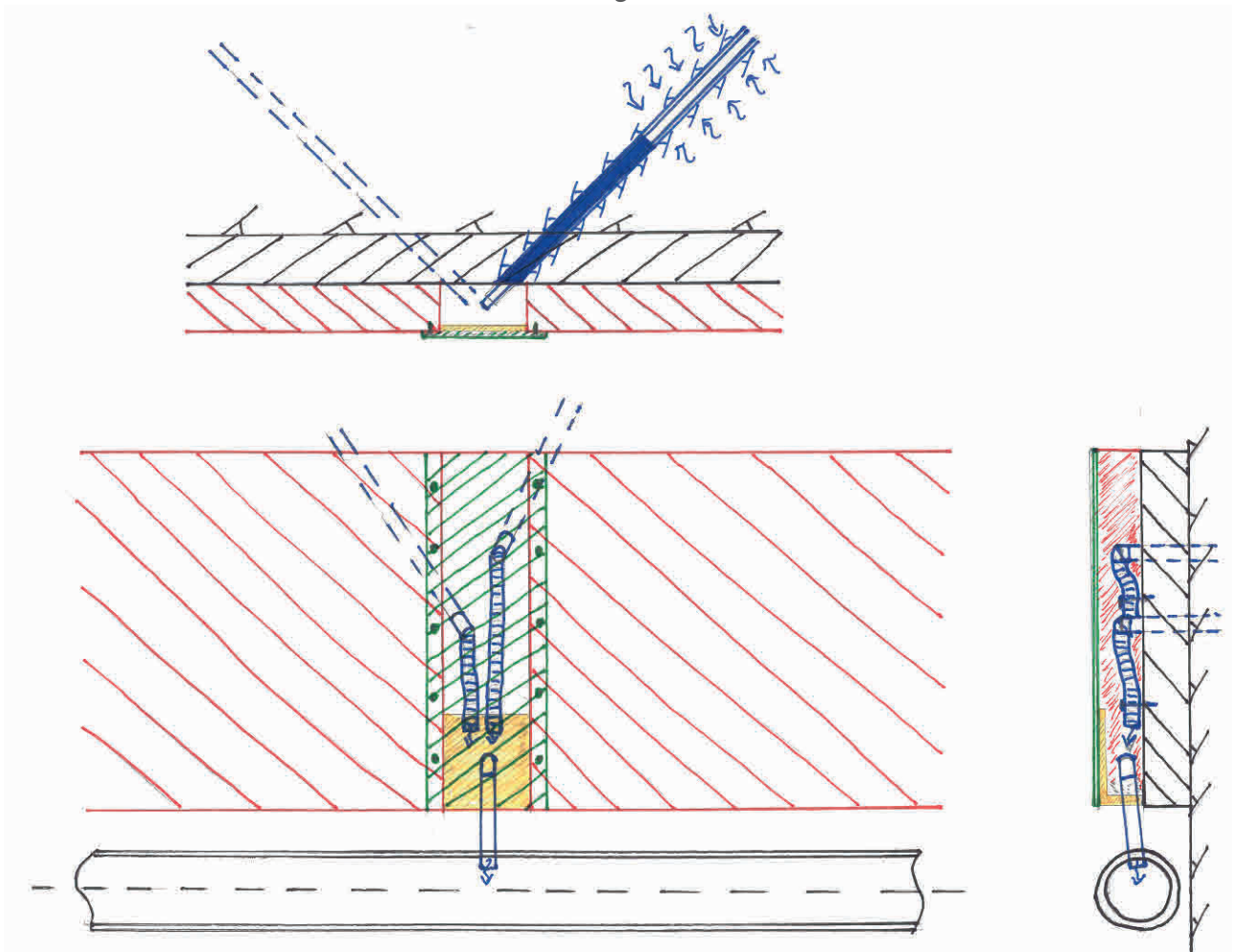
As a result, the water is drained from the lining only at a certain distance, which – it is assumed – is not contaminated with hydrogel.

Fig. 7 illustrates the concept of the realisation of drainage boreholes originating from so-called open slots which lie within the new inner lining. The open slots also allow for the accommodation of corrugated pipes which are covered with a removable metal plate, thus making the wall lining homogeneous.

N2-Tunnel Melide–Grancia •

Teil 1: Beschreibung des Bauwerks und Bruchereignis

Teil 2: Verstärkung der Innenschale



Quelle/credit: Consorzio TILUME

7 Drainagevorrichtung

Drainage device

ung), um die hydraulische Belastung der Verkleidung zu begrenzen.

4 Ausführungsprojekt und Realisierungsphase

4.1 Bauprogramm

Das Arbeitsprogramm beinhaltet folgende Bedingungen:

- Nachtsperren von 21.30 bis 4.30 Uhr;
- Einheitsleistungen etwa 5 m pro AT;
- Arbeitsdauer Röhre Süd–Nord 20 Mt., Röhre Nord–Süd 18 Mt.;
- bauliche Massnahmen im Gewölbereich sind mit den zeitgleich stattfindenden Arbeiten an der BSA eng zu koordinieren, max. 300 m Tunnel-Freistrecke, um die Mindestbetriebsbedingungen zu gewährleisten;
- bauliche Massnahmen im Bankett erfolgen unabhängig von den BSA-Arbeiten.

4.2 Verantwortlichkeiten

Der Projektverfasser ist allgemein für die Ausführungsplanung verantwortlich. Der Unternehmer ist für die Projektierung der Detailplanung der Predalles (insbesondere der vorfabrizierten Elemente) inkl. deren Bemessung und für die statischen Nachweise verantwortlich. Der Projektverfasser ist

In contrast to the inner lining, the risk analysis showed the necessity of expanding the drainage concept to the entire tunnel (systematic drainage) to limit the hydraulic load on the lining.

4 Implementation Project Plan and Realisation Phase

4.1 Construction Schedule

The work programme includes the following conditions:

- Night closures from 9.30 p.m. to 4.30 a.m.
- Unit outputs of about 5 m per working day.
- Work duration of south–north tubes 20 months, north–south tubes 18 months.
- Construction measures in the vault area must be closely coordinated with the work on the operational and safety equipment being performed simultaneously, max. 300 m free stretch of tunnel to ensure the minimum operating conditions.
- Construction measures in the walkway are carried out independently of the operational and safety equipment work.

4.2 Responsibilities

The Project Designer is generally responsible for the detailed design. The Contractor is responsible for the good

N2 Melide–Grancia Tunnel •

Part 1: Description of the Structure and the Breakage Event

Part 2: Reinforcement of the Inner Lining

für die Validierung der vom Unternehmer erstellten Detailplanung verantwortlich.

4.3 Änderungen und Optimierungen während der Ausführungsphase

Während der Ausführungsphase wurden insbesondere die folgenden Änderungen und Optimierungen durchgeführt:

- Reduzierung der Länge der Fertigteillemente;
- Anpassung der baulichen Ausführung von Nischen und Portalen: Rückverankerung der Longarinen und Anker mit dem Stahlrahmen;
- Verzicht auf neue Piezometer und Verringerung der Anzahl Piezometer, die in der Betriebsphase beibehalten werden sollen;
- Reduzierung der baulichen Massnahmen im Bankett für den Interventionstyp IT2;
- Optimierung der Betonierungsphasen;
- Verbesserung der Schnittstelle BA–BSA;
- Verzicht auf die Erneuerung der Deckschicht des Strassenbelags.

4.4 Normalprofil

Die beiden Normalprofile werden als IT1 und IT2 bezeichnet:

- IT1: Profil mit Beton-Konterschale, bestehend aus gekrümmten Predalles (Betonfertigteile); zur Fertigstellung werden eine mittragende SCC-Ortbetonschicht und ein darüberliegendes Abdichtungssystem aufgebracht;
- IT2: Profil mit Gewölbesicherheitsnetzen.

for construction design of the predalles (in particular the prefabricated elements) including their static dimensioning. The Project Designer is responsible for the validation of the good for construction design performed by the Contractor.

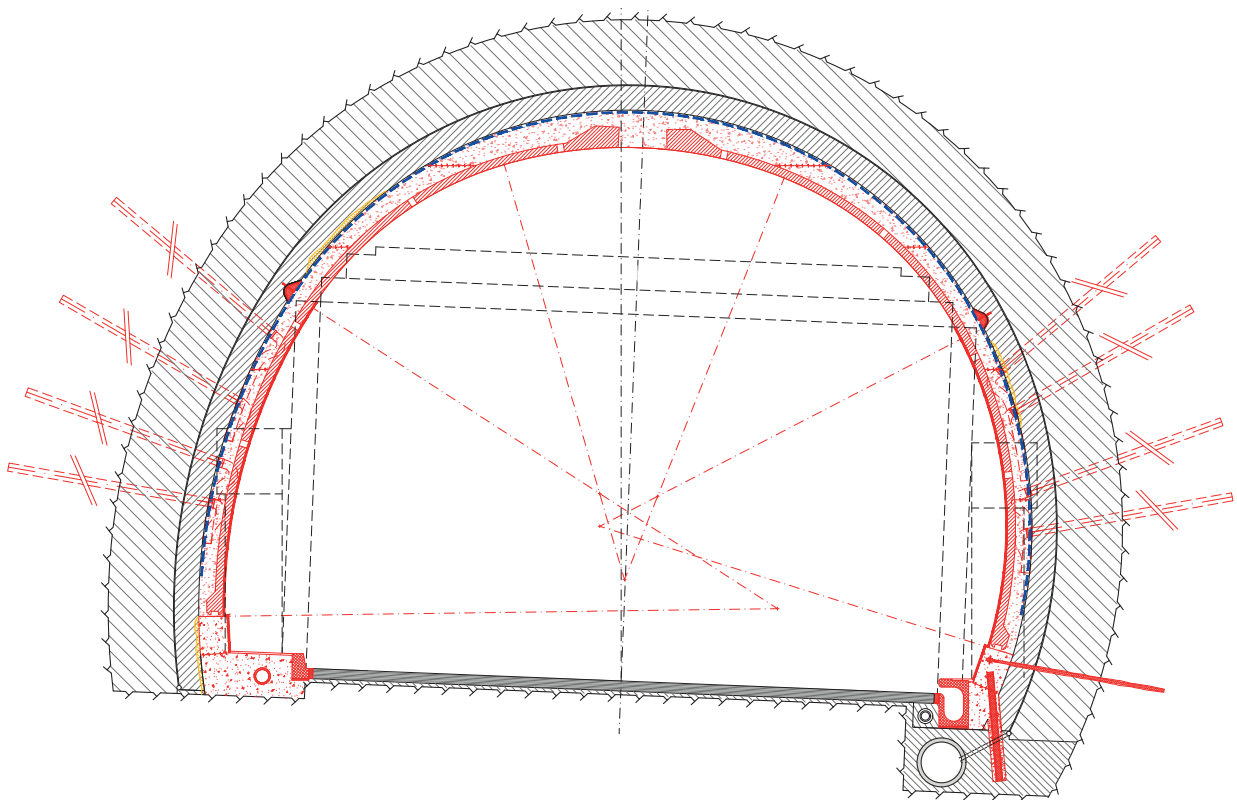
4.3 Changes and Optimisations During the Construction Phase

During the construction phase, the following changes and optimisations in particular were performed:

- Reduction of the length of the prefabricated elements.
- Adjustment of the structural design of niches and portals; back-anchoring of girders and anchors with the steel frame.
- Waiving the installation of new piezometers and reduction of the number of piezometers that are to be retained in the operating phase.
- Reduction of the construction measures in the walkway for the intervention type IT2.
- Optimisation of the concreting phases.
- Improvement of the interface between construction and operational and safety equipment.
- Waiving the renovation of the top layer of the road surface.

4.4 Standard Tunnel Cross-Section

The two standard tunnel cross-sections are designated as IT1 and IT2:



Quelle/credit: Consorzio TILUME

8 Normalprofil IT1

Standard tunnel cross-section IT1

N2-Tunnel Melide–Grancia •

Teil 1: Beschreibung des Bauwerks und Bruchereignis

Teil 2: Verstärkung der Innenschale



Quelle/credit: Consorzio TILUME

9 Montage der Predalles-Elemente
Installation of the predalles elements

4.5 Generelle Projektierungsaspekte beim Normalprofil IT1

4.5.1 Bemessung der Fertigelemente

Die Fertigteilelemente sind für die Bau- und Betriebsphase unter Berücksichtigung der folgenden Einwirkungen bemessen:

- Bemessung der Bauphase von Predalles-Elementen: Belastungen der Transport- und Montagezustände, Systemstabilität vor der Betonierung, SCC-Betondruck während der Betonierungsphasen usw.;
- Bemessung der Betriebsphase der gesamten Konterschale: Nachweis der hydrostatischen Belastung, Belastungsnachweis durch Gebirgs-/Auflockerungsdruck, Brand-, Anprallnachweise usw.

4.5.2 Ausführung der SOS- und Hydrantennischen

Im Bereich der SOS- und Hydrantennischen und dergleichen lagern die vorgefertigten Predalles-Platten auf Stahlrahmen auf, die am Fuss in einen Stahlbetonsockel eingebunden sind. Diese konstruktive Lösung ermöglicht es, bestehende BSA-Elemente (Kabel, Schilder usw.) beizubehalten und neue Elemente zu integrieren.

- IT1: Profile with concrete counter shell, consisting of curved predalles (concrete prefabricated segments); for completion a contributing SCC cast in-situ concrete layer and an overlying sealing system are applied.
- IT2: Profile with vault safety mesh.

4.5 General Development Aspects for Standard Tunnel Cross-Section IT1

4.5.1 Dimensioning of the Prefabricated Elements

The prefabricated elements are dimensioned for the construction and operating phase with consideration of the following effects:

- Dimensioning of the construction phase of predalles elements: loads of the transport and installation conditions, system stability before concreting, SCC concrete pressure during the concreting phases, etc.
- Dimensioning of the operating phase of the entire counter-shell: proof of the hydrostatic load, proof of load due to ground/decompaction pressure, proofs of fire, impact, etc.

4.5.2 Construction of the SOS and Hydrant Niches

In the area of the SOS and hydrant niches and the like, the prefabricated predalles plates are supported on steel frames, which are integrated at the foot in a reinforced concrete base. This constructive solution makes it possible for existing operational and safety equipment (cables, signs, etc.) to be retained and new elements to be integrated.

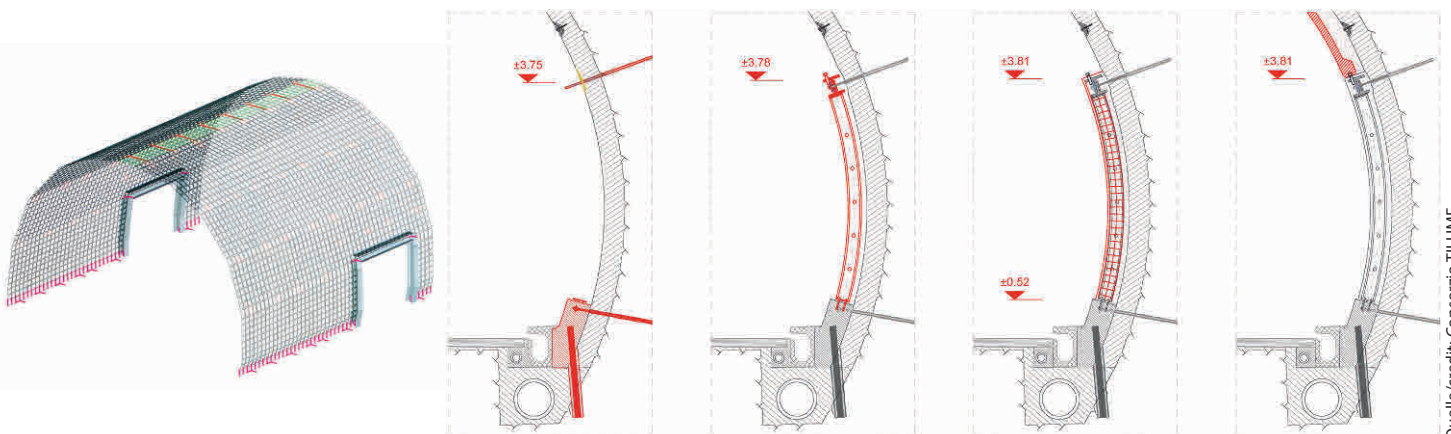
4.5.3 Foundation Types

The predalles (prefabricated elements) are primarily based on two foundation types:

- Direct foundation via a concrete strip foundation.
- Indirect back-anchoring by means of micro piles and tie rods in order to prevent an overload of the existing drainage line.

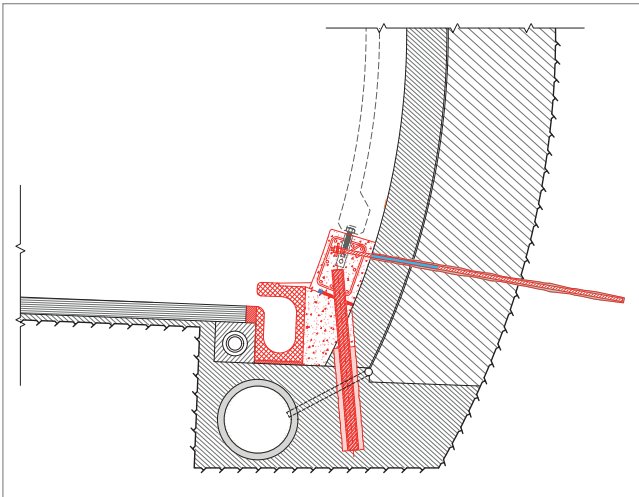
4.5.4 Waterproofing and Dewatering System

On the back of the prefabricated elements a waterproofing system is incorporated, which consists of a drainage layer,



Quelle/credit: Consorzio TILUME

10 Stahlportal bei den SOS- und Hydrantennischen
Steel portal at the SOS and hydrant niches



11 Indirekte Gründung mit Mikropfählen und Ankern
Indirect foundation with micro piles and anchors



Quelle/credit: Consorzio TILUME

4.5.3 Fundamenttypen

Die Predalles (Fertigteilelemente) sind primär auf zwei Fundamenttypen gegründet:

- direkte Gründung über ein Betonstreifenfundament;
- indirekte Rückverankerung mittels Mikropfählen und Zugankern, um eine Überlastung der vorhandenen Entwässerungsleitung zu vermeiden.

4.5.4 Abdichtungs- und Entwässerungssystem

Auf der Rückseite der Fertigteilelemente wird ein Abdichtungssystem eingebaut, das aus einer Drainageschicht, einer PVC-Abdichtungsfolie sowie einer PVC-Schutzschicht besteht. Der untere Rand der PVC-Abdichtungsfolie, welcher mit einem speziellen Abschlussband abgedichtet ist, hat einen schrägen Verlauf und ermöglicht die Ableitung des Wassers in Richtung der dafür vorgesehenen Schächte, die ca. alle 24 m positioniert sind. Die Konstruktion muss der Abdichtungsstufe 1 gemäss Norm SIA 272 entsprechen. Die Ableitung des Fahrbahnwassers wird durch den Einbau neuer Schlitzrinnen gewährleistet.

4.6 Wichtigste Themen Normalprofil IT2

Das Normalprofil IT2 wird in den Tunnelabschnitten ohne Konterschale durchgeführt und sieht die Sicherung des Gewölbes mittels elektrogeweisster und mit mechanischen Ankern befestigter Maschen vor. Der Zweck ist, kleine Betonabplatzungen zu vermeiden.

4.7 Lessons learned

Eine derart innovative Lösung für ein solch kompliziertes Bauwerk führte zu einigen kritischen Aspekten, die im Folgenden zusammengefasst sind.

4.7.1 Planung

Aus Planungssicht sind folgende kritischen Punkte hervorzuheben:

- Schnittstellenkoordination mit den bestehenden Infrastrukturen: alte Hydrantenleitung, Schmutzwasserleitung usw.;

a PVC sealing sheet and a PVC protection layer. The bottom edge of the PVC sealing sheet, which is sealed with a special closure tape, has a slanted course and allows the water to be removed in the direction of the shafts provided for this purpose, which are positioned approx. every 24 m. The construction must correspond to waterproofing system class 1 in accordance with the SIA 272 standard. The removal of the carriageway water is ensured by the installation of new slotted channels.

4.6 The Most Important Topics of the Standard Tunnel Cross-Section of IT2

The standard tunnel cross-section of IT2 is performed in the tunnel sections without counter shell and specifies the securing of the vault by means of electrically welded meshes secured with mechanical anchors. The purpose is to avoid small concrete spalling.

4.7 Lessons Learned

Such an innovative solution for such a complicated structure resulted in some critical aspects, which are summarised below.

4.7.1 Design Activities

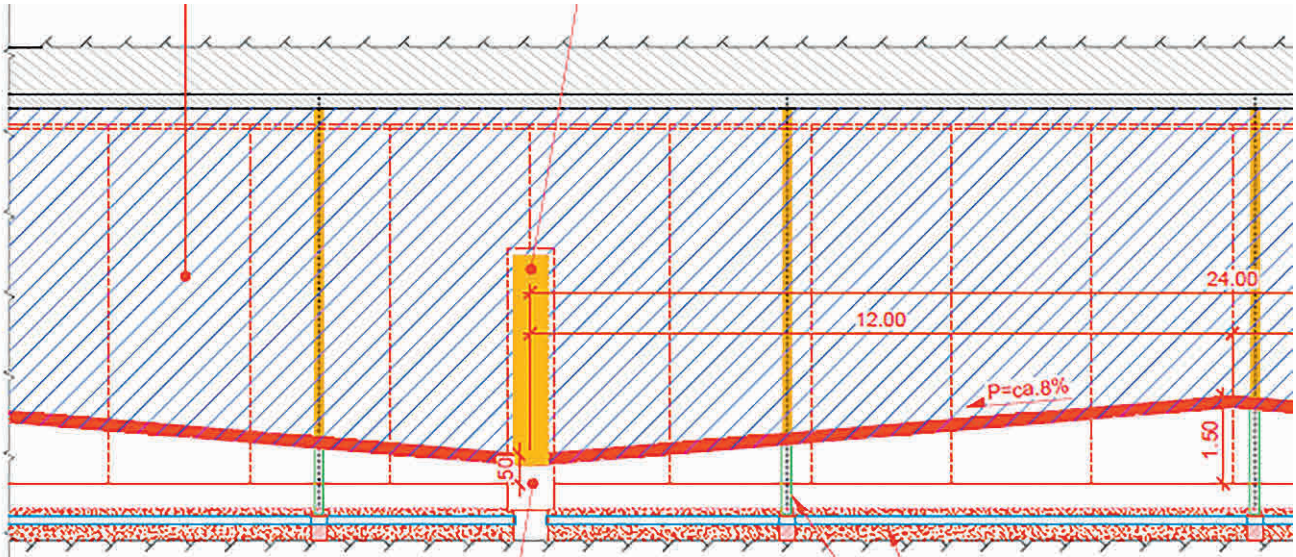
From a design perspective, the following critical points should be emphasised:

- Interface coordination with the existing infrastructure: old hydrant line, wastewater pipe, etc.
- Difficulties during the implementation of the last concreting phase and determination of the formwork construction.
- Project of the temporary support measures such as steel arches and girders to ensure the stability of the predalles elements during the installation and the concreting phases.
- the internal profile of the tunnel offers only limited space for the installation of counter shells and for ensuring the useful space in terms of traffic engineering and the

N2-Tunnel Melide-Grancia •

Teil 1: Beschreibung des Bauwerks und Bruchereignis

Teil 2: Verstärkung der Innenschale



Quelle/credit: Consorzio TILUME

12 Abdichtungssystem Sealing system

- Schwierigkeiten bei der Ausführung der letzten Betonierungsphase und Festlegung der Schalungskonstruktion;
- Projekt der temporären Stützmassnahmen wie Stahlbögen und Longarinen, um die Stabilität der Predalles-Elemente während des Einbaus und der Betonierungsphasen zu gewährleisten.

minimum thickness of the counter shell; therefore the existing interior lining had to be re-profiled.

4.7.2 Logistics for the Construction Work

From the perspective of construction site logistics, the following critical aspects should be emphasised:

N2 Melide–Grancia Tunnel •

Part 1: Description of the Structure and the Breakage Event

Part 2: Reinforcement of the Inner Lining

- Das Innenprofil des Tunnels bietet nur einen begrenzten Raum für den Einbau der Konterschale und die Gewährleistung des verkehrstechnischen Nutzraums sowie der Mindestdicke der Konterschale; daher musste die bestehende Innenverkleidung nachprofilieren werden.

4.7.2 Baulogistik

Aus baustellenlogistischer Sicht sind die folgenden kritischen Aspekte hervorzuheben:

- Baustelle mit Tätigkeiten, die in engen räumlichen Bedingungen durchzuführen sind;
- Baustellenzugang nur über das Nordportal möglich;
- Konflikte zwischen den verschiedenen Tätigkeiten: Betonierung des Kickers, Ausführung des Abdichtungssystems, Ausführung der Konterschale;
- Schnittstelle zwischen den Arbeitsbereichen von Rohbau und BSA.

4.7.3 Ausführung

Aus ausführungstechnischer Sicht sind die folgenden kritischen Aspekte hervorzuheben:

- Lernkurve bei der Ausführung der Arbeiten;
- Verzögerungen bei der Lieferung von Baumaterialien;
- Qualitätsmängel bei den Predalles-Elementen, Notwendigkeit zur Verbesserung verschiedener Ausführungsdetails;
- Anpassung der SCC-Betonrezeptur;
- Schnittstelle zu den BSA-Arbeiten, kontrolliertes Abbauen der Sektoren, Schaden an BSA;
- ehrgeiziges Bauprogramm auf der Grundlage effektiver Arbeitsleistungen;
- Risiko der Nichtwiedereröffnung des Tunnels am Morgen mit wesentlichen Auswirkungen auf den Verkehr (30 km Stau) und daraus resultierenden Schwierigkeiten mit der Öffentlichkeit.

5 Schlussfolgerungen

Die Intervention in bestehenden Bauwerken kann spezifische Risiken mit sich bringen, welche nur nach einer sorgfältigen Beurteilung der Zustandssituation richtig identifiziert werden können.

Beim Tunnel Melide–Grancia sind nur ein paar Jahre nach einer generellen Instandsetzung schon wieder Sanierungsmassnahmen erforderlich.

Die in den Jahren 2010 bis 2013 durchgeführten Abdichtungsinjektionen haben den drainierenden Effekt des Tunnels geändert, sodass im Jahr 2017 der Wasserdruck in der Lage war, einen lokalen Einsturz der Tunnelverkleidung zu verursachen.

Um die Sicherheit des Tunnels für weitere 20 Jahre zu gewährleisten, werden zwischen 2021 und 2023 Überbrückungsmassnahmen durchgeführt: Einerseits wird die relativ anfällige Tunnelverkleidung verstärkt, andererseits werden Entlastungsbohrungen durchge-

- Construction site with activities that must be carried out in tight spatial conditions.
- Construction site access only possible via the northern portal.
- Conflicts between the various activities: concreting of the kicker, construction of the waterproofing system, construction of the counter shell.
- Interface between the work areas of construction and operational and safety equipment.

4.7.3 Construction

From the perspective of construction engineering, the following critical aspects should be emphasised:

- Learning curve during the performance of the work.
- Delays with the delivery of construction materials.
- Quality deficiencies in the predalles elements, necessity to improve various construction details.
- Adaptation of the SCC concrete repair;
- Interface to the operational and safety equipment, controlled dismantling of the sectors, damage to the operational and safety equipment.
- Ambitious construction programme based on effective work performance.
- Risk of the tunnel not reopening in the morning with significant effects on traffic (30 km traffic jam) and resulting difficulties with the public.

5 Conclusions

The intervention in existing structures can entail significant risks, which can only be correctly identified after a thorough appraisal of the status.

In the Melide–Grancia Tunnel, only a few years after a general repair, renovation measures are necessary once again.

The waterproofing injections performed in 2010 to 2013 changed the tunnel's draining effect, so that in 2017 the water pressure was able to cause a local collapse of the tunnel lining.

To ensure the safety of the tunnel for another 20 years, bridging measures will be carried out between 2021 and 2023: on the one hand, the relatively fragile tunnel lining will be reinforced; on the other hand relief drill holes will be implemented in order to reduce the water pressure in the surrounding ground.

The chosen technical solution is highly technically innovative; numerous requirements had to be taken into account in the design, which arose from the significance of the work, in particular the necessity to perform the work only during night-time closures, while the tunnel was open to traffic again during the day. The main challenges were of a logistical nature, as construction and operational and safety equipment work occurred simultaneously, and the tunnel's minimum operating conditions always had to be ensured so that it could be safely reopened during the day.

N2-Tunnel Melide–Grancia •

Teil 1: Beschreibung des Bauwerks und Bruchereignis

Teil 2: Verstärkung der Innenschale

führt, um den Wasserdruck im umliegenden Gebirge zu reduzieren.

Die gewählte technische Lösung weist einen hohen Innovationsgrad auf; bei der Planung mussten zahlreiche Anforderungen berücksichtigt werden, die sich aus der Bedeutung der Arbeiten ergaben, insbesondere die Notwendigkeit, die Arbeiten nur in Nachtsperrungen auszuführen, während der Tunnel tagsüber wieder für den Verkehr freigegeben wurde. Die Hauptherausforderungen waren logistischer Art, da gleichzeitig Bau- und BSA-Arbeiten stattfanden und die Mindestbetriebsbedingungen des Tunnels stets gewährleistet sein mussten, damit er tagsüber sicher wieder geöffnet werden konnte.

Literatur/References

- [1] Wintersichere Strassenverbindung durch den Gotthard, Schlussbericht der Studiengruppe Gotthardtunnel, September 1963
- [2] Die Abdichtung von Strassentunneln (in der Schweiz angewendete Verfahren), Paul Halter, Sektionschef beim Eidg. Amt für Strassen und Flussbau, Atti del primo convegno internazionale sui problemi tecnici nella costruzione di gallerie, Torino, 26-28 settembre 1969
- [3] Dossier pilote des tunnels, Groupe de Travail des Tunnels de l'Organe Technique Regional de Lyon, Mai 1970
- [4] Developments of road tunnel construction in Switzerland, Report prepared for the Swiss Federal Office for Roads and Rivers, Electrowatt AG, November 1977
- [5] Nachträgliche Abdichtungsmassnahmen an erdberührten Bauwerken mittels Vergelung, P. Trunner, April 2014

PROJEKTDATEN

Region

Kanton Tessin

Bauherr, Projekt- und Oberbauleitung

Bundesamt für Strassen (ASTRA)

Infrastrukturfiliale Bellinzona

Consorzio SAVE:

- Filippini & Partner Ingegneria SA, Biasca
- Boess Engineering AG, Thun

Planung und Bauleitung

Consorzio TILUME:

- Lombardi SA, Giubiasco
- Pini Group SA, Lugano
- AFRY SA, Rivera

Ausführung

Bau: Pizzarotti SA, Bellinzona

BSA: Kummler & Matter ETV SA, Mezzovico

Kenndaten

Bauzeit: 2021–2023

Inbetriebnahme: Ende 2023

Baukosten

Tunnel: ca. 55 Mio. Schweizer Franken (Bau) + ca. 8 Mio. Schweizer Franken (BSA)

Gesamtlänge: 1740 m (jede Röhre)

Ausbruchquerschnitt: Hufeisenprofil (Innenabmessungen B = 10 m, H = 7 m)

Besondere Merkmale

Sanierung bestehender Tunnel nach Niederbruch der Innenschale

PROJECT DATA

Region

Canton of Tessin

Client, project management and senior construction management

Federal Roads Office (FEDRO)

Infrastructure Branch Bellinzona

Consorzio SAVE:

- Filippini & Partner Ingegneria SA, Biasca
- Boess Engineering AG, Thun

Design and construction management

Consorzio TILUME:

- Lombardi SA, Giubiasco
- Pini Group SA, Lugano
- AFRY SA, Rivera

Construction

Construction: Pizzarotti SA, Bellinzona

Operational and safety equipment: Kummler & Matter ETV SA, Mezzovico

Key data

Construction time: 2021–2023

Commissioning: End of 2023

Tunnel construction

costs: approx. 55 million Swiss francs (construction) + approx. 8 million Swiss francs (operational and safety equipment)

Total length: 1.740 m (each tube)

Excavation

cross-section: Horseshoe profile (internal dimensions W = 10 m, H = 7 m)

Special Features

Renovation of existing tunnel after cave-in of the inner lining

Renovation of the Ritom Hydroelectric Power Station • The Unexpected Challenges of Digging the Penstock

Roberto Zanoli, ingegnere, Marti Tunnel AG, Moosseedorf/CH

Sergio Massignani, ingegnere civile SUP, EMBA FH, Marti Tunnel AG, Moosseedorf/CH

Rinnovo della centrale idroelettrica del Ritom

Le sfide inattese dello scavo del pozzo forzato

L'articolo descrive due situazioni critiche non previste, affrontate con successo durante lo scavo del pozzo forzato. In particolare, l'impermeabilizzazione e il consolidamento con iniezioni nel tratto suborizzontale scavato all'esplosivo ed il consolidamento con lance eseguito dalla TBM nel pozzo inclinato, nel tratto con pendenza del 42%. Tutte le misure attuate sono state sviluppate in cantiere.

Renovation of the Ritom Hydroelectric Power Station

The Unexpected Challenges of Digging the Penstock

The article describes two unforeseen excavated situations that were successfully dealt with during the excavation of the penstock. In particular, the waterproofing and ground stabilization with injections grouting in the sub-horizontal tunnel section by D&B as well as the consolidation of the geology by using a fan of spiling bolts performed by the TBM in the inclined shaft, in the section with a 42% incline. All the carried out measurements were developed on site.

1 Introduzione

La centrale idroelettrica del Ritom si trova nel comune di Quinto, Canton Ticino, Svizzera, e sfrutta il bacino dell'omonimo lago posizionato oltre 800 m più in alto per la produzione di energia elettrica. La Ritom SA, società partecipata per il 25% dal Canton Ticino tramite AET SA e per il 75% da FFS SA, ha assegnato l'esecuzione dei lavori principali di costruzione al Consorzio Marti-Ferrari Ritom (Marti Tunnel AG (capofila), Mancini Marti SA, Ennio Ferrari SA). Oltre alla costruzione di una nuova centrale, di un bacino di demodulazione e all'ammodernamento dei gruppi di produzione con l'infrastruttura tecnica necessaria, viene costruito un nuovo pozzo forzato per il trasporto dell'acqua da Piora (lago Ritom) a Piotta. L'acqua, captata da una nuova opera di presa a lago, attraverserà una camera valvole accessibile da Piora tramite un pozzo verticale di 35 m, scenderà poi lungo un pozzo inclinato di circa 1,4 km con pendenza del 90% e del 42%, proseguendo attraverso un tunnel suborizzontale di 0,7 km circa. Poi, mediante dei cunicoli di distribuzione, arriverà alla nuova centrale in valle. Il progetto è stato già presentato in dettaglio allo Swiss Tunnel Congress nel 2019 ed è pubblicato nel volume n. 18 [1].

2 Criticità durante l'esecuzione dei lavori

I lavori di costruzione hanno avuto inizio a novembre 2018 e verranno completati nel 2024, con la messa in esercizio della nuova centrale. Durante gli scavi del pozzo forzato,

1 Introduction

The Ritom hydroelectric power station is located in the municipality of Quinto, Canton Ticino, Switzerland, and uses the lagoon of the lake of the same name located over 800 m higher for electricity production. Ritom SA, a company 25% owned by the Canton of Ticino through AET SA and 75% owned by FFS SA, awarded the main construction works to the Marti-Ferrari Ritom Consortium (Marti Tunnel AG (lead contractor), Mancini Marti SA, Ennio Ferrari SA). In addition to the construction of a new power station, of a demodulation basin and the modernisation of the production units with the necessary technical infrastructure, a new penstock is being built to transport water from Piora (lake Ritom) to Piotta. The water, collected by a new intake structure at the lake, will pass through a valve chamber accessible from Piora through a 35 m vertical shaft, then descend along an inclined shaft of approximately 1.4 km with an incline of 90% and 42%, continuing through a sub-horizontal tunnel of approximately 0.7 km. It will then run via distribution tunnels to the new power station in the valley. The project has already been presented in detail at the Swiss Tunnel Congress in 2019 and is published in volume no. 18 [1].

2 Critical Points during the Execution

Construction works began in November 2018 and will be completed in 2024, with the trial run of the new power station. During the excavation of the penstock, two major

Erneuerung des Wasserkraftwerks Ritom

Unerwartete Herausforderungen beim Stollenausbruch

Beim Ausbruch des neuen Druckstollens für die Erneuerung des Kraftwerks Ritom wurde der Projekterfolg durch zwei kritische Störzonen auf die Probe gestellt. Zum einen wurden im unteren, horizontalen Sprengabschnitt des Stollens Hybrid-Injektionen durchgeführt. Dies ist eine neue, innovative Methode zur gleichzeitigen Abdichtung und Konsolidierung von Gebirge in Zonen mit starkem Wassereintritt. Im Vergleich zu herkömmlichen Methoden resultiert daraus ein erheblicher zeitlicher und finanzieller Vorteil. Zum anderen wurde während des Vortriebs der TBM im Schrägschacht, im Gefällsabschnitt mit 42 %, eine vorauseilende Gebirgsstützung mit Injektionslanzen erforderlich. Die Störzone wies einen Kakiritabschnitt sowie einen daran anschließenden Abschnitt mit zersetzter Felsmasse auf. Die Bohrarbeiten erfolgten von Hand aus dem eingeschränkten L1-B Bereich hinter dem Bohrkopf.

Rénovation de la centrale hydroélectrique du Ritom

Les défis inattendus durant l'excavation de la galerie d'amenée

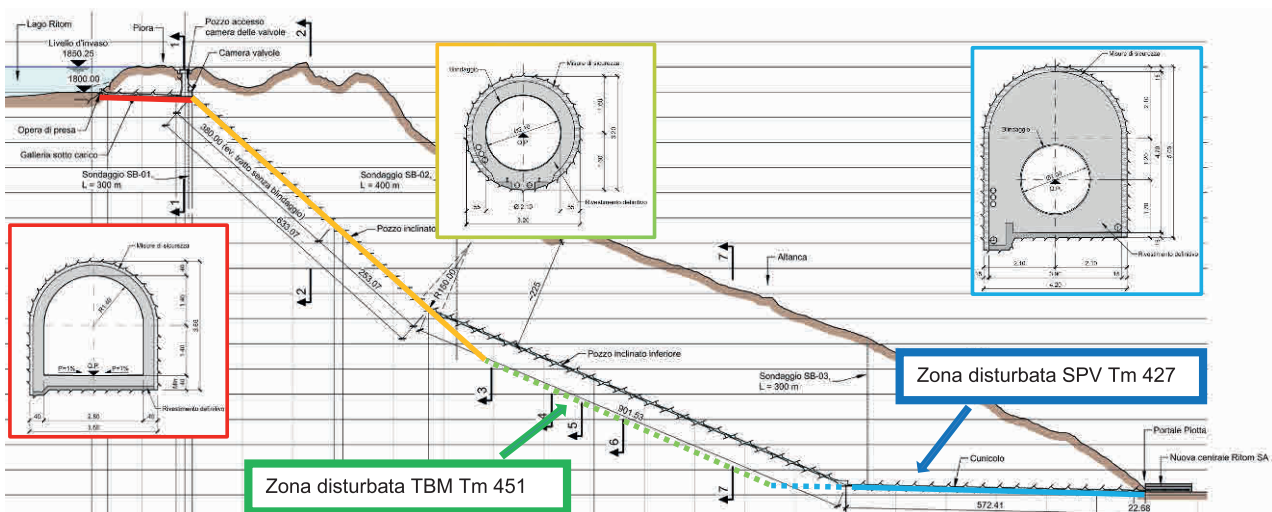
Lors de l'excavation de la nouvelle galerie sous pression pour la rénovation de la centrale de Ritom, le succès du projet a été mis à l'épreuve par deux zones de perturbation critiques. D'une part, des injections hybrides ont été réalisées dans la section sub-horizontale de la galerie creusée à l'explosif. Il s'agit d'une méthode nouvelle et innovante permettant de colmater et de consolider simultanément la roche dans des zones où l'eau pénètre fortement. Par rapport aux méthodes traditionnelles, il en résulte un avantage considérable en termes de temps et de coûts. D'autre part, pendant l'avancement du tunnelier dans la section en pente à 42 % du puits incliné il a été nécessaire de soutenir la roche en amont avec des lances d'injection. La zone de perturbation présentait un tronçon de Kakirit, ainsi qu'un tronçon adjacent de masse rocheuse décomposée. Les travaux de forage ont été effectués à la main, depuis la zone restreinte L1 située derrière la tête de forage.

due importanti criticità con caratteristiche diverse e durante l'utilizzo di due differenti metodi di scavo hanno complicato i lavori e rallentato il programma (Fig. 1). In entrambi i casi le sfide sono state molto impegnative sia da un punto di vista operativo che da un punto di vista tempistico-finanziario. Entrambe sono state tuttavia superate con successo, e i lavori hanno potuto riprendere il normale corso. In particolare, verranno esposti i due seguenti casi:

1. impermeabilizzazione e consolidamento durante lo scavo all'esplosivo del tunnel suborizzontale GALPI a Tm 427

problems with different characteristics arose during the use of two different excavation methods, which complicated the work and slowed down the programme. (Fig. 1) In both cases, the challenges were very demanding both from an operational and a timing-financial point of view. However, both were successfully overcome, and work was able to resume its normal course. In particular, the following two cases will be presented:

1. Waterproofing and ground conditioning of the Drill & Blast GALPI sub-horizontal tunnel at tunnel metre 427



1 Profilo longitudinale tracciato pozzo forzato Ritom, con sezioni tipo e zone disturbate descritte
Longitudinal profile layout of the Ritom penstock, with type sections and described disturbed areas

Renovation of the Ritom Hydroelectric Power Station • The Unexpected Challenges of Digging the Penstock



Credit: Marti Tunnel AG

2 Piotta, impianto trattamento acque 60 l/s
Piotta, water treatment plant 60 l/s

2. consolidamento con lance a Tm 451 durante lo scavo del pozzo inclinato con TBM.

2.1 Iniezioni nel tratto suborizzontale

2.1.1 Inquadramento della situazione

La galleria in pressione suborizzontale (GALPI) è una galleria di 18,4 m² di sezione, scavata all'esplosivo a partire dal portale di Piotta prevalentemente in paragneiss. Inizialmente progettata per una lunghezza di 595 m, è stata prolungata a 773 m a causa dei disturbi idrogeologici incontrati. Le venute d'acqua di montagna previste erano nell'ordine di 5 l/s per chilometro con puntuali sacche di acqua in pressione e venute fino a 50 l/s. Durante gli scavi delle prime centinaia di metri le portate di acqua di montagna sono andate tuttavia aumentando in maniera costante e continuativa. Le venute diffuse si concentravano al fronte o nei metri subito a seguire, seguendo il progredire degli scavi. Vista, da un lato, l'impossibilità di intercettare e smaltire separatamente tutte queste portate d'acqua e, dall'altro, l'obbligo di legge di trattarle prima dell'immissione a ricettore, nell'estate 2019 si era già reso necessario il raddoppio dell'impianto di trattamento delle acque precedentemente installato. La capacità di trattamento era stata così portata da 30 l/s a 60 l/s (Fig. 2). Il 16 settembre



Credit: Marti Tunnel AG

3 Esecuzione sondaggio geognostico a carotaggio continuo da parte di Stump AG
Probe drilling with continuous coring by Stump AG

2. Ground conditioning using a ground injection method at tunnel metre 451 during the TBM excavation of the inclined tunnel/shaft.

2.1 Injections in the Sub-horizontal Section

2.1.1 Situation Overview

The sub-horizontal pressure tunnel (GALPI) is a tunnel with a section of 18.4 m², excavated by using the Drill & Blast method from the Piotta portal which is mainly in paragneiss. Initially designed for a length of 595 m, it was extended to 773 m due to hydrogeological disturbances encountered. The expected ground water ingress was in the order of 5 l/s per kilometre with punctual pockets of pressurised water and volumes of up to 50 l/s. During the excavation of the first few hundred metres, however, the volumes of incoming water increased steadily and continuously. Widespread ingressing water was concentrated at the excavation face or in the tunnel a few metres right behind the face. On one hand, it there was the impossibility of separately intercepting and disposing of all these high volumes of water and, on the other hand, the legal obligation to treat them before they are discharged into the receptor. Therefore, in summer 2019 it was already necessary to double the capacity of the water treatment plant previously installed. The treatment plant capacity was thus increased from 30 l/s to 60 l/s. (Fig. 2) On 16 September 2019, at tunnel metre 427, by a major discontinuity, it was decided by mutual agreement with the contractor to suspend excavation. Not only was the stability of the excavation face and perimeter no longer guaranteed, but also the normal activities of loading the explosives into the drill holes and securing the tunnel profile could no longer be carried out, both for technical reasons and because it was impossible to work under these widespread flows of water with temperatures measured in the order of 8°C. Further measures were necessary.

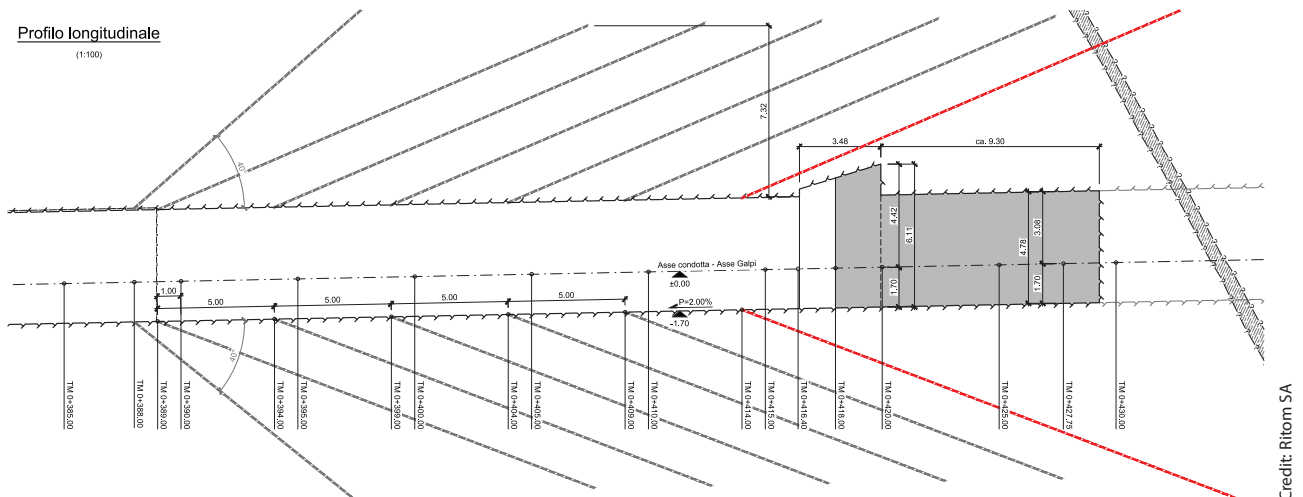
2.1.2 Measures Taken

After the suspension of the excavation works, it was immediately decided, as a first step, to carry out a probe drilling by continuous coring. In fact, it was first necessary to understand precisely the expected hydrogeological scenario, to be able to plan and decide on further measures. The company Stump AG, part of the Marti AG group, was able to probe just a little less than 150 m, not without great difficulty. The ground water leaving the borehole reached a pressure of 14 bar and constant flow rates of more than 100 l/s, with peaks of up to 150 l/s. (Fig. 3) As there was no decrease in the flow rates in the following days and weeks and on the basis of the information gathered from the probing, it was decided in agreement with the client to carry out a campaign of ground injections to waterproof and strengthen the surrounding geology.

2.1.2.1 Tunnel Perimeter Injections behind the Excavation Face

To withstand the forces pushing onto the tunnel face and the tunnel perimeter, on the last few metres of excavated

Rinnovo della centrale idroelettrica del Ritom • Le sfide inattese dello scavo del pozzo forzato



4a Vista longitudinale tappo in calcestruzzo e schermi di iniezione nelle retrovie
Longitudinal section/view of concrete plug and injection umbrella behind the tunnel face

2019, alla Tm 427, in corrispondenza di un'importante discontinuità, si è deciso di comune accordo con il committente di sospendere lo scavo. Da una parte la stabilità del fronte e del perimetro di scavo non era più garantita, dall'altra le normali attività di caricamento delle volate e messa in sicurezza del profilo non erano più eseguibili sia per ragioni tecniche che per l'impossibilità di lavorare sotto queste forti venute diffuse d'acqua con temperature misurate nell'ordine di 8°C. Ulteriori provvedimenti erano necessari.

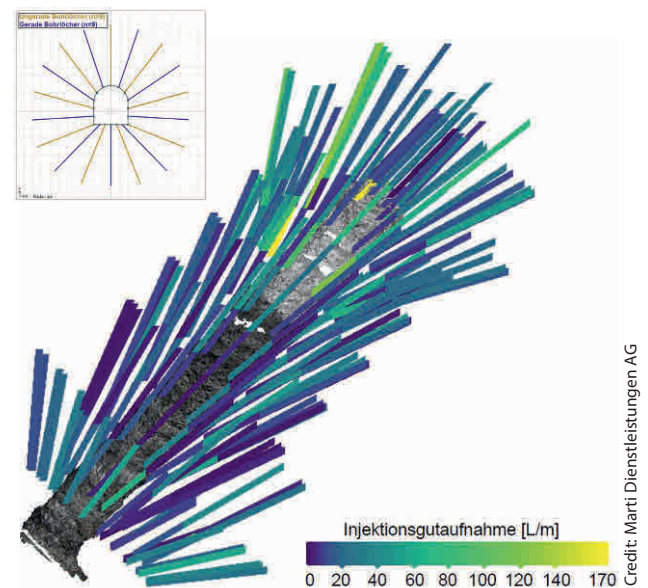
2.1.2 Misure adottate

Dopo la sospensione dei lavori di scavo si è subito deciso, come primo intervento, di eseguire un sondaggio geognostico a carotaggio continuo. Era infatti prima di tutto necessario comprendere con precisione lo scenario idrogeologico da attendersi, per poter pianificare e decidere al meglio le ulteriori misure da eseguire. La ditta Stump AG, facente parte del gruppo Marti AG, ha potuto sondare poco meno di 150 m, non senza grande difficoltà. L'acqua di montagna in uscita dal foro di sondaggio è arrivata ad avere una pressione di 14 bar e portate costanti maggiori di 100 l/s, con picchi fino a 150 l/s (Fig. 3). Non manifestandosi alcuna diminuzione delle portate nei giorni e nelle settimane successive e in base alle informazioni raccolte con il sondaggio, si è scelto di comune accordo con il committente di eseguire una campagna di iniezioni d'impermeabilizzazione e consolidamento dell'ammasso.

2.1.2.1 Iniezioni nelle retrovie

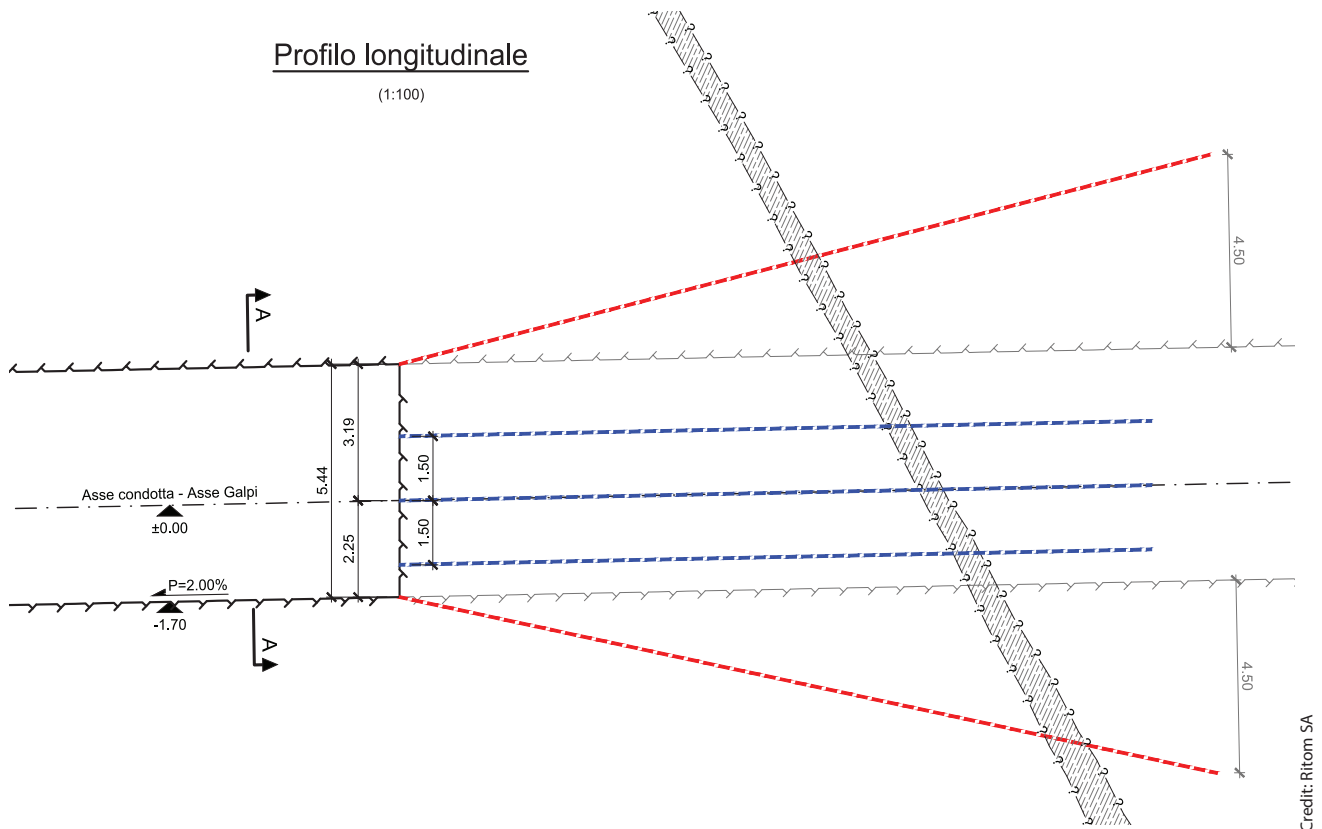
Per garantire il confinamento delle forze create al fronte e sul perimetro di scavo negli ultimi metri e per garantire la stabilità anche durante l'applicazione all'ammasso delle pressioni d'iniezione, è stato costruito un tappo di calcestruzzo di circa 10 m, riempiendo l'intero profilo precedentemente scavato. Il rischio che l'acqua al fronte si ripresentasse nelle retrovie era però concreto, vista la permeabilità e la fratturazione dell'ammasso riscontrate durante lo scavo della tratta precedente. Ciò avrebbe reso meno efficaci, se non addirittura vani, gli interventi di impermeabilizzazione al fronte

tunnel and to ensure stability also during the ground conditioning/injection process a concrete plug of approximately 10 m in length was constructed which filled the entire previously excavated tunnel. However, there was a real risk that the water occurring at the tunnel face would recur in the rear of the tunnel, given the permeability and fracturing of the ground found during the excavation of the previous section. This would have made waterproofing measures at the face or in advancement less effective, if not futile. It was therefore decided to build 8 injection umbrellas around the circumference of the tunnel consisting of 18 holes each, starting the drilling process at the face and from here moving backwards. These injection umbrellas were drilled using a down the hole hammer (DTH) with a rod length of in total 20 m and a 64 mm diameter drill bit. The umbrellas were drilled with a 5 m overlap between the screens. (Fig. 4a and 4b) Subsequently, the water at the face coming from the long borehole



4b Iniezioni effettivamente eseguite nelle retrovie
Tunnel perimeter injections performed behind the tunnel face

Renovation of the Ritom Hydroelectric Power Station • The Unexpected Challenges of Digging the Penstock



5a Vista longitudinale schermi di iniezione in avanzamento
Longitudinal section/view of concrete plug and injection umbrella at the face

o in avanzamento. Si è pertanto deciso di costruire 8 schermi di iniezione di 18 fori l'uno, partendo dal fronte ad arretrare, in direzione delle retrovie. Questi schermi sono stati realizzati con fori a distruzione con lunghezza di 20 m, diametro di 64 mm e sovrapposizione fra gli schermi di 5 m (Fig. 4a e 4b). Successivamente, l'acqua al fronte proveniente dal lungo foro di sondaggio e dai fori di drenaggio è stata regimentata in una nuova condotta per le sole acque di montagna, smaltite senza passare dall'impianto di trattamento. Con le misure di cui sopra, la circolazione dell'acqua dal fronte alle retrovie è stata evitata, le pressioni dell'acqua sul profilo di messa in sicurezza sono state ridotte e l'impianto di trattamento delle acque è stato sgravato del trattamento delle maggior parte delle acque di montagna.

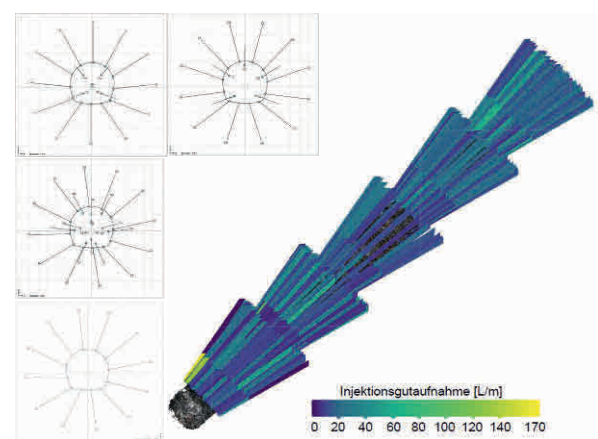
2.1.2.2 Iniezioni in avanzamento

A seguire, le attività di scavo sono riprese, combinando l'avanzamento con campi regolari di iniezioni in prospezione. In totale sono stati eseguiti altri 5 campi di iniezioni, con fori di diametro di 64 mm e lunghezza di 20 m, iniettati a 10 m e 5 m dal boccaforo. La sovrapposizione fra i campi è stata mantenuta in 5 m, come per le iniezioni nelle retrovie. Lo scavo, alternato quindi ai campi di iniezione, in tappe di 15 m per volta, ha mostrato l'efficacia delle misure di impermeabilizzazione e consolidamento applicate, permettendo alle maestranze un lavoro praticamente all'asciutto. Questa alternanza scavo-iniezioni è continuata per 70 m circa (Fig. 5a e 5b). Per metà della tratta, dove la stabilità del pro-

and drainage holes was re-directed into a new pipeline for ground waters only, which were disposed of without passing through the treatment plant. With the above measures, water circulation from the face to areas behind the face has been avoided, water pressure on the safety profile has been reduced and the water treatment plant has been relieved of the treatment of most of the ingressing waters.

2.1.2.2 Injections in the Advancement

Following the injection around the tunnel perimeter, tunnelling activities continued, alternating between exca-



5b Schermi di iniezione eseguiti in avanzamento
Injection umbrellas performed along the tunnel

Rinnovo della centrale idroelettrica del Ritom • Le sfide inattese dello scavo del pozzo forzato

filo di scavo destava maggiori preoccupazioni in base al sondaggio, la messa in sicurezza è stata maggiorata con centine complete di arco rovescio. Gli scavi dovranno infatti rimanere sicuri fino al completamento dei lavori di inghisaggio delle corazze, previsto a quasi quattro anni di distanza.

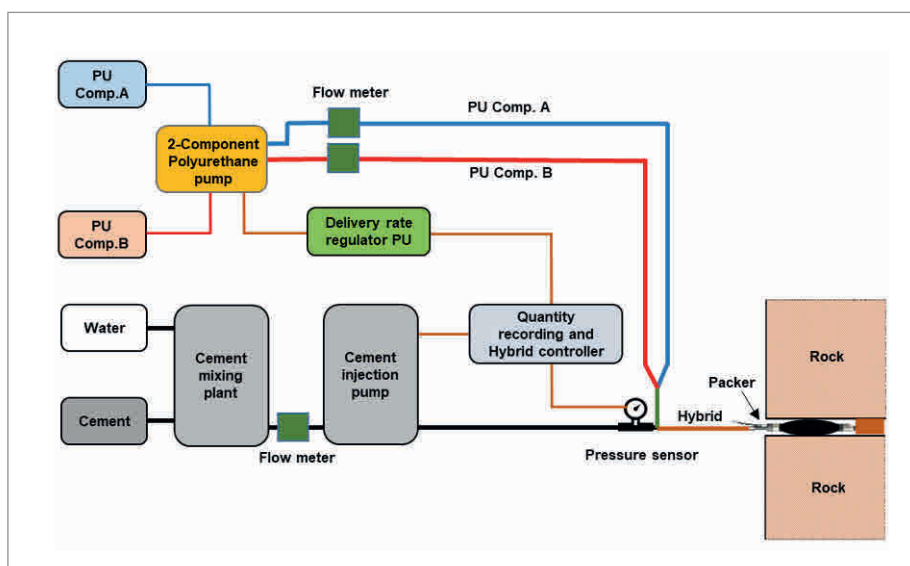
2.1.2.3 Modalità d'iniezione

Per queste iniezioni la ditta Renesco GmbH (divisione di Marti Geotechnik) ha implementato un sistema ibrido. Da un lato era infatti necessario fermare l'acqua, utilizzando schiume poliuretatiche bicomponenti, dall'altro era altresì necessario procedere con iniezioni di consolidamento a base cementizia per riempire gli interstizi e aumentare la resistenza dell'ammasso. In presenza di forti venute d'acqua, il solo utilizzo di cemento rischia di essere poco efficace per via del rischio di dilavamento. La sola iniezione di resine poliuretatiche, di contro, avrebbe permesso sì di fermare le venute d'acqua, ma non avrebbe fornito garanzie sulla resistenza aumentata dell'ammasso. Il sistema sviluppato permette l'iniezione di uno o di entrambi i materiali contemporaneamente nello stesso foro, con la possibilità di regolare e gestire secondo l'effettiva necessità il processo (Fig. 6). Questo bilanciamento dinamico dei due tipi di iniezione permette di sfruttare i vantaggi tecnici di entrambi i materiali utilizzati. Rilevante è anche il potenziale di risparmio in termini di costi e tempi rispetto ad iniezioni in serie prima di un materiale e poi dell'altro. Seguendo un programma sviluppato da Renesco GmbH le pompe di iniezione vengono regolate automaticamente da un sistema di controllo, basato principalmente sui dati di assorbimento effettivo di materiale e sulle pressioni d'iniezione. Di principio, il sistema inizia con l'iniezione cementizia; poi, di fronte ad un assorbimento troppo alto e/o alla mancanza di contropressione, interviene dosando anche resina poliuretanicata fino al raggiungimento dei parametri definiti. Così facendo, l'iniezione è dinamica e viene adattata in continuo alle reali caratteristi-

vation and ground conditioning. A total of 5 more injection umbrellas were completed, with 64 mm diameter drill holes 20 m in length, with grout injected at a drill hole depth of 10 m and 5 m. The overlap between the grout/foam injection bodies was kept at 5 m, like the injections performed around the tunnel perimeter in the back (behind the face). The excavation, alternating with the umbrella injections, in stages of 15 m at a time, showed the effectiveness of the waterproofing and strengthening measures applied, allowing the workers to work in almost dry conditions. This alternation of excavation and injections continued for approximately 70 m. (Fig. 5a and 5b) For half of the section, where the stability of the excavation profile was of greatest concern according to the probe drilling, the safety was increased by implementing steel support beams following the tunnel profile. In fact, the excavations will have to remain secure until the completion of the concrete inner lining, which is from now almost four years away.

2.1.2.3 Injection Modes

For these injections, the company Renesco GmbH (a division of Marti Geotechnik) implemented a hybrid system. It was necessary to stop the water, using two-component polyurethane foams, also it was necessary to proceed with cement-based strengthening injections to fill the gaps and increase the strength of the geology. In the event of heavy water ingress, the use of cement alone might be ineffective due to the risk of washing away. The injection of polyurethane resins alone, on the other hand, would have stopped the flows of water, but would not have provided any guarantee of the increased strength of the tunnel surrounding geology. The system developed allows the injection of one or both materials simultaneously into the same hole, with the possibility of adjusting and managing the process as needed. (Fig. 6) This dynamic balancing of the two types of injection allows the use of technical advantages of both used materials.



Credit: Renesco GmbH

6 Schema installazione per iniezione ibrida
Installation diagram for hybrid injection

Also significant is the potential for cost and time savings compared to serial injections of first one material and later the other. Following a program developed by Renesco GmbH, the injection pumps are automatically regulated by a control system, based mainly on actual material absorption data and injection pressures. In principle, the system starts with cement injection; then, if absorption is too high and/or there is a lack of counter-pressure, it intervenes by dosing also the polyurethane resin until the defined parameters are reached. By doing so, the injection is dynamic and is continuously adapted to the real characteristics of the geol-

Renovation of the Ritom Hydroelectric Power Station • The Unexpected Challenges of Digging the Penstock

che dell'ammasso. Ogni campo d'iniezione è stato suddiviso in diversi livelli d'iniezione intermedi, progressivamente sempre più densi e da eseguire solo in base all'effettiva necessità, sulla base di fori di controllo. La pressione massima d'iniezione è stata definita a 40 bar. La grande flessibilità di questa procedura, abbinata al sistema innovativo sviluppato da Renesco GmbH, ha permesso un'ottimizzazione costante dell'intera procedura. Ciò si è concretizzato con un massiccio risparmio di tempo e costi nell'ordine di oltre il 50% rispetto alla tradizionale iniezioni in serie dei due materiali. [3]

2.1.3 Conclusioni

L'impegno operativo profuso è stato esemplare, così come il tempo di reazione. Grande vantaggio è stato il poter attivare rapidamente diverse ditte facenti parte dello stesso gruppo, quindi con ampie sinergie ed interfacce ridotte. In totale sono stati eseguiti 480 fori d'iniezione, iniettati 35'000 litri di schiume poliuretatiche e 135'000 kg di cemento CEM 52,5R. Tutto ciò ha permesso il proseguimento del progetto, con un ritardo di circa un anno. Dal superamento di questa prima grande sfida sono conseguiti anche lo spostamento della camera di montaggio TBM di 165 m più all'interno della montagna e la modifica della geometria della stessa. La provenienza di queste importanti portate d'acqua in pressione non preventivate è stata nel frattempo investigata dagli esperti del committente. Nonostante l'ampio sforzo di investigazione a seguito del fermo cantiere, non è stato possibile attribuire in maniera univoca l'origine di queste venute. Ciò fa ben comprendere le difficoltà di previsione già in fase di progetto di un tale fenomeno.

2.2 Lance nel pozzo inclinato

2.2.1 Inquadramento della situazione

Lo scavo del pozzo inclinato è stato previsto da progetto con TBM aperta, il diametro nominale dello scavo è di 3,2 m, per la successiva posa di corazze di 2,2 m di diametro. In un primo tratto di 565 m la pendenza del pozzo è del 42%, poi con una curva di raggio verticale di 150 m si passa al secondo tratto lungo 816 m con pendenza al 90%. Nel primo tratto è previsto prevalentemente scavo in ortogneiss, mentre nella seconda parte la geologia muta in paragneiss. Per questo scavo è stata impiegata la macchina M-2378, una TBM aperta prodotta specificamente per il progetto dalla ditta Herrenknecht AG. Con un peso di 105 tonnellate, 23 dischi da 14" e una forza di spinta totale di 5'700 kN, trascina un dispositivo anticaduta da 100 tonnellate e 7 carri attrezzati per ulteriori 100 tonnellate di peso. L'intera composizione raggiunge una lunghezza totale di 98 metri. TBM e carri sono stati assemblati nella caverna al piede del pozzo di montaggio, che, come già descritto precedentemente, è stata riprogettata e riposizionata in corso di esecuzione degli scavi con una conseguente modifica anche al tracciato del pozzo. Le principali novità introdotte con questa macchina nello scavo di pozzi inclinati di questo diametro sono: la possibilità di sostituire i dischi direttamente dall'interno della testa (backloading) e il doppio dispositivo di sicurezza anticaduta non solo idraulico, ma anche meccanico/gravitativo. Il 6 luglio

oggy. Each injection umbrella has been subdivided into several intermediate injection levels, progressively denser and to be performed only as needed, based on control holes. The maximum injection pressure was set at 40 bar. The great flexibility of this procedure, combined with the innovative system developed by Renesco GmbH, has enabled the entire process to be constantly optimised. This resulted in massive time and cost savings in the order of more than 50% compared to traditional serial injections of the two materials. [3]

2.1.3 Conclusions

The operational commitment was exemplary, as was the response time. A major advantage was that several companies within the same group could respond quickly, thus providing extensive synergies and reduced interfaces. A total of 480 injection holes were drilled, 35,000 litres of polyurethane foam and 135,000 kg of CEM 52.5R cement were injected. This allowed the project to go ahead, with a delay of about one year. Overcoming this first major challenge also resulted in moving the TBM assembly chamber 165 m further into the mountain and changing its geometry. The origin of these unforeseen large, pressurised water flows has meanwhile been investigated by the client's experts. Despite extensive investigative efforts following the construction site stoppage, it was not possible to unambiguously attribute the origin of these flows. This illustrates the difficulty of predicting such a phenomenon at the design stage.

2.2 Injections in the Inclined Tunnel

2.2.1 Situation Overview

The excavation of the inclined tunnel was planned with an open TBM, the nominal diameter of the excavation is 3.2 m, for the subsequent installation of a 2.2 m diameter inner lining. In a first section of 565 m the incline of the tunnel is 42%, followed by a vertical curve with a 150 m radius it passes to the second, 816 m long section with an incline of 90%. In the first section the excavation is mainly in orthogneiss, while in the second part the geology changes to paragneiss. The M-2378 machine, an open TBM manufactured specifically for the project by Herrenknecht AG, was used for this excavation. With a weight of 105 tonnes, 23x 14" disc cutters and a total thrust force of 5,700 kN, it pulls a 100-tonne fall arrest device and seven backup gantries equipped with a further 100 tonnes of weight. The entire composition reaches a total length of 98 metres. The TBM and back-up gantries were assembled in the cavern at the foot of the assembly pit, which, as described above, was redesigned, and repositioned during excavation, with a consequent change in the layout of the pit. The main innovations introduced with this machine in the excavation of inclined tunnels of such diameter are the possibility of replacing the cutting discs directly from inside the cutterhead (backloading) and the double fall arrest safety device, which is not only hydraulic but also mechanical/gravitational. On 6 July 2021 at 9 a.m., at tunnel metre 451 the TBM crosses what immediately appears to be an important passage of fault gouge. Geognostic probe drilling from the surface were carried out by the client during the project

Rinnovo della centrale idroelettrica del Ritom • Le sfide inattese dello scavo del pozzo forzato

2021 alle ore 9, la TBM incrocia a Tm 451 quello che da subito appare un importante passaggio di cachirite. I sondaggi geognostici dalla superficie sono stati eseguiti da parte del committente in fase di progetto. Ulteriori sondaggi sono poi stati eseguiti prima degli scavi con TBM dalla caverna al piede pozzo inclinato e dalla sommità del pozzo forzato. Alcune centinaia di metri del pozzo inclinato sono rimaste scoperte dai sondaggi paralleli all'asse di scavo. Questo è il caso della Tm 451, dove purtroppo lo scenario geologico riscontrato non era quindi stato previsto. Fenomeni di detensionamento fragile, in seguito osservati e documentati nella tratta che precedeva la zona disturbata, avevano anticipato l'avvicinamento alla zona (Fig. 7). Dopo aver inutilmente smarinato una decina di m³ di materiale e tentato di svuotare la testa facendola girare senza spinta, le lavorazioni vengono sospese (Fig. 8).

2.2.2 Misure adottate

Come prima misura è stata decisa la perforazione di un foro di sondaggio a distruzione, eseguito a mano in calotta. Il materiale è risultato del tutto non coeso e non è stato possibile proseguire oltre 3,8 m. Sono quindi stati eseguiti due ulteriori sondaggi con DN 150 mm, di cui uno ancora in calotta e uno in platea. In entrambi i casi si è parzialmente utilizzata una camicia per poter spingere il foro il più lontano possibile ed individuare la fine della zona disturbata. I sondaggi hanno mostrato che la lente cachiritica aveva uno spessore di circa 2,2 m, ma, cosa più importante, che era seguita da roccia fortemente alterata. L'avanzamento della TBM aveva di fatto tolto il piede e l'appoggio alla roccia alterata che precedeva, dando vita ad un franamento ed un sovra-scavo sia in calotta sopra la testa della macchina che al fronte. La presenza di passaggi cachiritici era di per sé prevista, ma la combinazione con la geologia alterata a seguire rendeva impossibile il prosieguo dello scavo senza ulteriori misure. La TBM utilizzata nel progetto non era attrezzata né per i sondaggi in prospezione né per i lavori di iniezione, scenari



Credit: Marti Tunnel AG

7 Fenomeni di detensionamento fragile osservati nella tratta precedente la zona disturbata

Fragile detensioning phenomena observed in the section preceding the disturbed area

phase. Further probe drilling was then carried out prior to the TBM excavations from the cavern to the inclined shaft/tunnel foot and from the top of the penstock. A few hundred metres of the inclined tunnel remained uncovered by probing parallel to the excavation axis. This is the case with tunnel metre 451, where unfortunately the geological scenario encountered was therefore not foreseen. Fragile detensioning phenomena, later observed and documented in the section preceding the disturbed zone, had anticipated the approach to the zone. (Fig.7) After having unsuccessfully removed about 10 m³ of material and attempted to empty the head by spinning it without thrust work was suspended. (Fig. 8)

2.2.2 Measures Taken

As a first measure, it was decided to drill a destruction borehole, performed by hand in the crown area. The material was

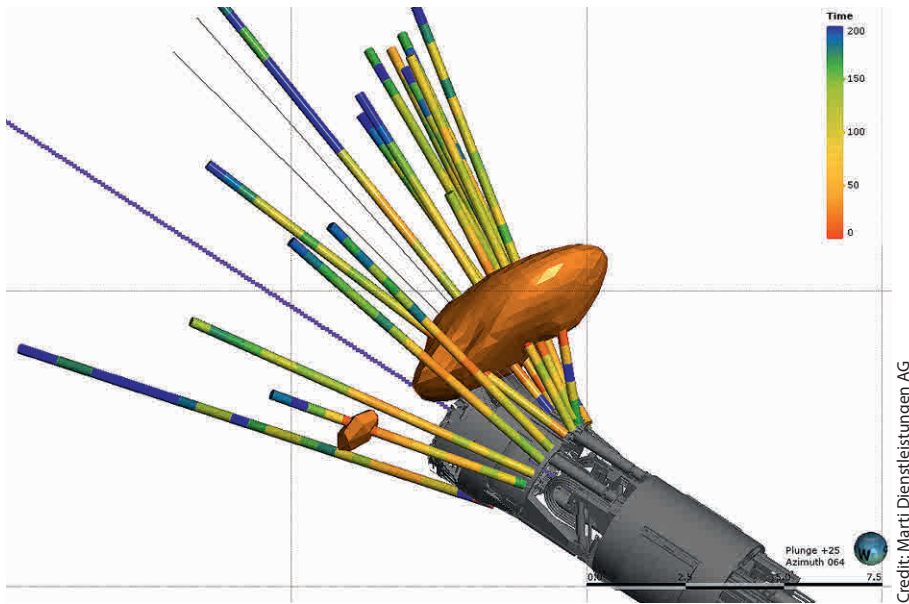
found to be completely non-cohesive, and it was not possible to continue beyond 3.8 m. Two further boreholes with an inner diameter of 150 mm were drilled, one in the crown area and one in the tunnel floor level. In both cases, a liner was partially used to push the hole as far as possible and to locate the end of the disturbed zone. Soundings showed that the fault gouge lens was about 2.2 m thick, but, more importantly, it was followed by strongly altered rock mass. The advancement of the TBM had effectively removed the footing and support from the altered rock mass ahead,



Credit: Marti Tunnel AG

8 Materiale all'interno della testa della TBM al momento del fermo a Tm 451
Material inside the TBM cutterhead at the time of the stop at tunnel metre 451

Renovation of the Ritom Hydroelectric Power Station • The Unexpected Challenges of Digging the Penstock



9 Ricostruzione della zona disturbata e dello scavernamento a Tm 451
Reconstruction of the disturbed zone and of the collapse at tunnel metre 451

entrambi non previsti. Con la stessa perforatrice a mano utilizzata per l'esecuzione dei sondaggi, lo spazio disponibile in L1* è stato sfruttato al massimo per eseguire 16 fori incamiciati, di diametro DN 124 mm in una fascia di 150 gradi circa nell'arco superiore del profilo di scavo. Nei fori sono poi stati inseriti ancoraggi autoperforanti R 38/19 attrezzati con cannette per l'iniezione secondaria. In totale sono state iniettate a bassa pressione quasi 13 tonnellate di miscela cementizia, che hanno stabilizzato e consolidato il materiale e verosimilmente riempito in parte il vuoto lasciato dallo scavernamento in calotta (Fig. 9). Lo scavo è quindi potuto riprendere il 06.08.2021, esattamente ad un mese esatto dal fermo dei lavori. Nei primi metri è stato necessario evitare accuratamente il dosaggio di acqua all'interno della testa, così da non compromettere la stabilità del materiale ottenuta. Direttamente sopra alla testa della TBM si è poi provveduto ad assicurare il profilo con calcestruzzo a secco proiettato a mano, via via che il profilo risultava raggiungibile. La messa in sicurezza è poi stata completata in L1* con la posa di liner plates, sviluppati appositamente per questo progetto, tra la Tm 446 e la Tm 456 (Fig. 10).

2.2.3 Conclusioni

La reazione tempestiva della squadra di scavo sulla TBM al momento in cui la macchina è entrata nella zona disturbata ha permesso di ridurre lo scavernamento sopra testa e non ha inficiato l'attuazione delle misure di messa in sicurezza poi adottate. La concezione della TBM, nonostante non fossero previste e richieste attrezzature per sondaggi ed iniezioni, ha fatto sì che in L1* sia stato possibile installare una perforatrice a mano in grado di coprire un arco di 150 gradi. Gli spazi e i passaggi ridotti hanno obbligato il trasporto a mano di tutti i materiali e di tutte le attrezzature. La zona disturbata è rimasta in linea di massima asciutta durante l'intero intervento di messa in sicurezza. L'infiltrazione di

resulting in a landslide and in an over-excavation both in the crown above the cutterhead of the machine and at the front. The presence of fault gouge passages was expected, but the combination with the following altered geology made it impossible to continue the excavation without further measures. The TBM used in this project was not equipped for either probe-drilling or injection works, both scenarios were not taken into consideration for this machine foreseen. With the same hand down-the-hole (DTH) drill used for exploration, 16 core holes with an inner diameter of 124 mm, distributed over a 150 degree arc, were drilled by hand into excavation direction, in the maximum available upper L1*

area of the TBM. Self-drilling R38/19 anchors with hoses to perform ground post-injections were then inserted into the pre-drilled holes. Overall, almost 13 tonnes of cement mixture were injected at low pressure, through this previous described setup, stabilising and strengthening the ground in front of the TBM and probably partially filling the void left by the collapse in the crown area. (Fig. 9) It was then possible to resume the excavation on 6 August 2021, exactly one month after the work had stopped. During the first few metres of excavation, the use of water inside the cutterhead had to be carefully avoided so as not to compromise the stability of the obtained material. Directly above the head of the TBM, the profile was then secured with hand-sprayed dry shotcrete, as the profile became reachable. The securing was then completed in L1* with the installation of liner plates, specially developed for this project, between the tunnel metre 446 and the tunnel metre 456. (Fig. 10)



10 Liner plates utilizzati per la messa in sicurezza in L1*
Liner plates used for securing L1*

Rinnovo della centrale idroelettrica del Ritom • Le sfide inattese dello scavo del pozzo forzato

acqua in combinazione con la cachirite avrebbe reso ancora più difficile, se non impossibile, il prosieguo dei lavori così come fatto. Sulla scorta di questa esperienza, le zone sospettate di essere instabili fino al traforo, sulla base dei sondaggi del committente, sono quindi state avvicinate eseguendo sondaggi a mano dalla TBM. Si è così ridotto ulteriormente il rischio di imprevisti con conseguenze finanziarie e tempistiche di gran lunga peggiori.

Bibliografia/References

- [1] Urs Müller, Michel Ritz, «Erneuerung des Kraftwerkes Ritom», Swiss Tunnel Congress 2019, Volume n. 18
- [2] Michel Ritz, Graziano Sangalli, Martin Ullrich, Urs Müller, Daniele Bronzetti, Nicola Grosso, Sergio Massignani, «Ritom power plant renewal with new inclined pressure shaft», ITA-AITES World Tunnel Congress, WTC2022, Copenhagen 22-28 April 2022
- [3] Renesco GmbH and Lombardi Consulting Engineers Ltd., «Hybrid injections – Laboratory testing and field experience during tunnel excavation», 6th International Conference on Grouting and Deep Mixing, New Orleans, Louisiana, January 15-18, 2023

2.2.3 Conclusions

The prompt reaction of the excavation team on the TBM when the machine entered the disturbed area made it possible to reduce the overhead collapse and did not affect the implementation of the safety measures then adopted. The design of the TBM, despite the fact that no probe drilling or injection equipment was planned and required, meant that in L1* it was possible to install a hand-held drill capable of covering an arc of 150 degrees. Limited space and passageways meant that all materials and equipment had to be transported by hand. The disturbed area remained in principle dry during the entire securing operation. Water ingress in combination with fault gouge (cachirite) would have made it even more difficult, if not impossible, for the work to continue as it did. With these lessons learned, the areas suspected of being unstable based on the customer's probe drilling findings were then approached by drilling probe holes from the inside of the TBM, with the contractor's self-developed hand-held probe drilling device, up to the end of the tunnel excavation. This further reduced the risk of unforeseen events with far worse financial and timing consequences.

DATI CHIAVE DEL PROGETTO

Regione

Canton Ticino, alta Leventina, comune di Quinto

Committente, Direzione Generale Lavori

Ritom SA (c/o FFS Energia e Azienda Elettrica Ticinese)

Progettazione e Direzione Lavori

- Progettazione: Consorzio Ritom Ticino (IM Maggia Engineering SA (FF), Lombardi SA, Pagani & Lanfranchi SA)
- Direzione lavori locale: Consorzio Ingegneri Ritom (R. Tarchini Cantieri & Contratti SA (FF), Gruner AG, Stucky AG)

Esecuzione dei lavori

Consorzio Marti-Ferrari Ritom (Marti Tunnel AG (FF), Mancini Marti SA, Ennio Ferrari SA)

Dati chiave

Periodo di costruzione: 2018–2024

Messa in servizio: 2024

Costi di costruzione

del tunnel: 300 milioni di franchi svizzeri

Lunghezza totale: Condotta forzata 2,3 km

Sezione di scavo: Galleria in pressione Piotta 18,4 m², pozzo inclinato 8,0 m²

Particolarità

Lavori nel lago Ritom per scavo e costruzione opera di presa solo con abbassamenti programmati. Fermo cantiere di 1,5 mesi nella primavera 2020 causa Covid.

PROJECT DATA

Region

Canton of Ticino, alta Leventina, Municipality of Quinto

Client, project and site management

Ritom SA (c/o FFS Energia e Azienda Elettrica Ticinese)

Planning and construction management

- Planning: Ritom Ticino Consortium (IM Maggia Engineering SA (FF), Lombardi SA, Pagani & Lanfranchi SA)
- Local works management: Consortium of Engineers Ritom (R. Tarchini Cantieri & Contratti SA (FF), Gruner AG, Stucky AG)

Execution

Marti-Ferrari Ritom Consortium (Marti Tunnel AG (FF), Mancini Marti SA, Ennio Ferrari SA)

Key data

Construction time: 2018–2024

Installation: 2024

Tunnel construction

costs: 300 million Swiss francs

Total length: Penstock 2.3 km

Excavation

cross-section: Piotta pressure tunnel

18.4 m², inclined shaft 8.0 m²

Special features

Works in the Ritom lake for excavation and construction of an intake structure only with planned lowerings. 1.5-month construction stoppage in spring 2020 due to Covid.

SWISS TUNNEL KOLLOQUIUM 2022

**Betrieb und Unterhalt (Facility Management)
von Untertagbauwerken**

**Operation and Maintenance (Facility Management)
of Underground Structures**

1. Juni 2022



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

Lorenzo Sabato, Referent, dipl. Ing. ETH/SIA, ASTRA, Zofingen/CH

Curdin Manzoni, Co-Autor, BSc FHO Bauingenieurwesen, EBP Schweiz AG, Zürich/CH

Hanspeter Haas, Co-Autor, dipl. Ing. HTL, NDS Wirtschaftsingen. FH, ASTRA, Zofingen/CH

Der Gotthard-Strassentunnel vor der Erneuerung

Zwischen maximaler Verfügbarkeit und Sicherstellung der Betriebsbereitschaft

Die bestehende Röhre des Gotthard-Strassentunnels wird nach der Fertigstellung der zweiten Röhre ausser Betrieb genommen und erneuert. Bis zu diesem Zeitpunkt wird der Unterhalt wie heute in Nachtsperrungen sichergestellt. Ein Koordinationsgremium ist dafür verantwortlich, die Betriebsbereitschaft und die maximale Verfügbarkeit mittels einer aktualisierten Erhaltungsstrategie zu gewährleisten.

The Gotthard Road Tunnel Prior to Refurbishment

Between Maximum Availability and Ensuring Operational Readiness

The existing tube in the Gotthard road tunnel will be decommissioned and refurbished after completion of the second tube. Until that point, maintenance will be assured with night closures as it is today. A coordination body is responsible for guaranteeing operational readiness and maximum availability using an updated maintenance strategy.

1 Der Gotthard-Strassentunnel

Der Gotthard ist für die Schweiz schon seit jeher eine wichtige Nord-Süd-Verbindung – sei es als Saumpfad, als Passstrasse (ab 1826), als Bahntunnel (ab 1882), als Strassentunnel (ab 1980) oder als Bahn-Basistunnel (ab 2016). Immer wieder haben dort grosse Bauvorhaben die technischen Möglichkeiten der Zeit herausgefordert.

Am 5. September 1980, nach einer Bauzeit von elf Jahren, wurde der Gotthard-Strassentunnel, fortan GST genannt, eröffnet. Er ist Teil der kürzesten Autobahnverbindung zwischen dem nördlichen Europa und Italien und hat somit internationale Bedeutung. Das knapp 17 km lange Bauwerk unterquert auf einer Höhe von 1100 m ü.M. das Gotthardmassiv mit dem Monte Prosa (2680 m ü.M.). Vier oberirdische Lüftungsbauwerke entlang der Linienführung der Passstrasse gewährleisten mit Schachtbauwerken die Lüftung im Tunnel.

Seit mehr als 40 Jahren rollt der Verkehr durch das wohl wichtigste Bauwerk der Nord-Süd-Achse der Schweizer Nationalstrassen. Die verkehrsreichsten Monate sind Juli und August in der Sommerferienzeit. Eine starke Zunahme des

1 The Gotthard Road Tunnel

The Gotthard has always been an important north-south connection for Switzerland – whether as a mule track, a mountain pass (from 1826), a railway tunnel (from 1882), a road tunnel (from 1980) or as a railway base tunnel (from 2016). Time and again, large construction projects have challenged the technical possibilities of the age.

On 5 September 1980, after a construction time of eleven years, the Gotthard road tunnel, hereafter referred to as GRT, was opened. It is part of the shortest motorway connection between northern Europe and Italy, and thus enjoys international significance. The structure, just under 17 km in length, runs below the Saint-Gotthard massif at an elevation of 1,100 m above sea level at the Monte Prosa (2,680 m above sea level). Four above ground ventilation structures along the geometrical alignment of the mountain pass ensure ventilation of the tunnel via shafts.

Traffic has travelled through what is probably the most important structure along the north-south axis on Swiss national roads for more than 40 years. The busiest traffic months of the year are July and August during the summer

Le tunnel routier du Gothard avant la rénovation

Entre disponibilité maximale et garantie de l'état opérationnel

Le tube existant du tunnel routier du Gothard (TRG) sera mis hors service et rénové une fois le deuxième tube achevé, conformément à la décision populaire. Le défi pour le maître d'œuvre consiste à garantir un état opérationnel pendant les fermetures nocturnes réduites au minimum et une disponibilité maximale jusqu'à la fin de la période d'utilisation prévue du TRG. En outre, il faut exploiter les constructions et les installations au maximum de leur durée de vie utile, tandis que le recours aux fermetures nocturnes doit se faire plus rare à compter de 2026 en fonction des besoins. L'OFROU a trouvé le moyen d'atteindre ces objectifs grâce à un organe de coordination, une nouvelle stratégie de maintenance et un instrument de planification.

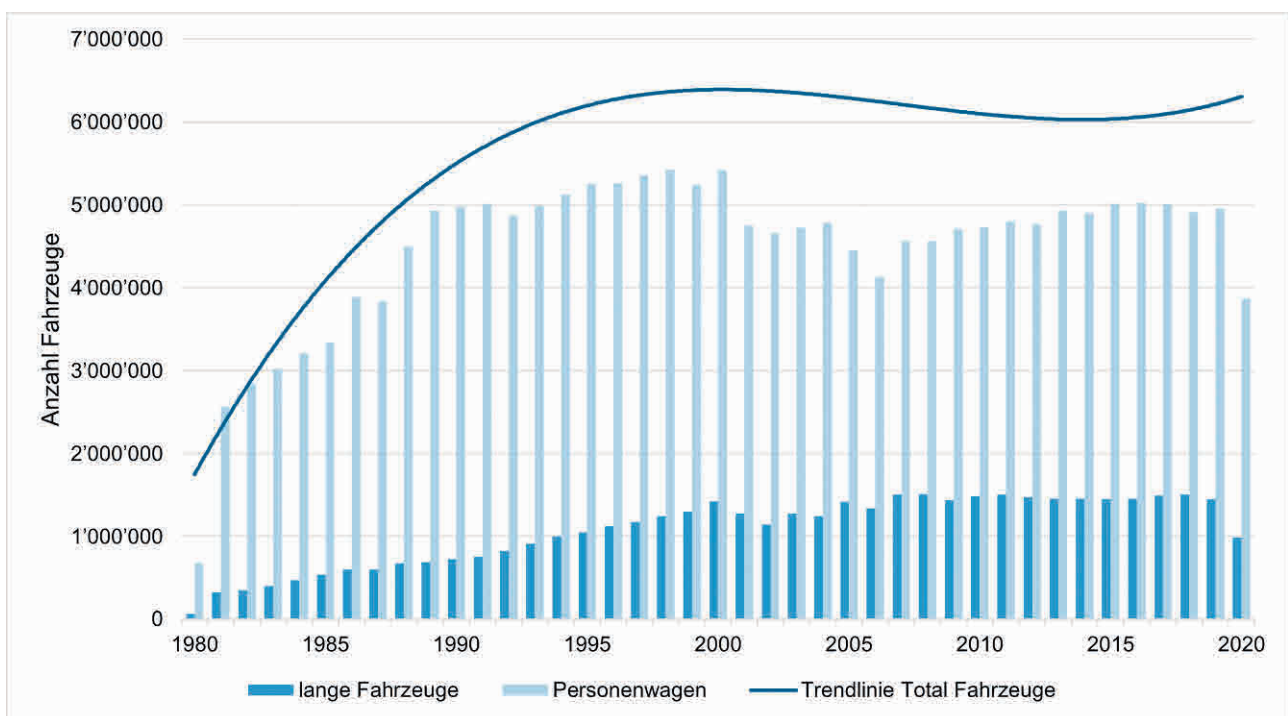
La galleria stradale del San Gottardo prima del risanamento

Tra disponibilità massima e garanzia dell'operatività

La canna esistente del tunnel stradale del San Gottardo (GSSG), come da decisione popolare, dovrà essere messa fuori servizio e risanata dopo il completamento della seconda canna. La sfida per la committenza è quella di garantire l'operatività e la massima disponibilità durante le scarse chiusure notturne fino alla fine della durata di esercizio prevista della GSSG. Inoltre, la durata di esercizio residua dei componenti e degli impianti dovrebbe essere sfruttata in modo ottimale e dal 2026 e le chiusure notturne dovrebbero essere ridotte adeguatamente al fabbisogno. L'USTRA, con un comitato di coordinazione, ha trovato il modo di raggiungere questi obiettivi con una nuova strategia di mantenimento e uno strumento di pianificazione.

Individualverkehrs um 215% von 2,5 Millionen Fahrzeugen (Summe beider Fahrtrichtungen) im Jahr 1981 bis zu 5,4 Millionen im Spitzenjahr 2000 bestätigt die Wichtigkeit dieser Verbindung. Seither bewegt sich die Zahl auf konstant hohem Niveau von ca. 6 Millionen Fahrzeugen pro Jahr. Auffällige Ausreisser sind die Jahre 2001, in welchem aufgrund eines grossen Brandereignisses der Tunnel rund zwei Monate gesperrt werden musste, und 2006, als die

holidays. A significant increase in private transport of 215% from 2.5 million vehicles (total for both directions) in 1981 to 5.4 million in the record year of 2000 confirms the importance of this connection. Since then, the figure has been at a consistently high level of approximately six million vehicles a year. Conspicuous outliers are 2001, where the tunnel had to be closed for around two months due to a large fire, and 2006, when the A2 transit axis was broken for about a month



Quelle/credit: eigene Darstellung, Zahlen Verkehrszählung ASTRA

1 Verkehrsfrequenzen GST 1980 bis 2020
GRT traffic levels, 1980 to 2020

Der Gotthard-Strassentunnel vor der Erneuerung •

Zwischen maximaler Verfügbarkeit und Sicherstellung der Betriebsbereitschaft

Transitachse A2 wegen eines Felssturzes in Gurtneilen rund einen Monat unterbrochen war. Auch zeigen aktuelle Zahlen von 2020 einen temporären Rückgang aufgrund des Lockdowns während der Covid-19-Pandemie. Abgesehen vom Tourismus ist der wintersichere Strassentunnel auch eine zentrale wirtschaftliche Verbindung auf der Nord-Süd-Achse für die Schweiz und Europa. Die konstante Zunahme der «langen Fahrzeuge» (Busse, Lieferwagen, Lastwagen, Lastenzug) von 0,33 Millionen Fahrzeugen pro Jahr im Jahr 1982 auf 1,45 Millionen im Jahr 2019 zeigt dies deutlich auf (Bild 1).

2 Erhaltungsstrategie «G2000»: Unterhalt in konzentrierten Nachtsperrungen

Nach der Inbetriebnahme konnte der GST in den 80er-Jahren ohne nennenswerte Verkehrsbehinderung betrieben und unterhalten werden. Die damaligen Verkehrsmengen erlaubten es, mit Lichtsignalregelung bei geöffnetem Tunnel Nachtbaustellen zu betreiben. Die starke Zunahme der Verkehrsbelastung, aber auch die steigenden Unterhaltsbedürfnisse führten dazu, dass diese Praxis aufgrund von Sicherheitsbedenken geändert werden musste. Die Betriebsleitung GST initiierte 1988 eine umfassende Studie zur Bauwerkserhaltung und führte mit der Umsetzung

because of a rockfall in Gurtneilen. Current figures from 2020 also show a temporary decline due to the lockdown during the Covid-19 pandemic. Aside from tourism, the road tunnel, protected against winter conditions, is also a key economic connection for Switzerland and Europe on the north-south axis. The constant increase in “long vehicles” (buses, delivery vehicles, lorries, juggernauts) from 0.33 million vehicles a year in 1982 to 1.45 million in 2019 clearly demonstrates this (Fig. 1).

2 “G2000” Maintenance Strategy: Maintenance during Concentrated Night Closures

After its commissioning, the GRT could be operated and maintained in the 1980s without notable traffic obstructions. Traffic levels at the time facilitated the operation of night-time construction sites with traffic light control while the tunnel was open. The significant rise in the traffic load, but also increasing maintenance requirements, meant that this practice had to be changed for safety reasons. In 1988, GRT management initiated a comprehensive study on structural preservation and, with the implementation of the “G2000” maintenance strategy, launched the concept of night closure weeks from 1990. All works that affect tunnel operations would be conducted during concentrated night



Quelle/credit: Bildarchiv A2 AfBN, baumann, fryberg, tarelli

2 Tunnelreinigung GST
GRT tunnel cleaning

The Gotthard Road Tunnel Prior to Refurbishment • Between Maximum Availability and Ensuring Operational Readiness

der Erhaltungsstrategie «G2000» ab 1990 das Konzept der Nachtsperrowochen ein. Alle Arbeiten, welche den Tunnelbetrieb beeinflussen, wurden fortan in Nachtsperrowochen konzentriert ausgeführt. Diese wurden ausserhalb der Ferienzeiten und mit offener Passstrasse als Ausweichroute während jeweils acht Nächten im Sommer und 14 Nächten im Herbst (zwischen 20 Uhr und 5 Uhr) durchgeführt. Im Frühling fanden zudem die Sperrungen bei geschlossener Passstrasse während vier Nächten jeweils zwischen 22 Uhr und 5 Uhr statt. Dieses Konzept der gruppierten Nächten in mehreren auf das Jahr verteilten Sperrwochen hatte zur Folge, dass der Tunnel nicht ununterbrochen betrieben werden konnte. Das Konzept der Sperrwochen sorgt jedoch für eine effiziente und kompakte Durchführung der Arbeiten und hat sich bis heute bewährt. Die Hauptarbeiten werden von der Gebietseinheit 11, dem Amt für Betrieb Nationalstrassen (AfBN) des Kantons Uri, ausgeführt.

In den jeweils 26 Sperrnächten pro Jahr werden neben dem Strassenunterhalt (Tunnelreinigung, dargestellt in Bild 2, Spülen der Entwässerung etc.) auch der Unterhalt, die Überprüfung, der Ersatz und die Erweiterung der elektromechanischen Anlagen, der sogenannten Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen (BSA), ausgeführt. Dazu gehören die Energieversorgung und die Kabelanlagen, die Tunnelbeleuchtung, die Lüftungsventilatoren (Bild 3) sowie die Signalisationen mit den Überwachungsanlagen und der Kommunikationstechnik. Als zwingende Massnahme zur Sicherstellung der Betriebsbereitschaft gelten die integralen Gesamttests. Diese Prüfung der Sensorik und der Steuerung der Gesamtanlage muss aus Sicherheitsgründen im gesperrten Tunnel ausgeführt werden. Sie beinhaltet beispielsweise die Prüfung der Fluchttüren sowie der Branddetektoren und die damit verbundene automatische Auslösung der Ereignislüftung, die Beleuchtung sowie alle Signale und Kommunikationseinrichtungen. Ein sicherer Tunnelbetrieb ist nur durch eine ordnungsgemässe Funktion der BSA-Anlagen möglich.

Der gesperrte Tunnel wird zudem genutzt, um sämtliche Bauteile wie Zwischendecke, Wandplatten, Schachtabdeckungen und die Energiezentralen zu inspizieren. Festgestellte Schäden werden aufgenommen, als kleiner baulicher Unterhalt geplant und in einer der folgenden Tunnelsperrungen behoben. Somit werden kontinuierlich jeweils die Bauteile erneuert, welche in einem schadhafte Zustand sind.

Aufgrund der Tunnellänge von knapp 17 km ist es seit Beginn der Einführung des Unterhalts in Nachtsperrowochen eine grosse Herausforderung, die Logistik für den Unterhalt, die Überwachung sowie die Inspektion in den Sperrnächten zu organisieren. Erschwerend kommt hinzu, dass sich der Zustand der immer älter werdenden Bausubstanz stetig verschlechtert und somit der Instandsetzungsbedarf entsprechend zunimmt.



Quelle/credit: Bildarchiv A2 AfBN, baumann, fryberg, tarelli

3 Austausch Lüftungsventilator
Exchange of ventilation fan

closures from that point on. These were carried out outside of holidays and when the mountain pass was open as an alternative route on eight nights in summer and 14 nights in autumn respectively (between 8 p.m. and 5 a.m.). Furthermore, closures while the mountain pass was closed took place in spring over four nights between 10 p.m. and 5 a.m. This concept of grouped nights in closure weeks spread across the year meant that the uninterrupted operation of the tunnel was not possible. The concept of closure weeks does however ensure the efficient and compact execution of works and has proven its worth until now. The main works are carried out by territorial unit 11, the Amt für Betrieb Nationalstrassen (AfBN) of the canton of Uri.

Alongside road maintenance (tunnel cleaning, presented in Fig. 2, rinsing of the drainage systems, etc.), the maintenance, examination, and replacement and extension of electromechanical equipment, the so-called operating and safety equipment, is conducted during the 26 closure nights per year. This includes the energy supply and cable systems, tunnel lighting, and ventilation fans (Fig. 3), as well as the signaling, monitoring systems and communication technology. The integral global tests are a mandatory measure to ensure operational readiness. This examination of the sensors and control equipment for the entire system must be conducted when the tunnel is closed for safety reasons. It includes, for example, an examination of the emergency doors, as well as the smoke detectors and the associated automatic triggering of the incident ventilation, the lighting, and all signals and communication equipment. The safe operation of the tunnel is only possible if the operating and safety equipment is functioning properly.

The closed tunnel is also used to inspect all components such as the intermediate ceiling, wall panels, shaft covers and the energy centres. Any discernible damage is recorded, minor structural maintenance is planned, and the fault is rectified during one of the subsequent tunnel closures. In this way, defective components are refurbished on an ongoing basis.

3 Erneuerung erste Röhre

3.1 Volksentscheid zweite Röhre

Anlässlich der Übergabe der Nationalstrassen an den Bund im Rahmen des neuen Finanzausgleiches (NFA) 2008 wurde beschlossen, eine Auslegeordnung zu erarbeiten. Dabei sollte aufgezeigt werden, ob es zweckmässig, wirtschaftlich vertretbar und technisch überhaupt möglich ist, die Erhaltungsstrategie «G2000» weiterhin unverändert zu verfolgen. Die Ergebnisse machten deutlich, dass die Anpassung des Tunnels an die neuen Standards sowie die Erneuerung der kritischen Bauteile nicht mit der bisherigen Strategie von Nachtsperrungen möglich ist. Zudem wurde der Nachweis erbracht, dass mit der Beibehaltung der Erhaltungsstrategie «G2000» ohne zusätzliche Massnahmen die Nutzungsdauer für einen sicheren Betrieb des Tunnels in den Jahren nach 2020 erreicht sein dürfte.

Durch das Bundesamt für Strassen (ASTRA) wurde im Jahr 2008 ein sogenanntes Globales Erhaltungskonzept in Auftrag gegeben. Dieses nahm die Punkte aus der Auslegeordnung auf und beinhaltet eine umfassende Untersuchung des strassenseitigen Gesamtsystems Gotthard (Passstrasse und Tunnel sowie deren Verkehrsbelastungen). Die empfohlenen Massnahmen aus dem Globalen Erhaltungskonzept setzten aus baulicher, betrieblicher und sicherheitstechnischer Sicht, aufgrund der Eingriffstiefe, eine Vollsperrung des Tunnels von mehreren Monaten oder gar Jahren voraus.

Am 27. Juni 2012 entschied sich der Bundesrat für den Neubau einer zweiten Röhre und die anschliessende Erneuerung der ersten Röhre. Damit kann eine lange Sperrung der Nord-Süd-Achse vermieden und auch die Sicherheit des Tunnelsystems erhöht werden. Diese Variante wurde vom Parlament im Jahr 2014 verabschiedet. Auch das Volk und die Kantone genehmigten an der Abstimmung vom 28. Februar 2016 die notwendige Gesetzesänderung für den Bau einer zweiten Röhre mit anschliessender Erneuerung des bestehenden Tunnels. Das ASTRA wurde mit der Ausarbeitung eines generellen Projektes für die zweite Röhre beauftragt.

Aus Sicht der ASTRA-Infrastrukturfiliale Zofingen, welche für die Erhaltungsplanung der ersten Röhre zuständig ist, schaffte dieser Volksentscheid Klarheit. Er war wegweisend hinsichtlich der neuen Ausrichtung der Erhaltungsstrategie für den GST, denn er ermöglicht eine Erneuerung der ersten Röhre unter Vollsperrung. Mit der Fertigstellung der zweiten Röhre, voraussichtlich 2029, wird die bestehende Tunnelröhre nach rund 50 Jahren ausser Betrieb genommen werden. Der Volksentscheid bedeutet auch, dass der Betrieb und die Erhaltung der bestehenden Röhre, welche nahe am Ende ihrer definierten Gebrauchsdauer ist und altersbedingt unterhaltsintensiver und störungsanfälliger wird, weiter aufrechterhalten werden muss.

Mit dem offiziellen ersten Spatenstich am 29. September 2021 hat der Bau der zweiten Röhre begonnen. Diese Grossbaustelle beansprucht Flächen für Logistik und Installatio-

At just short of 17 km, the length of the tunnel has been a major logistical challenge for the organisation of maintenance, monitoring and inspections since the introduction of maintenance during closure nights. A further complication is the fact that the condition of the ageing structure continues to degrade, meaning an increase in repair requirements.

3 Refurbishment, First Tunnel

3.1 Referendum, Second Tunnel

For the handover of the national roads to the state within the context of the new system of fiscal equalisation (NFA) in 2008, the decision was made to prepare a situation analysis. This was intended to show whether it was expedient, economically justifiable and technically feasible to continue to pursue the "G2000" maintenance strategy unchanged. The results clearly demonstrated that adapting the tunnel to new standards and refurbishing critical components were not possible with the strategy of night closures used to that point. Furthermore, evidence was provided that retaining the "G2000" maintenance strategy without additional measures could lead to the service life for the safe operation of the tunnel being reached after 2020.

A so-called global maintenance concept was commissioned by the Federal Roads Office (FEDRO) in 2008. This included points from the situation analysis and contained a comprehensive investigation of the overall Gotthard roadside system (mountain pass and tunnel, as well as their traffic loads). The recommended measures from the global maintenance concept necessitated the total closure of the tunnel for several months or even years from a structural, operational and safety perspective due to the scale of intervention.

On 27 June 2012, the Federal Council decided on the construction of a second tunnel and the subsequent refurbishment of the first tunnel. This avoids a lengthy closure of the north-south axis and increases the safety of the tunnel system. This variant was approved by parliament in 2014. And the people and cantons also approved the necessary legislative change for the construction of a second tunnel with subsequent refurbishment of the existing tunnel in the vote held on 28 February 2016. FEDRO was commissioned with the development of a general project for the second tunnel.

From the point of view of FEDRO infrastructure branch Zofingen, which is responsible for maintenance planning for the first tunnel, this referendum provided clarity. It was crucial with regard to the new focus of the GRT maintenance strategy because it facilitates the refurbishment of the first tunnel during a complete closure. With the completion of the second tube, provisionally in 2029, the existing tunnel tube will be taken out of service after approximately 50 years of use. The referendum also means that the operation and maintenance of the existing tunnel – which is approaching the end of its specified service life and will require more in-

The Gotthard Road Tunnel Prior to Refurbishment • Between Maximum Availability and Ensuring Operational Readiness

nen und tangiert die bestehende Infrastruktur. So ist beispielsweise bei der gemeinsamen Nutzung des Vortunnels oder des Service- und Infrastrukturstollens die Kompromissbereitschaft aller Beteiligten gefragt.

3.2 Neue Erhaltungsstrategie bis 2030

Das ASTRA hat einerseits den Auftrag, die Betriebsbereitschaft sowie die maximale Verfügbarkeit der Nord-Süd-Verbindung bis zur Eröffnung der zweiten Röhre sicherzustellen. Andererseits sind der nachhaltige Umgang mit den notwendigen Investitionen in die bestehende Röhre und die bestmögliche Ausnutzung der Restnutzungsdauer wichtige Ziele. Dem Bau der zweiten Röhre sollte zudem möglichst viel Spielraum gegeben werden, damit diese effizient und auch unter Betrieb der ersten Röhre zeitgerecht fertiggestellt werden kann.

Das ASTRA hat erkannt, dass die Komplexität rund um die Erhaltung des GST steigt und sich damit der Koordinationsbedarf erhöht. Um den Herausforderungen mit einer aktualisierten Erhaltungsstrategie zu begegnen, wurde ein übergeordnetes Gremium mit Vertreterinnen und Vertretern der beteiligten Partnerinnen und Partner konstituiert. Dieses Gremium hat eine Auslegeordnung der laufenden und geplanten Massnahmen am GST bis 2030 zusammengestellt und dabei die neue Erhaltungsstrategie für diese Zeit in den einzelnen Fachbereichen formuliert.

3.2.1 Betrieblicher Unterhalt

Aus Sicht des betrieblichen Unterhaltes sind vor allem die Veränderungen relevant, welche die Grossbaustelle der zweiten Röhre mit sich bringt. Als Vorbereitung vor dem Hauptvortrieb wurden bereits einschneidende Anpassungen im Umfeld der Werkhöfe Göschenen und Airolo ausgeführt. So musste beispielsweise der Vorplatz beim Werkhof Göschenen mit der Entsorgungsstelle der Installationsfläche für den Bau des neuen Portals des Service- und Infrastrukturstollens Nord weichen. Aufgrund der geänderten Verkehrsführung wurde auch der Zugang vom Werkhof in den Vortunnel neu festgelegt. Abgesehen von solchen logistischen Änderungen erfährt der betriebliche Unterhalt praktisch keine Anpassung des Leistungsauftrages, sodass die Sicherheit und die Betriebsbereitschaft der Strasse gewährleistet bleiben.

3.2.2 Erhaltung Bereich Bau

Im Bereich der Erhaltungsplanung Bau wird mit periodischen Bauwerksinspektionen die Zustandsentwicklung der Bauteile systematisch beobachtet. Daraus lässt sich die mögliche Zustandsverschlechterung ableiten und eine Restnutzungsdauer ermitteln. Der Prozess der Zustandsverschlechterung findet, wenn nicht durch massive äussere Einwirkungen beeinflusst, kontinuierlich statt. Werden Schäden festgestellt, können diese mit sogenannten überbrückenden Massnahmen bis 2030 punktuell behoben werden.

Mit dieser Strategie kann ein gewisser Schadensfortschritt an ausgewählten Bauteilen zugelassen werden. Damit kann

tensive maintenance and become more vulnerable to faults due to its age – must continue.

With the first official groundbreaking ceremony on 29 September 2021, construction began on the second tube. This major construction site requires space for logistics and installations, and affects the existing infrastructure. This therefore requires a willingness to compromise on the part of all those involved when it comes to the shared use of the approach tunnel or the service and infrastructure tunnel, for example.

3.2 New Maintenance Strategy to 2030

On the one hand, FEDRO is tasked with ensuring the operational readiness and maximum availability of the north-south connection until the opening of the second tube. On the other hand, a sustainable approach to required investments into the existing tunnel and the optimal use of the remaining service life are important goals. The construction of the second tunnel should also be given as much leeway as possible so that it can be completed efficiently, on time and under operation of the first tunnel.

FEDRO has recognised that complexity concerning the maintenance of the GRT is rising and the need for coordination has therefore increased. In order to face the challenges with an updated maintenance strategy, a superordinate committee with representatives from the partners involved has been constituted. This committee has compiled a situation analysis of ongoing and planned measures on the GRT to 2030 and formulated the new maintenance strategy for this period within the individual disciplines at the same time.

3.2.1 Operational Maintenance

From the perspective of operational maintenance, the most relevant changes are those involving the major construction site for the second tunnel. In preparation for the main excavation, drastic adjustments around the Göschenen and Airolo operations centres have already been made. For example, the forecourt at the Göschenen operations centre had to make way for the installation area disposal centre for the construction of the new portal for the northern service and infrastructure tunnel. Because of the alteration to traffic routing, access from the operations centre to the approach tunnel was also redefined. Aside from these kinds of logistical changes, there were practically no changes to the service mandate for operational maintenance, meaning that the continued safety and operational readiness of the road was assured.

3.2.2 Maintenance, Construction

In the area of construction maintenance planning, progression in the condition of components is systematically monitored with periodic structural inspections. This facilitates the assessment of any possible deterioration and the evaluation of the remaining service life. Deterioration is an ongoing process when not influenced by significant external factors. If damage is detected, this can be rectified on an individual basis with so-called bridging measures until 2030.

die Restnutzungsdauer optimal erreicht und gleichzeitig die Tunnelsicherheit gewährleistet werden. Der Fokus liegt auf sicherheitsrelevanten «überbrückenden Massnahmen», und es wird von grossen Investitionen in einzelne Bauteile abgesehen wie zum Beispiel dem Ersatz der Zwischendecke oder dem systematischen Austausch von Schachtabdeckungen. Somit wird punktuell nur dort investiert, wo die Massnahme der Gewährleistung der Sicherheit dient.

3.2.3 Erhaltung Bereich BSA

Im Bereich Erhaltungplanung der Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen (BSA) ist die Thematik komplexer als beim Bereich Bau. Zum einen ist die Verschlechterung der Anlagenteile visuell kaum zu beurteilen. Zum anderen ist das Versagen unmittelbar: Eine BSA-Anlage, zum Beispiel eine Lichtsignalanlage, funktioniert jahrelang problemlos und kann dann ohne Vorankündigung ausfallen. Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen weisen eine deutlich kürzere Nutzungsdauer als im Bau üblich auf. Die Entwicklung von Technologien schreitet rasch voran, sodass Lösungen bereits nach wenigen Jahren nicht mehr kompatibel respektive auf dem Markt verfügbar sind. Neue Technologien erlauben bessere Überwachungen, schnellere und präzisere Reaktionen und damit auch mehr Sicherheit im Betrieb des Tunnels. Diese zunehmende Digitalisierung führt im Gegenzug jedoch zu weitgehenden Abhängigkeiten von Systemen respektive einer zunehmenden Komplexität. Bei Erneuerungen von BSA-Komponenten muss daher immer das Gesamtsystem von der BSA-Komponente im Tunnel bis zur Visualisierung in den Betriebsleitzentralen im Auge behalten werden.

Nachdem 2016 der Entscheid für den Bau der zweiten Röhre gefällt worden war und damit der GST mit Vollsperrung erneuert werden kann, wurde die Projektgenerierung für den Erhalt der BSA bis 2030 (voraussichtliche Ausserbetriebnahme 2029) gestartet. Das Ziel war es, mit einer umfassenden Zustandsanalyse zu eruieren, welche Massnahmen notwendig sind, um die Betriebsbereitschaft des GST bis 2030 sicherzustellen und gleichzeitig unnötige Investitionen zu vermeiden. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass ohne gezielte Massnahmen und ohne einen erhöhten betrieblichen Unterhalt an den Anlagen der sichere Betrieb bis ins Jahr 2030 nicht garantiert werden kann. Das Massnahmenkonzept für das Projekt «Erhalt BSA bis 2030» ist Mitte 2021 genehmigt worden, und zurzeit wird daraus ein Massnahmenprojekt ausgearbeitet. Letzteres soll die Umsetzung in den Jahren 2022 bis 2025 ermöglichen und fokussiert auf Massnahmen, die dringend notwendig sind, um eine Nutzung bis zum geplanten Betriebsende der ersten Röhre zu gewährleisten. Einzelne Arbeiten wie die Teilerneuerung der Kabelanlage oder der Durchfahrtsbeleuchtung sind zustandsbedingt vorgezogen und in den Jahren 2018 bis 2021 bereits umgesetzt worden.

Der Teilersatz der Durchfahrtsbeleuchtung war zwingend notwendig, da sowohl die Leuchtmittel (sogenannte FL-Röhren) als auch die Vorschaltgeräte am Ende ihrer Nut-

With this strategy, a certain degree of damage progression to select components is permitted. The remaining service life can then be reached optimally while at the same time ensuring tunnel safety. The focus is on safety-relevant “bridging measures” and does not include large investments in individual components, such as replacement of the intermediate ceiling or the systematic exchange of shaft covers. This means that investment will only be made in individual instances where the measure serves to ensure safety.

3.2.3 Maintenance, Operating and Safety Equipment

In the area of maintenance planning for the operating and safety equipment, the topic is more complex than in the area of construction. On the one hand, deterioration in the equipment components can hardly be seen with the naked eye. On the other hand, failure is instantaneous: an operating and safety equipment system, for example a traffic light, works for years with no problems and can then fail without warning. Operating and safety equipment has a considerably shorter service life than is usual in construction. Technological development progresses rapidly, meaning that solutions are no longer compatible or are unavailable on the market after just a few years. New technologies facilitate better monitoring and quicker, more precise reactions, and thus an increase in safety when operating the tunnel. Conversely, this increasing digitisation leads to extensive dependence on systems and increasing complexity. When refurbishing components in the operating and safety equipment, the whole system must therefore be considered – from the operating and safety equipment components in the tunnel to the display in the control room.

After the decision in 2016 to construct the second tube to allow the refurbishment of the GRT with a full closure, the project generation for the maintenance of the operating and safety equipment until 2030 (provisional decommissioning in 2029) was launched. The aim was to use a comprehensive condition assessment to determine which measures would be necessary to ensure the operational readiness of the GRT until 2030 and at the same time to avoid unnecessary investments. The results have shown that, without targeted measures and without an increase in operational maintenance to the equipment, safe operation until 2030 cannot be assured. The concept of measures for the project “Maintenance of Safety and Operating Equipment until 2030” was approved in mid 2021 and a programme is currently in development for these measures. Finally, implementation in 2022 to 2025 should make it possible to guarantee use of the first tunnel until the planned end of service life with a focus on measures that are absolutely urgent. Individual works, such as partial renewal of the cable systems or transit lighting, were brought forward based on their condition and were already implemented between 2018 and 2021.

The partial replacement of the transit lighting was absolutely essential because both the illuminants (so-called FL tubes)

The Gotthard Road Tunnel Prior to Refurbishment • Between Maximum Availability and Ensuring Operational Readiness

zungsdauer angelangt waren. Die bis zur Sanierung des Tunnels erforderliche Nutzungsdauer bestimmte auch die Systemwahl: Mit der «LED-Retrofit-Lösung» wurde ein System gewählt, bei welchem die bestehenden Lampengehäuse, die Verkabelungen, aber auch die Beleuchtungssteuerung weiterverwendet werden konnten. Lediglich das alte Leuchtmittel und das elektronische Vorschaltgerät mussten ausgetauscht werden (Bild 4). Die übrigen Beleuchtungskomponenten (wie Gehäuse, Verkabelungen, Steuerung usw.) können aufgrund ihres derzeitigen Zustandes noch für die verbleibenden Betriebsjahre bis zur Erneuerung der ersten Röhre genutzt werden.

Die Lösung mit dem Ersatz der alten FL-Beleuchtung durch vorkonfektionierte LED-Retrofits war äusserst kosteneffizient und wurde in den bestehenden Sperrnächten innerhalb kurzer Zeit ausgeführt. Dank der neuen LED-Technologie wird der Fahrraum gleichbleibend hell ausgeleuchtet und somit ein sicherer Tunnelbetrieb garantiert. Die neuesten Auswertungen der Gebietseinheit zeigen, dass gegenüber den herkömmlich eingesetzten Leuchtmitteln eine Energieersparnis von rund 35 % erreicht wird.

3.3 Planungsinstrument «Sperrplanung GST bis 2030»

In einem nächsten Schritt wurden alle Beteiligten aufgefordert, den Massnahmenbedarf für die Erhaltung der Betriebsbereitschaft bis 2030 und weitere Massnahmen abzuschätzen, welche den Tunnelbetrieb beeinflussen könnten. Unter Federführung der Erhaltungsplanung der ASTRA-Filiale in Zofingen wurde in Zusammenarbeit mit dem Bereich Projektmanagement für die Gattungen BSA und Bau (inkl. zweiter Röhre) sowie mit Vertretern der Gebietseinheit 11 die Anzahl benötigter Einzelnächte pro Aufgabe quantifiziert.

Das Ergebnis war eine grosse Anzahl benötigter Einzelnächte, welche nicht ohne Weiteres in den vorhandenen 26 Sperrnächten Platz finden. Gemeinsam konnten im Koordinationsgremium die gegenseitigen Auswirkungen der Massnahmen diskutiert und abgeschätzt werden. Es wurde deutlich, dass der Priorisierung und Koordination der Massnahmen grosse Aufmerksamkeit geschenkt werden muss. Gegenseitige Beeinträchtigungen könnten dazu führen, dass der kritische Pfad eines Projekts empfindlich gestört würde, was negative Auswirkungen auf die Betriebsbereitschaft und die Verfügbarkeit der Strassenverbindung zur Folge haben könnte.

Darum wurden die Massnahmen miteinander koordiniert, indem sie in den beiden Dimensionen Örtlichkeiten sowie Zeit verortet wurden. Für die Darstellung der Planung ist ein klassisches Weg-Zeit-Diagramm verwendet worden. Damit konnten die Längsausdehnung des Tunnels (horizontale Achse) und der Ort der Massnahmenausführung schematisch dargestellt werden. Auf der vertikalen Achse wurde die Massnahme in die zeitliche Relation eingeordnet (Bild 5). Mit dem Planungsinstrument «Sperrplanung GST bis 2030» kann ein visueller Eindruck vom Planungsstand vermittelt werden, was die Feinabstimmung und Koordination vereinfacht.

and the control gear were at the end of their service life. The required service life up to the renovation of the tunnel also influenced the choice of system: with the “LED Retrofit Solution”, a system was selected that facilitated the ongoing use of the existing lamp housing and wiring, as well as the lighting control. Only the old illuminant and the electronic control gear needed to be exchanged (Fig. 4). The remaining lighting components (such as the housing, wiring, control, etc.) can continue to be used for the remaining years of operation until the refurbishment of the first tunnel thanks to their present condition.

The solution replacing the old FL tubes with pre-assembled LED retrofits was especially cost-effective and was carried out within a short time during the existing closure nights. Thanks to the new LED technology, the driving area is consistently brightly lit and therefore ensures the safe operation of the tunnel. The latest evaluations by the territorial unit show that an energy saving of around 35% is achieved when compared to conventional illuminants.

3.3 “GRT Closure Plan to 2030” Planning Tool

The next step was to request that all those involved evaluate the measures required for maintaining operational readiness until 2030, as well as additional measures that could influence tunnel operations. With the maintenance planning of the Zofingen branch of FEDRO leading the project, the number of required individual nights per task was quantified in collaboration with project management for the categories “operating and safety equipment” and “construction” (incl. second tube), as well as with representatives of territorial unit 11.

The result was a large number of required individual nights, which could not be fitted readily into the available 26 closure nights. In the coordination committee, it was possible to discuss and evaluate the reciprocal impact of the measures together. It became clear that the prioritisation and coordination of the measures required a great deal of attention. Detrimental interference could lead to a disruption to the



4 Ersatz der Durchfahrtsbeleuchtung durch das System «Retrofit»
Replacement of the transit lighting with the “Retrofit” system

Quelle/Credit: AFBN, Indergand, Tresch

Der Gotthard-Strassentunnel vor der Erneuerung •

Zwischen maximaler Verfügbarkeit und Sicherstellung der Betriebsbereitschaft

4 Ausblick

Das neu erstellte Planungsinstrument dient als Arbeitsgrundlage für das Koordinationsgremium, welches sich zukünftig zweimal jährlich für die sogenannte Cockpit-Sitzung trifft. Dieses Gremium verfolgt diverse grundsätzliche Ziele: Die notwendigen Massnahmen sind so umzusetzen, dass die Betriebsbereitschaft bis 2030 sichergestellt ist. Zudem sollen die Eingriffe in das System durch den Bau der zweiten Röhre koordiniert werden. Zur Maximierung der Verfügbarkeit des Tunnels soll gleichzeitig der Bedarf des betrieblichen Unterhalts und somit der Sperrnächte laufend analysiert und ab 2026 bedarfsgerecht reduziert werden. Das Ziel, sämtliche Massnahmen in den jeweils 26 Sperrnächten umzusetzen, kann aus heutiger Sicht mit erhöhtem Koordinationsaufwand erfüllt werden.

Die Ausarbeitung des Massnahmenprojekts für das Projekt «Erhalt BSA bis 2030» ist zentral und wird laufend in die Koordination mittels eines iterativen Prozesses miteinbezogen. Die Investitionen in die BSA, welche in den Jahren 2022 bis 2025 in ausgewählten Einzelkomponenten prioritär erfolgen sollen, sind elementar für den sicheren Betrieb der Strassenverbindung.

Die Hauptlast der Umsetzungstätigkeiten trägt nach wie vor die Gebietseinheit 11. Diese hat die Aufgabe, den sicheren Betrieb des Tunnels zu gewährleisten, und organisiert den betrieblichen Unterhalt in den Sperrwochen. Dazu wird jeweils ein detailliertes Sperrprogramm erarbeitet, in welches

critical path of a project, which could have negative consequences for operational readiness and the availability of the road connection.

The measures were therefore coordinated together with the provision of both location and time specifications. A classic path-time diagram was used to present the planning. The longitudinal extent of the tunnel (horizontal axis) and the location of the measure to be conducted could then be presented schematically. Along the vertical axis, the measure is arranged according to time (Fig. 5). With the “GRT Closure Plan to 2030” planning tool, a visual impression of the planning status can be communicated, which simplifies fine-tuning and coordination.

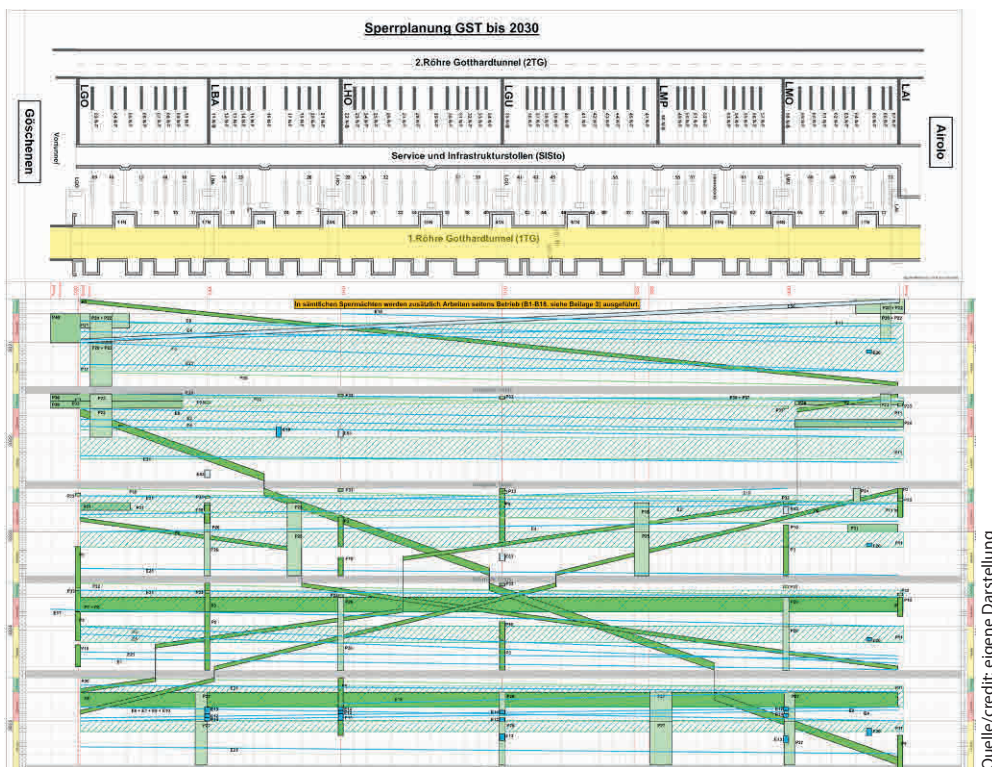
4 Outlook

The newly compiled planning tool serves as a working foundation for the coordination committee, which will in future meet twice a year for the so-called cockpit session. This committee has a range of fundamental objectives: the required measures should be implemented such that operational readiness is assured to 2030. Furthermore, interventions in the system through the construction of the second tunnel should be coordinated. At the same time, the requirement for operational maintenance and thus the closure nights should be analysed on an ongoing basis and reduced from 2026 as needed to maximise availability of the tunnel. The aim of implementing all measures during the 26 closure

nights can be met with increased coordination effort from today's perspective.

Development of the programme of measures for the project “Maintenance of Safety and Operating Equipment until 2030” is key and will be continually included in the coordination using an iterative process. Investments in operating and safety equipment, which should take place as a priority in 2022 to 2025 for selected individual components, are fundamental to the safe operation of the road connection.

The largest share of implementation activities is still borne by territorial unit 11. It has the task of ensuring the safe operation of the



5 Auszug aus dem Planungsinstrument «Sperrplanung GST bis 2030»
Excerpt from “GRT Closure Plan to 2030” planning tool

The Gotthard Road Tunnel Prior to Refurbishment • Between Maximum Availability and Ensuring Operational Readiness

alle Beteiligten ihre Arbeiten einpassen müssen. Dieses Planungsinstrument wird dabei die Basis für eine vorkoordinierte Grobplanung bilden und die Gebietseinheit 11 in der Umsetzung unterstützen.

5 Fazit

Das ASTRA hat mit der erhöhten Koordination, den kurzen Entscheidungswegen über das Koordinationsgremium «Cockpit-Sitzung» und mit dem neuen Planungsinstrument «Sperrplanung GST bis 2030» einen Weg gefunden, wie die zunehmend notwendigen und sicherheitsrelevanten Massnahmen in den knappen zur Verfügung stehenden Sperrwochen umgesetzt werden können. Gleichzeitig können die Betriebsbereitschaft, die maximale Verfügbarkeit und die Verkehrssicherheit gewährleistet werden. Das ASTRA ist überzeugt, mit der neuen Erhaltungsstrategie bis 2030 die Restnutzungsdauer der Bauteile und Anlagen ideal auszunutzen und mit dem Projekt «Erhalt BSA bis 2030» Investitionen in den sicheren Betrieb des GST zu tätigen. Zudem kann mit diesem Vorgehen die Anzahl der Sperrnächte ab 2026 bedarfsgerecht reduziert werden.

tunnel and organising operational maintenance in closure weeks. In addition, a detailed closure programme will be developed into which all those involved must fit their works. This planning tool will form the basis for a pre-coordinated rough plan and support territorial unit 11 in the implementation.

5 Conclusion

With increased coordination, short decision-making paths via the coordination committee cockpit session, and the new “GRT Closure Plan to 2030” planning tool, FEDRO has found a way to implement the increasingly necessary and safety-relevant measures in the few available closure weeks. At the same time, operational readiness, maximum availability and traffic safety can be assured. FEDRO is confident that the remaining service life of components and equipment can be optimally exploited to 2030 with the new maintenance strategy and investments made in the safe operation of the GRT with the project “Maintenance of Safety and Operating Equipment until 2030”. Furthermore, this approach facilitates a reduction in the number of closure nights from 2026 as needed.

*Simon Züger, Dipl. Bau-Ing. FH, Pini Group SA, Roveredo/CH
Davide Merlini, Dipl. Bau-Ing., Pini Group SA, Lugano/CH
Sue Motta, Dipl. Bau-Ing. ETH, Pini Group SA, Roveredo/CH*

Von der Inspektion bis zur Inbetriebnahme

Erfahrung mit Erneuerungsprojekten für Eisenbahn- und Strassentunnel

Dieser Artikel erläutert das Vorgehen zur Erhaltung des Rohbaus bestehender Eisenbahn- und Strassentunnel mit einigen Praxisbeispielen. Von der Inspektion bis zur Inbetriebnahme sind folgende vier Hauptarbeiten wegweisend: Überwachungsprozess, Erhaltungsplanung, Ausführung der Erhaltungsmaßnahmen und Erstellung respektive Anpassung des Unterhaltskonzepts.

From the Inspection to the Start of Operation

Experience with Renovation Projects for Railway and Road Tunnels

This article outlines the procedure for maintaining the tunnel construction of existing railway and road tunnels with a few practical examples. From the inspection to the start of operation, the following four main tasks are key: monitoring process, maintenance planning, implementation of maintenance measures, and development or adjustment of the maintenance concept.

1 Einleitung

Das Verkehrsaufkommen in der Schweiz nimmt ständig zu. Tunnelbauwerke sind im Infrastruktursystem des Bahn- und Strassenverkehrs bedeutende Bauwerke. Es werden immer wieder neue Tunnelprojekte für die erforderliche Kapazitätserweiterung geplant. Um die Bewältigung des Verkehrsaufkommens auch in den bestehenden Tunneln zu gewährleisten, muss der Erhalt der bestehenden Tunnelbauwerke auch in der Zukunft garantiert werden können. Das liegt daran, dass der grösste Teil des Schweizer Infrastrukturnetzes zwischen Anfang 1900 und 1980 gebaut wurde, sodass die meisten Tunnel mehr als 50 Jahre alt sind. So sind zum einen die Bauwerke über ihre Lebensdauer hinaus gealtert, zum anderen haben sich die gesetzlichen Anforderungen an den Rohbau und die Anlagentechnik/Sicherheit geändert. Ein Beispiel für eine Veränderung der Rahmenbedingungen für bestehende Bauwerke waren die Unfallereignisse um die Jahrhundertwende in verschiedenen Strassen- und Eisenbahntunneln – Mont-Blanc-Tunnel, Gotthardtunnel, Simplontunnel –, die die grundlegenden Sicherheitsanforderungen veränderten.

Damit die bestehenden Tunnelbauwerke erhalten und den aktuellen Sicherheitsansprüchen angepasst werden können, ist der Prozess der Erhaltung von der Inspektion bis zur Inbetriebnahme wegweisend. Der Prozess der Tunnelerhaltung kann in vier Kernbereiche unterteilt werden: Überwachungsprozess, Erhaltungsplanung, Erhaltungsmaßnahmen und Anpassung/Erstellung des Unterhaltskonzepts.

1 Introduction

Traffic volumes in Switzerland are constantly rising. Tunnel constructions are significant structures in the rail and road traffic infrastructure system. New tunnel projects are continually being planned for the required increase in capacity. So as to ensure that this traffic volume can also be accommodated in existing tunnels, it must also be possible to guarantee the future maintenance of the existing tunnel structures. This is because the bulk of the Swiss infrastructure network was built between the start of 1900 and 1980, meaning that most tunnels are more than 50 years old. On the one hand, this means the structures have aged over their service life. On the other, the legislative requirements for tunnel construction and systems technology/safety have changed. An example of a change to the framework conditions for existing structures were the accidents around the turn of the century in various road and railway tunnels – Mont-Blanc Tunnel, Gotthard Tunnel, Simplon Tunnel – which changed basic safety requirements.

To facilitate the retention of the existing tunnel structures and their adjustment to current safety requirements, the process of maintenance from the inspection to start of operation is crucial. The process of tunnel maintenance can be divided into four core areas: monitoring process, maintenance planning, maintenance measures and development/adjustment of the maintenance concept.

Adherence to safety regulations is an important aspect for tunnel structures. Standards and guidelines are used for

De l'inspection à la mise en service

Les tunnels routiers et ferroviaires jouent un rôle central dans nos déplacements du quotidien ou les voyages plus longs. Les nouveaux projets de tunnel permettent de renforcer les capacités des infrastructures routières et ferroviaires. Par ailleurs, il faut entretenir les tunnels existants et les conformer aux exigences de sécurité. La majeure partie du réseau des infrastructures suisses a été construit entre 1900 et 1980, si bien que les tunnels comptent plus de 50 ans de service pour la plupart. Le processus d'entretien comporte quatre aspects essentiels: le processus de surveillance, la planification des opérations de maintenance, la réalisation des mesures de maintenance et l'élaboration du processus d'entretien.

Dall'ispezione alla messa in servizio

Le gallerie ferroviarie e stradali hanno un ruolo decisivo nei nostri viaggi a corto e lungo raggio. I nuovi progetti di gallerie permettono di aumentare la capacità dell'infrastruttura viaria; inoltre, le gallerie esistenti devono essere mantenute e adeguate agli attuali requisiti di sicurezza. La gran parte della rete infrastrutturale svizzera è stata costruita dall'inizio del 1900 al 1980; la maggior parte delle gallerie ha quindi più di 50 anni. Il processo di manutenzione delle gallerie può essere suddiviso in quattro aree chiave: processo di monitoraggio, programmazione della manutenzione, misure di manutenzione e creazione del processo di mantenimento.

Die Einhaltung der Sicherheitsvorgaben ist bei Tunnelbauwerken ein wichtiger Aspekt. Normen und Richtlinien werden bei neuen Tunnelbauten angewendet, gelten jedoch auch für den Unterhalt und den Umbau bestehender Tunnel mit dem Ziel, diese den neuen Standards anzupassen.

1.1 Grundlagen und technische Vorgaben

Der Projekterarbeitung beziehungsweise dem Erhaltungsablauf dienen allgemein gültige SIA- und VSS-Normen. Für Eisenbahntunnel sieht unter anderem die SIA 197-1 zusätzliche Sicherheitseinrichtungen (Nische usw.) bei Tunneln mit einer Länge grösser als 1 km vor, alle 1000 m Fluchtwege, die nach aussen führen, Fluchtwege zu Paralleltunneln maximal alle 500 m, für Bahntunnel mit mehr als 1 km Länge sind unter anderem Lösch- und Rettungszüge wie auch Wasserversorgungssysteme im Bereich der Portale vorgesehen.

Für Strassentunnel sieht die SIA 197-2 in der Regel keine Verzweigung vor, wobei gerade Strecken maximal eine Länge von 3 km betragen dürfen. Zusätzlich sind Sicherheitseinrichtungen wie Nischen usw. für Tunnel mit einer Länge grösser als 300 m vorzusehen, SOS-Nischen mit Hydranten alle 150 m, gegenüberliegende Ausstellbuchten alle 600 m bis 900 m und Fluchtwege alle 300 m bis 500 m für Tunnel mit Gegenverkehr. Querverbindungen sind für Tunnel ohne Gegenverkehr maximal alle 300 m, befahrbare Querschläge maximal alle 900 m anzuordnen. Grundsätzlich muss die Tunnelbelüftung sowohl während des Betriebs als auch im Havariefall den Anforderungen des ASTRA entsprechen.

Nationalstrassen-Standards für die Fachapplikation Kunstbauten und Tunnel (KUBA) des ASTRA, der Leitfaden zur Inspektion von Kunstbauten, Fachhandbücher, Standards der SBB wie zum Beispiel nationale Richtlinien, Vorgaben des BAV, Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung (AB-EBV), SBB-spezifische Regelwerke, Projektierungsassistenten Ingenieurbau und Tunnelinstandsetzung (PAInGT), Ausführungs- und Qualitätsvorschriften (AQV)

new tunnel constructions, but these also apply for the maintenance and alteration of existing tunnels, with the aim of adapting these to the new standards.

1.1 Basic Principles and Technical Specifications

The project development and/or maintenance procedure are subject to the SIA and VSS standards in their valid forms. For railway tunnels, SIA 197-1 stipulates, among other things, that tunnels longer than 1 km must have additional safety equipment (recess and so on), escape routes that lead outside every 1,000 m and escape routes to parallel tunnels every 500 m maximum. For railway tunnels over 1 km in length, firefighting and rescue trains, for example, must be provided in the portal areas, as well as water supply systems.

For road tunnels, SIA 197-2 generally stipulates no branching points, with straight stretches being permitted a maximum length of 3 km. Furthermore, safety equipment such as niches must be provided for tunnels with a length of more than 300 m, SOS niches with hydrants every 150 m, service bays opposite one another every 600 m to 900 m, and escape routes every 500 m to 300 m for tunnels with oncoming traffic. Cross passages must be situated every 300 m maximum for tunnels without oncoming traffic, with vehicle-accessible cross passages every 900 m maximum. Tunnel ventilation must comply with FEDRO requirements both during operation and in the event of an accident.

The technical basis for a project is rounded off with national-road standards for the FEDRO specialist application for civil engineering structures and tunnels (KUBA); guidelines on the inspection of civil engineering structures; specialist handbooks; SBB standards such as national guidelines; FOT provisions; implementation rules for the Eisenbahnverordnung (AB-EBV); SBB-specific regulations; project-planning assistants for structural engineering and tunnel repair (PAInGT); implementation and quality provisions (AQV); and project-specific documents produced over the years such as

Von der Inspektion bis zur Inbetriebnahme • Erfahrung mit Erneuerungsprojekten für Eisenbahn- und Strassentunnel

sowie projektspezifische und im Laufe der Jahre erarbeitete Unterlagen wie zum Beispiel vorgängig erstellte Inspektionsberichte beziehungsweise Berichte zur Zustandserfassung vervollständigen die technischen Grundlagen für ein Projekt.

Im Tunnelquerschnitt ist die Einhaltung des Lichtraumprofils zu garantieren. Zur Prüfung muss das Lichtraumprofil gemäss den aktuellen Normen geprüft beziehungsweise definiert werden. Anhand von Tunnelscans kann die Einhaltung des Lichtraumprofils begutachtet werden. Eventuelle bauliche Massnahmen müssen bei der Instandsetzung eines Tunnels berücksichtigt werden.

2 Überwachungsprozess respektive Inspektionen

Die Anlageninspektionen erfolgen im Zeitzyklus von drei bis fünf Jahren und erfordern meistens Tunnelsperrungen. Für die Planung der Inspektionen von Bahntunneln, aber auch Strassentunneln ist es sehr wichtig, zunächst festzulegen, ob eine Totalsperrung des Tunnels notwendig ist oder ob eine Teilsperre mit Verkehrsumleitung auf die andere Fahrspur respektive das andere Gleis ausreichend ist. Eine massgebliche Herausforderung besteht darin, diese Sperrungen auf ein Minimum zu beschränken und die vorgesehenen Sperrungen für Tunnelreinigungen oder Betriebspausen zu nutzen.

Um die Hauptinspektionen im gleichen Zeitfenster wie die Tunnelreinigungen beziehungsweise die Betriebspausen durchführen zu können, ist eine präzise Vorbereitung der Abläufe zu planen und mit dem Betreiber abzustimmen.

Die Hauptinspektion besteht aus der Zustandserfassung der verschiedenen Anlagenteile des Tunnels. Die Erfassung des Zustands erfolgt meist durch visuelle Kontrollen. Der Stand der Technik erlaubt es, mit 3-D-Laserscans die Geometrie des Gewölbes zu überprüfen und eventuelle Verformungen oder Mängel aufzuzeigen. Sind die vorliegenden Pläne nicht vollständig oder fehlen Informationen, werden häufig Sondierbohrungen oder Studien mit Georadar durchgeführt. In Zukunft können die Zustandsaufnahmen digitalisiert werden. Mit einer Kombination von hochauflösenden optischen Aufnahmen beziehungsweise Fotos, die auf eine 3-D-Punktwolke überlappt werden, können Grundlagen erstellt werden, die sowohl die Beurteilung des Erhaltungszustandes fern vom Bauobjekt als auch die Weiterentwicklung des Projektes im BIM-Umfeld ermöglichen.

2.1 Akribische Vorbereitung der Inspektion

Für die Vorbereitung der Inspektion ist es unbedingt notwendig, die vorhandene Bauwerksdokumentation zu besorgen. Dazu gehören entsprechende Unterlagen und Pläne der ausgeführten Bauwerke und Unterlagen der bereits ausgeführten Instandsetzungen.

Die Arbeitsgrundlage für die Vorbereitung der Inspektion besteht aus der letzten durchgeführten Hauptinspektion. Durch die sorgfältige Vorbereitung der Inspektionen kann

previously compiled inspection reports or reports on condition assessments.

In the tunnel cross section, adherence to the clearance envelope should be assured. To evaluate this, the clearance envelope must be checked or defined in line with current standards. Adherence to the required clearance envelope can be assessed using tunnels scans. Any structural measures must be factored in during a tunnel's repair.

2 Monitoring Process/Inspections

System inspections take place at intervals of three to five years and generally require tunnel closures. For the planning of inspections for both railway and road tunnels, it is very important to first establish whether a total closure of the tunnel is necessary or whether a partial closure with diversion of traffic to the other lane or track will suffice. Restricting these closures to a minimum and using scheduled closures for tunnel cleaning or operational stoppages presents a significant challenge.

So as to facilitate the completion of main inspections during the same window as tunnel cleaning or operational stoppages, the precise preparation of processes should be planned and agreed with the operator.

The main inspection consists of assessing the condition of the tunnel's various system components. The condition is usually assessed with visual inspections. State-of-the-art technology facilitates the assessment of the vault's geometry via 3D laser scans to show possible deformations or defects. If the available plans are not complete or are missing information, exploratory drilling or studies via georadar can be conducted. In future, it will be possible to digitise the inspections. By combining high-resolution visual records or photos overlaid onto a 3D point cloud, basic principles can be established that facilitate both the remote appraisal of the maintenance condition and the further development of the project in a BIM environment.

2.1 Meticulous Preparation of the Inspection

It is essential when preparing the inspection to obtain the available structural documentation. This includes the corresponding documents and plans for completed structural work and documents concerning any repair work that has already been carried out.

The working foundation for preparing the inspection consists of the last main inspection conducted. With the careful preparation of inspections, the time available for inspections can be optimally used.

It must be verified whether the project team is able to conduct all required inspections or whether specialist companies must be brought in, for example to record videos of the drainage. Tools such as mobile lifting platforms and so on must be chosen with care and procured in good time.

From the Inspection to the Start of Operation • Experience with Renovation Projects for Railway and Road Tunnels

die für Inspektionen zur Verfügung stehende Zeit optimal genutzt werden.

Es ist zu prüfen, ob das Projektteam in der Lage ist, alle erforderlichen Prüfungen durchzuführen, oder ob, zum Beispiel für Videoaufnahmen von der Drainage, auf spezialisierte Unternehmen zurückgegriffen werden muss. Hilfsmittel wie mobile Hebebühnen und weitere müssen sorgfältig ausgewählt und termingerecht beschafft werden.

Der Sicherheitsfaktor spielt vor allem bei Inspektionen in Tunnelbauten eine zentrale Rolle. Eine Besonderheit stellt hierbei die Ausrüstung während einer Tunnelinspektion dar. So ist das Inspektionspersonal mit einem speziellen Gerät zur Messung des Sauerstoff-, des Kohlenmonoxid- und des Kohlendioxidgehalts ausgestattet sowie mit einem Selbstretter.

2.2 Visuelle Inspektion vor Ort

Die Inspektion besteht im Wesentlichen aus der Sichtkontrolle des Tunnelzustands, aus der Zustandsbewertung, der Zustandseinstufung und weiterführenden Empfehlungen für die Wartung respektive Sanierung. Vor Ort wird jedes Bauteil des Tunnels geprüft – vom Gewölbe über die Fahrbahn bis zum Entwässerungssystem. Die visuelle Kontrolle umfasst die Erfassung des Zustands der Fugen, die Erhebung von Rissen, es werden verschiedene Schächte geöffnet und, falls notwendig, der Zustand der Drainageleitungen mittels einer Kamerainspektion aufgenommen. Mit Georadar-Dienstleistungen können aussagekräftige Informationen zur Lokalisation von Leitungen, Hohlräumen, Armierungseisen oder Gitterträgern erfasst werden. Hohlstellen können ferner durch einfaches Abklopfen des Gewölbes identifiziert werden. Zunehmend wird das Laserscanning zur Erhebung des Zustands benutzt. Es ermöglicht zum Beispiel eine detaillierte und schnelle Datenerfassung, um das Flächenausmass zu bestimmen. Jeder Tunnelblock ist klassifiziert. Die Zustandsklassen ermöglichen es, die verschiedenen Anlagengattungen objektiv zu klassifizieren und festzulegen, welche einer Sanierungsmaßnahme (sofort oder auf jeden Fall kurzfristig) bedürfen und welche überwacht werden sollen.

Safety plays a central role for inspections in tunnel structures in particular. The equipment is a special feature of a tunnel inspection. The inspection personnel is therefore equipped with a special device to measure oxygen, carbon monoxide and carbon dioxide levels, as well as with a self-rescue device.

2.2 Visual On-Site Inspection

The inspection essentially consists of the visual check of the tunnel's condition, the assessment of the condition, the classification of the condition, and additional recommendations for maintenance and/or refurbishment. Each component of the tunnel is examined on-site – from the vault to the road or track surface to the drainage system. This visual check includes recording the condition of the joints and investigating cracks; various shafts are opened and, if necessary, the condition of the drainage lines is recorded via a camera inspection. With georadar services, useful information on the location of lines, cavities, rebar or lattice girders can be recorded. Furthermore, cavities can be identified by simply tapping the vault. Laser scanning is increasingly used to survey the condition. It facilitates the quick and detailed collection of data in order to determine the size of the area, for example. Each tunnel segment is classified. The status classes make it possible to classify the various system categories objectively and to ascertain which require refurbishment measures (immediate or in the short-term) and which should be monitored.

If during a tunnel inspection considerable defects are detected that present an immediate danger to people or that could risk the structure's survival, these are immediately reported to the client. These tunnels must be secured quickly and as an absolute priority. Depending on the damage, the immediate measures to be taken may be provisional in nature or could involve the complete planning and implementation of all required refurbishment measures for the continued survival of the structure.

2.2.1 Typical Damage Patterns in a Railway Tunnel

Typical damage patterns in a railway tunnel include damage to the vault such as cracks, empty joints, damp patches or



Quelle/credit: Pini Group SA

1 Feucht- und Tropfstellen, Bahntunnel
Damp patches and dripping points, railway tunnel



Quelle/credit: Pini Group SA

2 Tropfstelle, Bahntunnel
Dripping point, railway tunnel



Quelle/credit: Pini Group SA

3 Nassstelle mit Wassereintritt, Bahntunnel
Wet patch with water ingress, railway tunnel

Falls bei einer Tunnelinspektion erhebliche Mängel festgestellt werden, die zu einer unmittelbaren Gefährdung von Personen oder zu Gefahren für den Fortbestand des Bauwerks führen könnten, werden diese dem Bauherrn unverzüglich gemeldet. Diese Tunnel müssen kurzfristig und mit absoluter Priorität gesichert werden. Die zu ergreifenden Sofortmassnahmen können je nach Schaden auch provisorischer Art sein, bis hin zur vollständigen Planung und Durchführung aller notwendigen Sanierungsmassnahmen für den weiteren Fortbestand.

2.2.1 Typische Schadensbilder im Bahntunnel

Typische Schadensbilder im Bahntunnel sind Schäden am Gewölbe wie Risse, leere Fugen, Feucht- und Tropfstellen (Bild 1 und 2), Nassstellen (Bild 3), Verformungen im Gewölbe mit Beeinträchtigung des Lichtraumprofils, Nichteinhaltung des geforderten Lichtraumprofils, Hohlstellen, Alterung von Fels, ausgebrochenes Mauerwerk, Abplatzungen, Ausblühungen, fehlende oder mangelhafte Entwässerung, Schaden am Drainagesystem, Kalkablagerungen, Ablösung der Gewölbedrainage, fehlender oder mangelhafter Personenschutz (zum Beispiel fehlende Nischen, Grösse und Abstände nicht eingehalten).

Die häufigste Schadenursache im Tunnel mit Mauerwerksverkleidung stellt das Eindringen von Wasser mit Tropfstellen dar, da keine vollflächige Abdichtung vorhanden ist. Der Schweregrad des Schadens hängt von der örtlichen Lage ab und davon, an welchem Teil des Gewölbes das Tropfen zu beobachten ist.

2.2.2 Typische Schadensbilder im Strassentunnel

Typische Schadensbilder im Strassentunnel sind Risse in der Verkleidung, wasserführende Risse (Bild 4 und 5), Eisbildung (Bild 6), Aussinterung, Kiesnester, NetZRisse, Kohäsionsverlust und Abblätterung der Beschichtung, Hohlstellen, Schäden durch Alkali-Aggregat-Reaktion, beschädigte Gewölbe und Bankette, lokale Korrosion, freiliegende Bewehrung, Schäden am Drainagesystem (Kalkablagerungen, Verstopfungen) und mangelhafte Sicherheitseinrichtungen (fehlende

dripping points (Fig. 1 and 2), wet patches (Fig. 3), deformations in the vault with a detrimental effect on the clearance envelope, non-adherence to the required clearance envelope, cavities, the ageing of the rock, knocked-out sections of masonry, spalling, discolouration, missing or defective drainage, damage to the drainage system, lime deposits, detachment of the roof drainage pipe, missing or defective personal protective equipment (for example, missing niches, sizes and distances not respected).

The most common cause of damage in a tunnel with masonry lining is ingress of water with dripping points because no full-surface waterproofing system is present. The severity of the damage depends on the location and in which section of the vault the dripping can be seen.

2.2.2 Typical Damage Patterns in a Road Tunnel

Typical damage patterns in a road tunnel include cracks to the lining, water-bearing cracks (Fig. 4 and 5), ice formation (Fig. 6), sintering, gravel pockets, map cracking, loss of cohesion and flaking of the coating, cavities, damage through alkali-aggregate reaction, damaged vault and walkways, localised corrosion, exposed reinforcement, damage to the



Quelle/credit: Pini Group SA

4 Wasserführende Risse, Strassentunnel
Water-bearing cracks, road tunnel



Quelle/credit: Pini Group SA

5 Wasserführende Risse, Strassentunnel
Water-bearing cracks, road tunnel

Nischen, Grösse und Abstände nicht eingehalten, fehlende Ausstellbuchten). Vor allem im Portalbereich, wo das Gewölbe oft bewehrt ist, sind auch Schäden aufgrund erheblicher Chloridgehalte an der Bewehrung anzutreffen.

2.3 Auswertung und Datenerfassung der Inspektion

Nach Abschluss der Inspektionen wird ein Bericht mit der Beurteilung der Zustandsklassen der einzelnen Anlagentypen erstellt sowie die dazugehörigen Schadenspläne (Bild 7). Neben der Überprüfung der verschiedenen Zustandsklassen ist es interessant, den zeitlichen Verlauf der Verschlechterung zwischen den Inspektionen zu bewerten. Ähnlich wie der Bericht werden auch die Schadenspläne mit Schadensentwicklungsplänen aktualisiert.

Die Beurteilung des zeitlichen Verlaufs der Verschlechterung ermöglicht es dem Projektverfasser, auch Vorhersagen über den zu erwartenden Trend in der Zukunft zu treffen. Sie dient als Grundlage für die Erarbeitung des Überwachungs- und Unterhaltsplans gemäss SIA 269.

3 Erhaltungsplanung

Dem mit der Planung der Sanierungsmassnahmen beauftragten Projektverfasser werden die bestehenden Bauwerkspläne und Prüfberichte der vergangenen Jahre bereitgestellt. Die Schadenspläne und Inspektionsberichte werden übernommen und analysiert. Um sich einen Überblick zu verschaffen und den Zustand des Tunnels zu verstehen, wird oft eine Besichtigung vor Ort mit der Bauherrschaft organisiert.

Bei der Erhaltungsplanung muss die massive Beeinträchtigung des Betriebs berücksichtigt werden. Die Verkehrseinschränkungen hängen massgeblich von den vorhandenen Schäden und vom gewählten Instandsetzungskonzept ab. In Zusammenarbeit mit dem Bauherrn müssen die Rahmenbedingungen wie zum Beispiel Bauabläufe, Sperrungen, Nacharbeit oder Verkehrsführungen analysiert werden, um die optimale Lösung zu finden, sodass die Auswirkungen auf den Betrieb und die entsprechenden Kosten minimiert werden können.

3.1 Definition der Rahmenbedingungen und Interventionsziele

Sowohl die Vollsperrung als auch die Teilsperrung oder Nachtsperrung erfordern Eingriffe mit hoher Leistung, die eine insgesamt schnelle Durchführung oder einen Eingriff in einem begrenzten Zeitfenster gewährleisten können. Daher ist es sinnvoll, modulare/replizierbare Konstruktionslösungen und/oder vorgefertigte Lösungen bereitzustellen. Bei der Sanierung von Tunneln ist es oft nicht möglich, alle technischen Vorgaben zu erfüllen. Die Nutzungsvereinbarung beschreibt die vom Bauherrn bestellten Eigenschaften und die wesentlichen Anforderungen betreffend Geltungsbereich, Abgrenzungen, Nutzungsziele, Nutzungsdauer, Dichtigkeitsklasse und Sicherheits-



Quelle/Credit: Pini Group SA

6 Eisbildung, Strassentunnel
Ice formation, road tunnel

drainage system (lime deposits, blockages), and defective safety equipment (missing niches, sizes and distances not respected, missing service bays). In the portal area in particular, where the vault is often reinforced, damage due to significant chloride content in the reinforcement can also be found.

2.3 Inspection Evaluation and Data Collection

Once the inspections are complete, a report with the appraisal of the status classes for the individual system types is compiled, along with the associated damage plans (Fig. 7). Alongside the review of the various status classes, it is interesting to evaluate the progression over time of the deterioration between inspections. Like the report, damage plans are also updated with damage development plans.

The evaluation of the progression of deterioration over time also makes it possible for the project initiator to make predictions concerning expected future trends. It serves as the basis for the development of the service and maintenance plan as per SIA 269.

3 Maintenance Planning

The project contractor responsible for designing the refurbishment measures is provided with the existing structural plans and examination reports from previous years. The damage plans and inspection reports are taken and analysed. So as to obtain an overview and understand the condition of the tunnel, a site visit with the client is often organised.

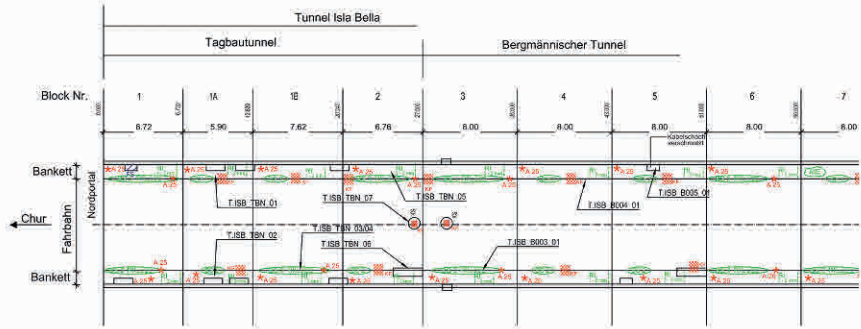
With maintenance planning, the huge detrimental effect to operations must be considered. Traffic restrictions depend to a large extent on the damage present and the selected repair concept. In collaboration with the client, the framework conditions such as construction processes, closures, night work or traffic routing must be analysed in order to find the optimal solution so that the effects on operations and the associated costs can be kept to a minimum.

Von der Inspektion bis zur Inbetriebnahme • Erfahrung mit Erneuerungsprojekten für Eisenbahn- und Strassentunnel

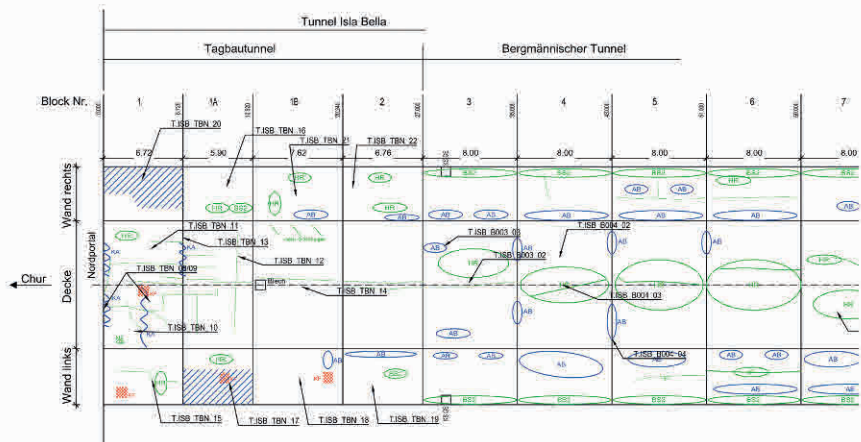
LEGENDE FÜR DIE ZUSTANDSAUFNAHME

	SCHADEN	ABKÜRZUNGEN	SYMBOL
WASSER	Feuchte Stelle	FS	
	Kalkauscheidung	KA	Aussetzungen
	Ausbildung	AB	
KORROSION	Korrosionsflecken	KF	
	Abplatzung (Korrosion)	A 20	= Tiefe 20 mm (über korrodierender Bewehrung)
BETON	Betonabsprengung	ME (mechanische) Fugert, Unfälle, Eis etc.	
	Haarrisse (Schwindrisse)	HR	
	Risse in mm	Rl 5	= Riss mit 5 mm Breite
	Instandgesetzte Flächen	IF	
	Beschichtung	BS 1 BS 2 BS 3	= mechanische Schäden = Haftverlust = gemischt
	Foto		Nummer des Foto

FAHRBAHN 1:200



ABWICKLUNG WÄNDE/GEWÖLBE 1:200



Quelle/credit: IG Ispe GR (Pini Group SA)

7 Schadensplan, Strassentunnel (Tunnel Isla Bella) Damage plan, road tunnel (Isla Bella Tunnel)

anforderungen sowie die akzeptierten Norm- und Vorschriftenabweichungen, die als Grundlage sowohl für das Instandsetzungskonzept als auch für den Betriebszustand dienen.

Allgemein gehört zu den Gesprächsthemen zwischen dem Bauherrn und dem Projektverfasser die Festlegung der geplanten Interventionsziele sowie die Auswertung und Erläuterung der statischen Überprüfung anhand der gültigen SIA-Normen, unter anderem der Norm SIA 269 «Grundlagen der Erhaltung von Tragwerken». Ein weiteres Interventionsziel stellt das Erstellen eines Überwachungs- und Unterhaltsplans dar.

Oftmals ist die Sanierung von Strassen- und Eisenbahntunneln nicht allumfassend. Aus Kosten- und/oder aus Betriebsgründen greift man oft nur dort ein, wo es sofort und wirklich notwendig ist. Andere Bauteile des Bauwerks, die zwar eine verkürzte Lebensdauer aufweisen, jedoch noch nicht die Grenze ihrer Funktionstüchtigkeit erreicht haben, bleiben bestehen.

Gerade in diesem Fall ist das Unterhaltskonzept von grundlegender Bedeutung. Denn es garantiert, dass das Bauwerk seine Eigenschaften länger behält, um die Lebensdauer zu sichern.

3.1 Definition of Framework Conditions and Intervention Objectives

Both a full closure and partial or night closure require high-performance interventions that can ensure quick overall implementation or an intervention within a limited time frame. It is therefore useful to provide modular/replicable construction solutions and/or prefabricated solutions. When refurbishing tunnels, it is often impossible to meet all technical specifications. The usage agreement describes the properties called for by the client and the essential requirements concerning scope, boundaries, usage objectives, usage duration, sealing class and safety requirements, as well as accepted deviations from standards and provisions, that serve as the basis both for the repair concept and the operating state.

The subjects to be discussed between the client and contractor generally include the stipulation of planned intervention objectives and the evaluation and clarification of the static examination using the valid SIA standards, including SIA 269 “Existing structures – bases”. A further intervention objective is the creation of a monitoring and maintenance plan.

The refurbishment of road and railway tunnels is often not all-encompassing. For cost and/or operational reasons, interventions frequently only occur where they are immediately

3.2 Ausarbeitung des Projekts beziehungsweise der Erneuerungsmassnahmen

Auch bei Sanierungsprojekten erfolgt die Bearbeitung gemäss SIA-Phasen 31–53. Lediglich die Sofortmassnahmen folgen diesem Prozess nicht. Nach jeder Projektphase sollten die Anforderungen bzw. die Rahmenbedingungen überprüft werden.

Die für die Erhaltungsmassnahmen als bedeutsam erachteten Bewertungskriterien sind:

- Einhaltung der Anforderungen, die zusammen mit dem Bauherrn definiert wurden. Insbesondere werden die Funktionsfähigkeit des Bauwerks am Ende der Sanierungsmassnahmen und die Anforderung an die Nutzungsdauer berücksichtigt.
- Einhaltung von Terminen und Kosten. Es wird vor allem das Risiko im Zusammenhang mit möglichen Terminverschiebungen der Ausführungsfristen und der Kosten im Zusammenhang mit unvorhergesehenen Eingriffen untersucht.
- Störung des Betriebs. Eine hohe Gewichtung liegt in der Bewertung des Ausmasses der Sanierungsmassnahmen und der Dauer der Störung des Betriebs.
- Baurisiken. Es wird eine Risikoanalyse durchgeführt, um Chancen und Risiken sowohl im Bauzustand als auch während der Ausführungsphase für den Betrieb und das Personal zu erkennen.
- Rentabilität. Bewertung der Kosten der Sanierungsmassnahmen im Verhältnis zu ihrer Nutzungsdauer und der eventuellen Wartungskosten.

Aufgrund dieser Kriterien wird die Bestvariante gewählt.

3.2.1 Typische Sanierungsmassnahmen im Bahntunnel

Feucht- und Nassstellen sind typische Schadensbilder in Bahntunneln mit Mauerwerk. Besonders Tropfstellen im Scheitel beeinträchtigen bahntechnische Einrichtungen wie die Fahrleitungsanlage, den Schienenkörper und die Kabelkanäle.

Um Tropfstellen zu vermeiden, können im Scheitel und im Parament Wasserableitungen mit Halbschale und Gummiprofil vorgesehen werden (Bild 8 und 9). Zur Erstellung der Gewölbeentwässerung ist vorgängig eine Spritzbetonschürze auf das Mauerwerk aufzutragen. Danach wird der Schlitz mit einer Mehrblattfräse gefräst. Dazu werden Entlastungsbohrungen vorgesehen. Im Gewölbebereich wird eine Halbschale in den Schlitz versetzt und danach mit schnellabbindendem Spezialmörtel verfüllt und eventuell eine Spritzbeton-

necessary and essential. Other components in the structure that exhibit a shorter service life but that have not yet reached their functional limit remain in place.

In this case in particular, the maintenance concept is crucial. It guarantees that the structure will retain its properties for longer to ensure its service life.

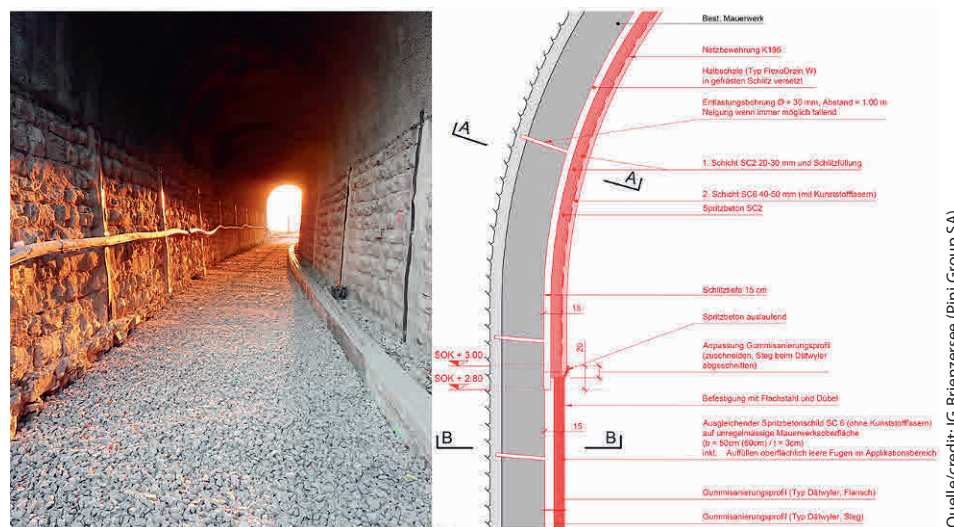
3.2 Development of the Project and/or Refurbishment Measures

The handling of refurbishment projects also takes place in line with SIA phases 31–53. Only emergency measures do not follow this process. After each project phase, the requirements or framework conditions should be examined.

The evaluation criteria considered to be significant for the maintenance measures are:

- Adherence to requirements defined alongside the client. In particular, the functionality of the structure at the end of the refurbishment measures and service life requirements must be considered.
- Deadline and cost compliance. The risk associated with possible postponements to implementation deadlines and costs associated with unforeseen interventions should be investigated in particular.
- Disruption to operations. High priority is given to evaluating the extent of refurbishment measures and the duration of the disruption to operations.
- Construction risks. A risk assessment will be conducted in order to identify opportunities and risks both in the construction phase and during the implementation phase for operations and personnel.
- Cost-effectiveness. Cost evaluation for the refurbishment measures in relation to their service life and possible maintenance costs.

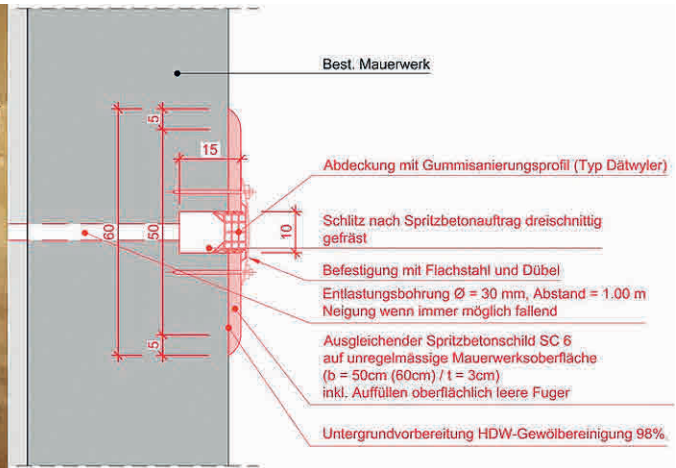
The best variant is selected based on these criteria.



8 Entwässerungsschlitze inkl. Planausschnitt, Bahntunnel
Drainage slots incl. plan detail, railway tunnel

Quelle/credit: IG Brienzsee (Pini Group SA)

Von der Inspektion bis zur Inbetriebnahme • Erfahrung mit Erneuerungsprojekten für Eisenbahn- und Strassentunnel



Quelle/credit: IG Brienzensee (Pini Group SA)

9 Entwässerungsschlitz inkl. Planausschnitt, Bahntunnel
Drainage slots incl. plan detail, railway tunnel

schale aufgetragen. Im Paramentbereich wird ein Gummiprofil (demontierbar) im Schlitz versetzt und mit verzinktem Flachstahl fixiert. Im unteren Randbereich sind die Anschlüsse an die Bankettbereiche beziehungsweise an das Entwässerungssystem anzupassen und entsprechend auszubilden. Wenn das Lichtraumprofil nicht eingehalten wird, sind Mauerwerkseratz und Sohlenabsenkungen geeignete Massnahmen, die umgesetzt werden können (Bild 10).

3.2.2 Typische Sanierungsmassnahmen im Strassentunnel

Charakteristische Schäden, welche typische Sanierungsmassnahmen an Strassentunneln nach sich ziehen, können auf schlechten baulichen Gegebenheiten der Gewölbe, Widerlager, Bankette, Kabelrohrblöcke und Schlitzrinnen beruhen, ausserdem auf Mängeln/Interferenzen im Lichtraumprofil und einer ungenügenden Entwässerung.

Betreffend Sanierung der Gewölbe und der Widerlager, wo die Reaktion von Chloriden zusammen mit Frost-Tau-Zyklen



Quelle/credit: IG RLPA (Pini Group SA)

10 Mauerwerkseratz und Sohlenabsenkung, Bahntunnel
Masonry replacement and invert lowering, railway tunnel

3.2.1 Typical Refurbishment Measures in a Railway Tunnel

Damp and wet patches are typical damage patterns in a railway tunnel with masonry. In particular, dripping points in the crown impair rail technology installations such as the overhead wiring, the rail body and the cable ducts.

So as to avoid dripping points, water drainage using half-shells and rubber profiles can be provided in the crown and side wall (Fig. 8 and Fig. 9). To construct the vault drainage, a shotcrete lining is first applied to the masonry. The slot is then cut using a multi-blade cutter. Relief drilling is then provided. In the vault area, a half-shell is applied to the slot and filled with special quick-setting mortar. A shotcrete lining may also be applied. In the tunnel side wall, a rubber profile (removable) is added to the slot and affixed with galvanised flat steel. In the area of the lower edge, the connections to the walkway area or drainage system should be adapted and formed accordingly. If the clearance envelope is not respected, the replacement of masonry and invert lowering are appropriate measures that can be implemented (Fig. 10).

3.2.2 Typical Refurbishment Measures in a Road Tunnel

Characteristic damage requiring typical road tunnel refurbishment measures can be the result of poor structural conditions in the vault, abutment, walkway, cable conduit blocks and slotted channels, as well as defects/interference in the clearance envelope and insufficient drainage.

Where refurbishment of the vault and abutment is concerned, where the reaction of chlorides along with freeze-thaw cycles often leads to degradation of the concrete over time, material technology investigations are necessary to develop suitable refurbishment measures for the concrete and, where applicable, the reinforcement.

Water ingress in the vault that drips onto the road surface is a critical situation. In this case, measures are required to

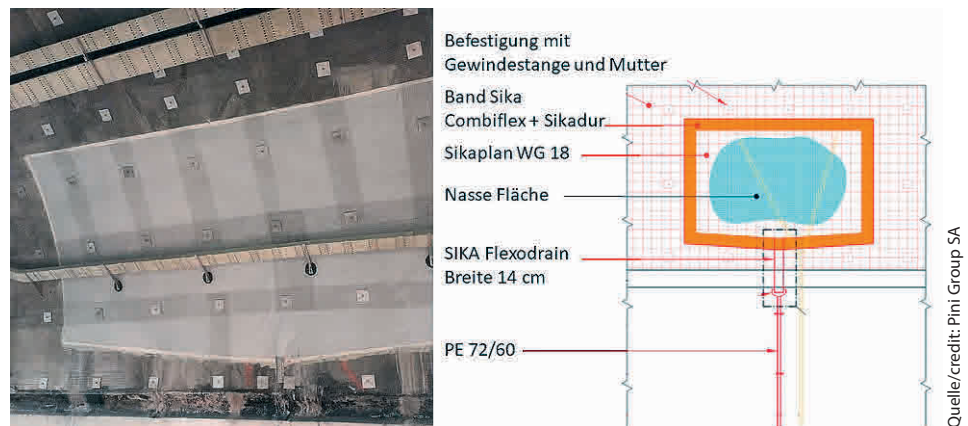


11 Wasserfassung und Ableitung inkl. Planausschnitt, Strassentunnel
Water collection and drainage incl. plan detail, road tunnel

mit der Zeit oft zu einer Degradierung des Betons führt, sind materialtechnologische Untersuchungen notwendig, um geeignete Sanierungsmassnahmen für den Beton und gegebenenfalls die Armierung zu erstellen.

Eine kritische Situation stellt im Gewölbe das Eindringen von Wasser dar, welches auf die Fahrbahn tropft. In diesem Fall sind Massnahmen erforderlich, um das Wasser aufzufangen und dem Entwässerungssystem zuzuführen. Beispiele aus der Vergangenheit haben gezeigt, dass Injektionen gefährlich sein können und sogar die Tunnelsicherheit beeinträchtigen können, weil es nicht möglich ist, zu überprüfen, wohin das Injektionsmaterial fliesst. In solchen Fällen ist es ratsam, das Wasser innerhalb der Auskleidung des Tunnels angemessen aufzufangen (Bild 11) und übers Gewölbe durch eingefräste Schlitzte in das Entwässerungssystem zu leiten, genau so wie im Bahntunnel. Um umfangreichere Wassereintritte zu sammeln, kann auf die Anwendung von wasserdichten Membranen zurückgegriffen werden, die dann mit dem Gewölbe selbst verschweisst werden (Bild 12).

Eine spezielle Sanierungsmassnahme stellt beim Projekt A2-Tunnel Melide–Grancia die Verstärkung der Innenschale dar. Um die Bauzeit und die Auswirkungen auf den Verkehr so gering wie möglich zu halten, wurde entlang der Abschnitte, in denen die Verkleidung keine ausreichende Tragsicherheit mehr gewährleistet, ein System mit zwei vorfabrizierten, gekrümmten Predalles-Platten (Bild 13) eingebaut. Die Lösung beinhaltet die Installation von selbsttragenden Ringsegmenten, die die verlangte Lebensdauer von 20 Jahren gewährleisten. Diese Sanierungsmassnahme wird im Rahmen eines anderen Beitrages beim STC vertieft.



12 Vollflächige Wassereintrittsammlung inkl. Planausschnitt, Strassentunnel
Full-surface water ingress collection incl. plan detail, road tunnel

collect the water and direct it to the drainage system. Past examples have demonstrated that injections can be dangerous and even have a detrimental effect on the safety of the tunnel because it is not possible to verify where the injection material is flowing to. In these cases it is advisable to collect the water properly within the tunnel's lining (Fig. 11) and to direct it over the vault through the cut slots and into the drainage system just like in the railway tunnel. To collect significant water ingresses, it is possible to use waterproof membranes that can then be welded to the vault itself (Fig. 12).

A special refurbishment measure for the A2 Melide–Grancia tunnel project was the reinforcement of the inner lining. So as to keep construction time and the impact to traffic to a minimum, a system with two prefabricated, curved precast slabs (Fig. 13) was installed along the sections where the lining no longer guaranteed sufficient structural safety. The solution includes the installation of self-supporting ring segments that ensure the required service life of 20 years. This refurbishment measure will be expanded on as part of an additional contribution at the STC.

4 Implementation of Maintenance Measures

The consent for maintenance planning ends with the approval of the detailed design on the part of the client or authorities. The design is developed further and then handed over to the construction management and construction contractors.

Given that this concerns refurbishment measures rather than a new build, it is very important to present construction management and the contractors with the ideas and thoughts behind the choice of solutions.

5 Maintenance Concept, Looking Ahead

After operations commence in the refurbished tunnel, it is important to create plans of the structural work conducted.

4 Ausführung der Erhaltungsmaßnahmen

Die Bewilligung der Erhaltungsplanung endet mit der Genehmigung des Ausführungsprojekts seitens des Bauherrn beziehungsweise der Behörden. Das Projekt wird weiter ausgearbeitet und anschliessend an die Bauleitung und den Bauunternehmer übergeben.

Da es sich um Sanierungsmaßnahmen und nicht um einen Neubau handelt, ist es sehr wichtig, der Bauleitung und dem Unternehmen die Ideen und Gedanken zu präsentieren, die zur Entscheidungsfindung der Lösungen geführt haben.

5 Unterhaltskonzept, Blick in die Zukunft

Nach der Inbetriebnahme des sanierten Tunnels ist es wichtig, die Pläne des ausgeführten Bauwerks zu erstellen. Diese Pläne werden dann über die Jahre die Grundlage für die nächsten Inspektionen und Sanierungsmaßnahmen bilden. Zusammen mit den Plänen des ausgeführten Bauwerks ist es erforderlich, den Überwachungs- und Unterhaltsplan zu erstellen. Leider findet dieses Dokument nicht immer die richtige Wertschätzung und wird gerade nach den Sanierungsmaßnahmen vernachlässigt oder vergessen.

Mit der Abnahme bestätigt der Bauherr, dass das Bauwerk ohne Mängel erstellt wurde. Mit der Inbetriebnahme des Bauwerks beginnen seine Nutzung und Erhaltung. Die Summe dieser Massnahmen, also Überwachung und Unterhalt, soll sicherstellen, dass die Gefährdung von Personen durch Konstruktionsversagen ausgeschlossen wird und die Gebrauchstauglichkeit (und damit der Wert) sowie die Funktionalität des Bauobjekts in optimaler Weise erhalten bleibt. Die Zeit, Qualität und Erhaltung sind die Grundlagen der Instandhaltungsstrategie, um die Lebensdauer der Bauwerke zu gewährleisten. Der Lebenszyklus ist verknüpft mit den Unterhaltsmassnahmen.



Quelle/Credit: IG Titlume

13 Sanierungsmaßnahmen Predalles-Platten, Strassentunnel Melide–Grancia

Refurbishment measures, precast slabs, Melide–Grancia road tunnel

These plans will then form the basis for subsequent inspections and refurbishment measures over the years. Together with the plans of the structural work conducted, it is necessary to put together the monitoring and maintenance plan. Unfortunately, this document is not always given the appreciation it deserves and is either ignored or forgotten after the refurbishment measures.

By accepting, the client confirms that the structural work has been completed without faults. Usage and maintenance begin when the structure starts operations. The sum of these measures – monitoring and maintenance – should exclude the risk to people through construction failures and ensure that the construction's serviceability (and thus its value) and functionality are optimally retained. Time, quality and maintenance are the basic principles of the repair strategy so as to ensure the service life of the structural work. The life cycle is linked to the maintenance measures.

Simon Bertholet, dipl. Bauingenieur ETH, Marti Tunnel AG, Moosseedorf/CH

Sanierung Lötschberg-Scheiteltunnel

Bauen unter Betrieb: logistische und organisatorische Herausforderungen für den Unternehmer

Im Lötschberg-Scheiteltunnel wird die Schotterfahrbahn durch eine Feste Fahrbahn ersetzt. Der Doppelspur-Tunnel bleibt während der Sanierung für den Bahnverkehr in Betrieb. Das setzt innovative Lösungsansätze und eine rigorose Planung voraus. Um bei engsten Platzverhältnissen die sicherheitstechnischen Risiken für Bauarbeiter und Bahnbetrieb zu minimieren, wird von der Marti Tunnel AG eine effiziente, projektspezifisch entwickelte Monorail-Lösung umgesetzt.

Lötschberg Summit Tunnel Renovation

Construction during Operations: Logistical and Organisational Challenges for the Contractor

In the Lötschberg Summit Tunnel, the gravel track is being replaced by a slab track. The twin-track tunnel will remain in operation for rail traffic during the renovation. That requires innovative solutions and rigorous planning. In order to minimise the safety-related risks for construction workers and rail operation in the confined spaces, an efficient monorail solution developed specifically for the project is being implemented by Marti Tunnel AG.

1 Projektbeschreibung

Die Fahrbahn aus den 1970er-Jahren im Lötschberg-Scheiteltunnel ist am Ende des Lebenszyklus angekommen. Als Ersatz für die bestehende Schotterfahrbahn entschied sich die BLS Netz AG als Infrastrukturbetreiberin für den Einbau einer Festen Fahrbahn. Diese weist im Vergleich zu einer konventionellen Schotterfahrbahn einen höheren Fahrkomfort, tiefere Unterhaltskosten und eine höhere Lebensdauer auf. Die neue Fahrbahn soll eine Lebensdauer von 60 Jahren haben.

Durch Anpassungen in der neuen Gleislage und lokale Gewölbeschränkungen soll der Scheiteltunnel zukünftig auch vollständig SIM-(Simplon-Intermodal-)tauglich werden. Dies wird den uneingeschränkten Verkehr von Huckepackzügen mit 4,0 m Eckhöhe erlauben. Weiter werden Anpassungen bei der Entwässerung und den Banketten (Kabelanlagen, Fluchtweg) vorgenommen.

Die Arbeiten müssen unter laufendem Betrieb mit möglichst wenig Einschränkungen auf den Bahnbetrieb ausgeführt werden. Daher wird die Fahrbahn gestaffelt über mindestens fünf Jahre umgebaut. Durch zahlreiche betriebliche Rahmenbedingungen ergeben sich komplexe Zusammenhänge im Bauprogramm und grosse Herausforderungen für die Logistik.

1 Project Description

The track dating back to the 1970s in the Lötschberg Summit Tunnel has come to the end of its life cycle. As a replacement for the existing gravel track, BLS Netz AG decided as the infrastructure operator to install a slab track. Compared to a conventional gravel track, this features a higher convenience level, lower maintenance costs and a longer service life. The new track is expected to have a service life of 60 years.

By making adjustments in the new track position and local cuts in the arch, the Summit Tunnel is also intended to become completely SIM-(Simplon-Intermodal)fit in future. This will allow piggyback trains with a height of 4.0 m to run without restrictions. Furthermore, alterations to the drainage and the walkways (cable systems, escape route) will be carried out.

The work must be carried out during ongoing operations with as few restrictions as possible on the train operations. For this reason, the track will be rebuilt in stages over at least five years. Due to numerous operational conditions, complex dependencies in the construction programme and major challenges for the logistics arise.

1.1 The Lötschberg Summit Tunnel

The section of the Lötschberg Summit Tunnel is the heart of the mountain passage of the Lötschberg rail line between

Rénoovation du tunnel de façade du Löttschberg

Travailler sans interruption du trafic : défis logistiques et organisationnels pour l'entrepreneur

La voie ferrée ballastée du tunnel de façade du Löttschberg est remplacée par une voie sans ballast. Le tunnel à double voie reste en service pour la circulation ferroviaire durant les travaux de rénovation. C'est le fruit du recours à des solutions innovantes et à une organisation rigoureuse en amont. Et pour minimiser les risques liés à la sécurité pour les ouvriers et la circulation ferroviaire, Marti Tunnel AG a mis en œuvre une solution de monorail efficace développée spécialement pour le projet. L'idée générale est de placer une installation mobile de grues et de tapis roulants suspendue à la voûte du tunnel, ne couvrant qu'une partie du chantier mais pouvant être déplacée sur des rails dans le sens du tunnel.

Risanamento della galleria di valico del Löttschberg

Intervento edile senza interruzione del servizio: sfide logistiche e organizzative per le imprese.

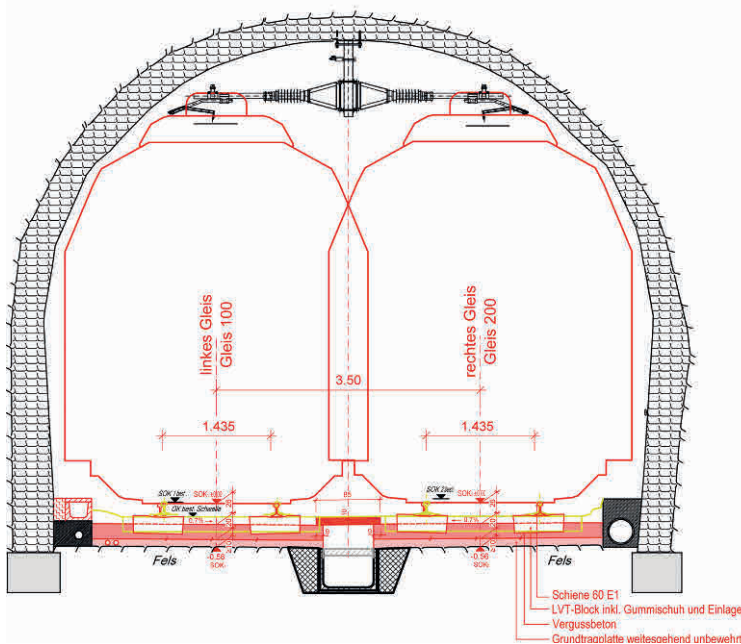
Nella galleria di valico del Löttschberg, la massicciata di pietrisco deve essere sostituita con una massicciata fissa. Il tunnel a doppio binario deve rimanere in servizio per il traffico ferroviario durante il risanamento. Questo presuppone il ricorso a soluzioni innovative e a una progettazione rigorosa. Per minimizzare i rischi tecnici e di sicurezza per i lavoratori edili e per il funzionamento della ferrovia in presenza di uno spazio a disposizione ridotto al minimo, la Marti Tunnel AG ha impiegato un'efficiente soluzione monorotaia sviluppata appositamente per il progetto. L'idea fondamentale è costituita da una struttura per il rifornimento con gru e nastri trasportatori appesa alla volta della galleria, che comprende un lotto delimitato e può essere spostata longitudinalmente su dei binari.

1.1 Der Löttschberg-Scheiteltunnel

Der Streckenabschnitt des Löttschberg-Scheiteltunnels ist das Herzstück der Bergstrecke der Löttschberg-Bahnlinie zwischen Bern und Brig und wurde zwischen 1906 und 1913 gebaut. Der Tunnel ist zweigleisig ausgebaut und hat eine Länge von insgesamt 14612 m. Die Löttschberglinie verbin-

Bern and Brig and was built between 1906 and 1913. The tunnel was equipped with two rail tracks and has a total length of 14,612 m. The Löttschberg line connects the cantons of Bern and Wallis and, besides the Gotthard line, is the most important north-south link in Switzerland. The north portal of the Summit Tunnel is located in Kandersteg and the south portal in Goppenstein. Since the Löttschberg Base Tunnel was put into operation between Frutigen and Raron in 2007, the Summit Tunnel has become less important for the transit of goods. The tunnel continues to be operated very intensively by BLS AG, however. The tunnel is mainly used by the Kandersteg-Goppenstein car transport, regional traffic (Regio-Express Löttschberger) as well as by transport of goods as a result of exhausted lines in the Base Tunnel.

Normalprofil



1 Typisches Querprofil Feste Fahrbahn
Typical cross profile of slab track

Quelle/credit: Ausschreibungsunterlagen BLS – Erneuerung Fahrbahn Löttschberg inkl. Anpassung Entwässerung (vereinfachte Darstellung)

1.2 New Slab Track Project

The new slab track will be placed directly on top of the bedrock at issue (Fig. 1). Firstly an at least 10 cm thick foundation will be made on this. The track system will be constructed on the base support slab using unreinforced poured concrete. Poured concrete and base support slab together form the unit as a track supporting slab. A (dummy) groove cut into the concrete foundation every 5.40 m allows for a controlled formation of cracks. BLS has opted for the LVT (low vibration track) slab track system by Vigier Rail. The system consists of reinforced, prefabricated concrete blocks, which

det die Kantone Bern und Wallis und ist neben der Gotthardlinie die wichtigste Nord-Süd-Verbindung in der Schweiz. Das Nordportal des Scheiteltunnels liegt in Kandersteg und das Südportal in Goppenstein. Seit der Inbetriebnahme des Lötschberg-Basistunnels zwischen Frutigen und Raron im Jahre 2007 hat der Scheiteltunnel für den Gütertransportverkehr an Bedeutung verloren. Der Tunnel wird jedoch von der BLS AG weiterhin sehr intensiv betrieben. Die Nutzung erfolgt hauptsächlich durch den Autoverlad Kandersteg–Goppenstein, den Regionalverkehr (Regio-Express Lötschberger) sowie durch den Gütertransportverkehr infolge ausgeschöpfter Trassen beim Basistunnel.

1.2 Projekt neue Feste Fahrbahn

Die neue Feste Fahrbahn wird direkt auf der anstehenden Felssohle gegründet (Bild 1). Auf dieser wird zuerst eine mindestens 10 cm dicke Grundtragplatte erstellt. Auf der Grundtragplatte wird das Fahrbahnsystem mit dem unbewehrten Vergussbeton realisiert. Vergussbeton und Grundtragplatte bilden zusammen als Einheit die Gleistragplatte. Für eine kontrollierte Rissbildung werden alle 5,40 m durch Sägeschnitt hergestellte Scheinfugen in der Grundtragplatte ausgebildet.

Die BLS hat sich für das Feste-Fahrbahn-System LVT (Low Vibration Track) von Vigier Rail entschieden. Das System besteht aus bewehrten, vorgefertigten Betonblöcken, die durch einen Gummischuh vom Beton der Gleistragplatte getrennt sind. Im Gummischuh befindet sich unterhalb des Betonblocks eine elastische Einlage. Unabhängig von der Art des Befestigungssystems wird eine elastische Schienenzwischenlage zwischen Block und Schiene eingelegt.

1.3 Betriebliche Randbedingungen

Die Fahrbahnerneuerung erfolgt unter intensivem Bahnbetrieb. Pro Tag passieren gegen 200 Züge den Tunnel und damit die Baustelle. Der Umbau erfolgt jeweils halbseitig auf einem Gleis und etappiert auf festgelegte Umbaubereiche zwischen den Spurwechseln (Bild 2).

Für die Gesamtbauablaufplanung sind einschneidende Randbedingungen des Bahnbetriebs wie saisonale und zeitlich beschränkte Sperrfenster sowie eine durchgängige SIM-Tauglichkeit zu berücksichtigen. Als Sperren stehen im Normalfall Tunnel-Viertelsperren und im Ausnahmefall Tunnel-Halbsperren (Umbau Spurwechsel) zur Verfügung.

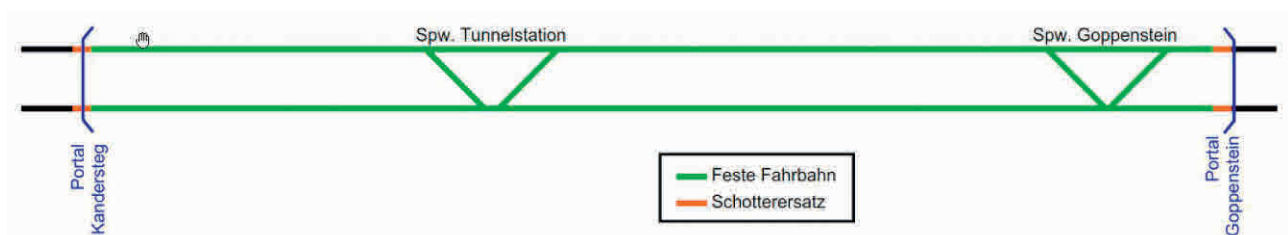
are separated from the concrete of the track supporting slab by a rubber sleeve. In the rubber shoe there is an elastic insert underneath the concrete block. Irrespective of the type of fastening system, an elastic rail pad is inserted between the block and rail.

1.3 Limiting Operational Conditions

The track is being replaced during intensive rail operations. Up to 200 trains per day pass the tunnel and hence the construction site. The reconstruction work is being done in each case on half a side on one track and divided into stages on defined reconstruction areas between the track changes (Fig. 2).

For the planning of the entire construction process, far-reaching limiting conditions of the rail operations such as seasonal and time-limited shutdowns as well as continuous fitness for SIM have to be taken into account. Quarter tunnel shutdowns and, in exceptional cases, half tunnel shutdowns (track change conversion) are normally available as shutdown periods. Total shutdowns at night are only possible to a limited extent. As a result of the increased demand for trains transporting cars during the Christmas and skiing holidays, a continuous shutdown from mid December to Easter is not possible. The tunnel must be continuously dedicated to rail operations on two tracks at the weekends. For this reason, it is not possible to carry out any reconstruction work on the track during this period.

Access to the work sites in the tunnel is gained by rail vehicles from the Eggenschwand installation site in Kandersteg and in coordination with the transport service of the BLS rail operation. All trips must be made by a train operating company with valid safety certificate, network licence issued by BLS and knowledge of the line. As a matter of principle, the trips are carried out via the open network to the work track as shunting movements, whereby depending on the position of the construction site and shutdown, set routes must be used beforehand. The number of routes available for the construction site is very limited at approximately one per hour. In view of the volumes of excavation material and concrete to be moved on the construction site, this has a key influence on the required logistics concept and the associated work progress.



2 Gleisschemaplan Scheiteltunnel, Übersicht Fahrbahnerneuerung

Summit Tunnel track schematic drawing, overview of track replacement

Quelle/credit: ARGE Marti LBST

Nächtliche Totalsperren sind nur in beschränktem Masse möglich. Infolge des erhöhten Bedarfs an Autozügen während der Weihnachts- und Sportferien ist eine durchgehende Sperre von jeweils Mitte Dezember bis Ostern nicht möglich. Der Tunnel muss an den Wochenenden jeweils durchgehend zweigleisig dem Bahnbetrieb übergeben werden. Aus diesem Grund kann während dieser Zeit jeweils kein Umbau der Fahrbahn erfolgen.

Der Zugang zu den Arbeitsstellen im Tunnel erfolgt mit Schienenfahrzeugen ab dem Installationsplatz Eggenchwand in Kandersteg und in Koordination mit dem Fahrdienst des Bahnbetriebs der BLS. Sämtliche Fahrten müssen durch ein EVU (Eisenbahnverkehrsunternehmen) mit gültiger SIBE (Sicherheitsbescheinigung), Netzzulassung der BLS und Streckenkenntnis erfolgen. Grundsätzlich werden die Fahrten als Rangierbewegung über das offene Netz in das Arbeitsgleis ausgeführt, wobei je nach Lage der Baustelle und Sperre vorgängig festgelegte Trassees verwendet werden müssen. Die Anzahl der für die Baustelle verfügbaren Trassees ist mit ca. einem Stück pro Stunde sehr beschränkt. Dies hat in Anbetracht der auf der Baustelle zu bewegenden Massen an Aushub und Beton einen zentralen Einfluss auf das erforderliche Logistikkonzept und den damit verbundenen Leistungsfortschritt.

1.4 Sicherheitstechnische Randbedingungen

Das Projekt stellt eine ungemeine Herausforderung sowohl hinsichtlich der Arbeitssicherheit der Bauequipen als auch der Sicherheit des Bahnbetriebs dar. Als resultierende Hauptgefahren treten das Erfassen von Personen durch einen Zug, Lichtraumprofilverletzungen durch Baumaschinen und das Berühren von unter Hochspannung stehender Fahrleitung durch Personen oder Baumaschinen auf.

Die Bauarbeiterverordnung sowie die EKAS-Richtlinie 6514 schreiben grundsätzlich vor, dass eine Tunnelbaustelle vom Fahrbereich des Bahnbetriebs mit einer geschlossenen Schutzwand zu trennen ist. Diese Vorgabe kann im Lötschberg-Scheiteltunnel infolge der zu engen Platzverhältnisse nicht eingehalten werden, weshalb die Bereiche nur mit einem einfachen Schutzzaun vom Typ SiBau Safeguard getrennt werden können.

Zum sicherheitstechnischen Grundkonzept gehören des Weiteren durchgehende Schutzwände auf den Bauzügen, Langsamfahrstelle, Warnanlage, Notstopanlage, Fahrleitungserdung und Sicherheitspersonal (Arbeitsstellenkoordinator, Sicherheitschef, Sicherheitswärter).

1.5 Projektorganisation

Bauherrin des Projektes ist die BLS Netz AG, Bern. In deren Auftrag amtieren Rubi Bahntechnik als Bauherrenunterstützer, das Ingenieurbüro Heierli AG, Zürich, als Projektverfasser für die Feste Fahrbahn, die Ingenieurgesellschaft Aegerter & Bosshardt AG, Basel/SPI AG, Brig, als Oberbauleitung und die ARGE Marti LBST als Totalunternehmer.

1.4 Limiting Safety Conditions

The project represents a huge challenge with regard to both the work safety of the construction teams as well as the safety of the rail operations. The resulting main dangers are persons being hit by a train, clearance gauge injuries caused by construction machinery and the touching of a live catenary line by persons or construction machinery.

The construction worker ordinance as well as FCOS directive 6514 stipulate as a matter of principle that a rail tunnel construction site must be separated from the track area which is still active and in operation by some sort of closed protective barrier/wall. Due to the confined space conditions in the Lötschberg Summit Tunnel, it is not possible to comply with this specification, which is why the areas can only be separated with a simple SiBau Safeguard type protective fence.

Furthermore, the basic safety concept includes continuous protective walls on the work trains, slow zone, warning system, emergency stop system, catenary line earth and safety personnel (work site coordinator, safety manager, security guard).

1.5 Project Organisation

The client of the project is BLS Netz AG, Bern. On its behalf, Rubi Bahntechnik is acting as the client support agent, the civil engineering office, Ingenieurbüro Heierli AG, Zurich, as the project author for the slab track, the engineering consortium Aegerter & Bosshardt AG, Basel/SPI AG, Brig, as the senior construction management and the JV Marti LBST as the sole contractor.

The planning services by the sole contractor are basically limited to the secondary areas outside the new slab track. For this purpose, the JV Marti LBST has commissioned the engineering consortium Emch + Berger, Bern/ILF Beratende Ingenieure AG, Zurich, for the design of the drainage and walkways. The contract awarded to the JV Marti LBST is being remunerated as a package price.

2 Current State of Work

The construction work started in autumn 2018. As at the end of 2021, 17,025 m out of a total of 28,488 m of slab track had been installed. This equates to 60% of the entire section.

The original contract sum was CHF 89 million. In the summer of 2021, the package price was increased to CHF 129.5 million by means of an amendment agreement. For cost reasons, the construction volume was reduced by shortening part of the slab track in the southern section by 1.3 km. The final deadline was thus reset to the end of 2023.

In autumn 2021, BLS Netz AG decided to also make this southern section into a slab track. A corresponding request for the work will be issued, and the project end date for the complete rebuild would then be in 2024.

Die planerischen Leistungen des Totalunternehmers beschränken sich im Grundsatz auf die untergeordneten Bereiche ausserhalb der neuen Festen Fahrbahn. Hierzu hat die ARGE Marti LBST für die Planung der Entwässerung und Bankette die Ingenieurgesellschaft Emch + Berger, Bern/ILF Beratende Ingenieure AG, Zürich, beauftragt. Der Auftrag der ARGE Marti LBST wird als Globalpreis vergütet.

2 Stand der Arbeiten

Die Bauarbeiten haben im Herbst 2018 begonnen. Per Ende des Jahres 2021 waren 17 025 m von insgesamt 28 488 m Fester Fahrbahn eingebaut. Dies entspricht einem Anteil von 60 % der gesamten Strecke.

Die ursprüngliche Werkvertragssumme betrug 89 Millionen Franken. Im Sommer 2021 wurde mittels einer Änderungsvereinbarung der Globalpreis auf 129,5 Millionen Franken erhöht und das Bauvolumen aus Kostengründen um einen Abschnitt im südlichen Teil von zweimal ca. 1,3 km Fester Fahrbahn eingekürzt. Der Endtermin wurde somit neu auf Ende 2023 gesetzt.

Im Herbst 2021 hat die BLS Netz AG entschieden, auch diesen Südabschnitt in Fester Fahrbahn auszuführen. Eine entsprechende Ausschreibung der Arbeiten wird erfolgen, und das Projektende des kompletten Umbaus wäre dann im Jahre 2024.

3 Logistische Herausforderungen

Beim Projekt handelt es sich um eine klassische Linienbaustelle, welche jedoch infolge der Vorgaben nur längs und von einer Seite her versorgt werden kann. Das Logistiksystem muss insbesondere auf die engen Platzverhältnisse im Tunnel und den Bahnbetrieb abgestimmt sein. Die Zeitverluste durch Ein- und Ausfahrten sind auf ein Minimum zu begrenzen, die zu transportierenden Massen an Gleisaushub und Beton sind hoch. Die Arbeitssicherheit und die Bahnsicherheit haben eine hohe Bedeutung. Die Länge des Tunnels und die zeitlich vorgegebenen Umbaufenster bedingen hohe Umbauleistungen an der Fahrbahn und damit grundsätzlich ein sehr leistungsfähiges, sicheres und projektspezifisches Logistikkonzept.

3.1 Längslogistiklösung Marti Tunnel AG mittels Monorail

Die heute ausgeführten Bauabläufe und Logistiklösungen mit der Monorail wurden durch die ARGE Marti bereits in der Angebotsphase sehr detailliert geplant. Grundidee ist eine am Tunnelgewölbe aufgehängte Versorgungseinrichtung mit Kränen und Förderband, welche einen begrenzten Bauabschnitt überspannt und in Längsrichtung auf Schienen verschoben werden kann. Die Schienen werden an vorgängig versetzten Anker aufgehängt. Die Kräne dienen dem Gleisausbau, dem Gleiseinbau und dem allgemeinen Transport von Baumaterial. Das Förderband ist reversierbar konzi-

3 Logistical Challenges

The project is a classic line construction site, which, however, can only be supplied lengthwise and from one side due to the specifications. The logistics system must in particular be tailored to the tight space conditions in the tunnel and to the rail operations. The time losses due to driving in and out must be kept to a minimum, with the volumes of excavated track material and concrete needing to be transported being high. The safety at work and the railway safety are of great importance. The length of the tunnel and the given reconstruction time windows require high levels of reconstruction work on the track and hence a very efficient, safe and project-specific logistics concept.

3.1 Lengthways Logistics Solution by Marti Tunnel AG by Means of Monorail

The construction processes and logistics solutions carried out today using the monorail were planned in great detail by the JV Marti back in the quotation phase. The basic idea is a supply device suspended from the tunnel crown with cranes and conveyor belt, which spans a limited construction section and can be moved on rails in a longitudinal direction. The rails are suspended on previously offset anchors. The cranes are used for the track excavation, track installation and the general transport of construction material. The conveyor belt has a reversible design and is therefore used on the one hand to remove the track ballast to the work trains and on the other hand to transport the concrete to the construction site.



3 Bohren der Anker für Monorailschienen mit Ankerzug
Drilling the anchors for monorail tracks with anchor train

Quelle/credit: ARGE Marti LBST

piert und dient so einerseits der Abförderung des Gleisaustrahls in die Bauzüge und andererseits dem Zutransport des Betons.

Ein zentraler Vorteil dieser Längslogistiklösung ist, dass Lichttraumprofilverletzungen des Betriebsgleises praktisch ausgeschlossen sind, da Hehebewegungen zwangsweise nur vertikal auf der definierten Achse der Monorailschiene stattfinden und ein Schwenken unmöglich ist.

Sämtliche Installationen wurden in Zusammenarbeit mit diversen spezialisierten Marti-Firmen geplant, gefertigt und in Betrieb genommen.

In der Folge werden die Hauptarbeitsschritte des Umbaus auf die Feste Fahrbahn beschrieben.

3.1.1 Installation Monorail

Zu Beginn jeder neuen Bauphase erfolgt eine zweiwöchige Installationsphase. Dabei wird auf dem Arbeitsgleis die Fahrleitung ausgeschaltet, geerdet und abgeschwenkt. Anschliessend werden die 3 m langen Monorailschienen an den vorgängig versetzten und geprüften Ankern des Typs Swellex Hangerbolt mittels Kettengehängen aufgehängt und ausgerichtet (Bild 3). Die Baustelle verfügt über insgesamt 2000 m Schienen, welche dann während der Bauphase mit dem Baufortschritt und parallel zu den Hauptarbeiten umgesetzt werden müssen.

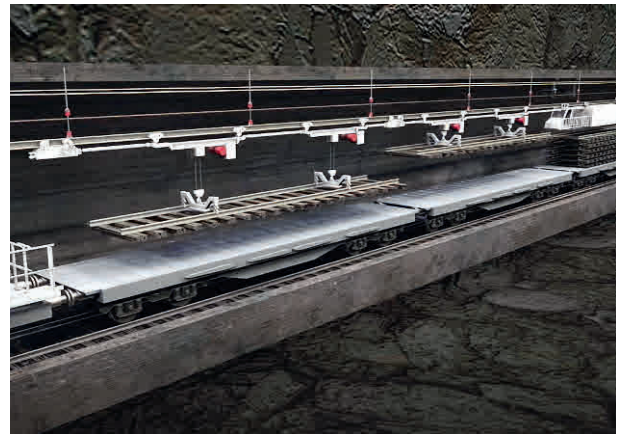
Anschliessend erfolgt die Montage der grossen, 40 m langen Kranbahn mit vier Hebezügen à jeweils 5 t Hubkraft, des in Fachwerkelementen zusammengesetzten Förderbandes à 350 m Länge und der kleinen Kranbahn mit zwei Hebezügen à jeweils 3,5 t Hubkraft.

3.1.2 Ausbau Gleis und Schotter

Der Umbau innerhalb einer Bauphase erfolgt in Taktabschnitten von 200 bis 300 m Länge, welche jeweils innerhalb einer Woche komplett umgebaut werden. Die Arbeitsrichtung ist von Süd nach Nord festgelegt, die Versorgung über die Bauzüge erfolgt von Norden her.

Zu Beginn eines neuen Taktes werden die alten Gleisjoche in Abständen von 12 m geschnitten und mit der grossen Kranbahn aus dem Schotterbett gehoben und auf die Flachwagen des Bauzuges geladen (Bild 4). Der Ablauf ist so konzipiert, dass jeweils zwei Gleisjoche parallel ausgehoben, verfahren und abgeladen werden. Die Fahrt mit der Kranbahn über den Taktabschnitt dauert im Maximum fünf Minuten. Der Bauzug ist so konzipiert, dass er die Gleisjoche des gesamten Taktabschnittes laden kann.

Für den Schotterausbau kommt eine Vortriebs- und Lademaschine des Typs ITC 120 F zum Einsatz. Sie arbeitet sich rückwärts von Süd nach Nord und fördert den Schotter direkt auf das sich synchron verschiebende Monorail-Förderband. Der



Quelle/credit: ARGE Marti LBST

4 Ausbau alte Gleisjoche mit Monorail-Kranbahn
Removing old track with monorail crane

A key benefit of this longitudinal logistics solution is that clearance gauge injuries from the operating track are practically ruled out, as lifting movements necessarily only take place vertically on the defined axis of the monorail track and swivelling is impossible.

All the installations were designed, produced and put into operation in collaboration with various specialised Marti companies.

The main work steps of the conversion to the slab track are described below.

3.1.1 Monorail Installation

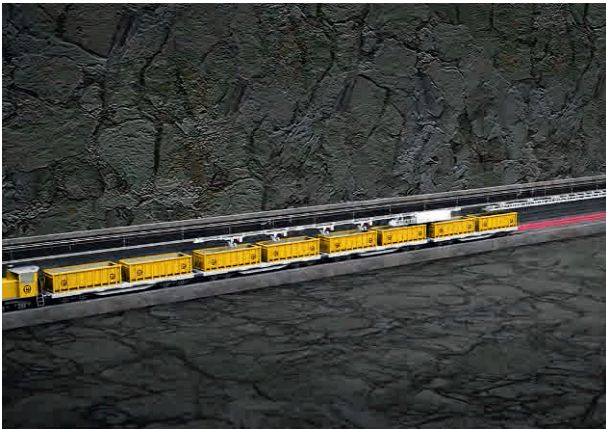
At the start of each new construction phase there is a two-week installation phase. During this phase, the catenary line is switched off, earthed and swung away on the work track. The 3 m long monorail sections are then suspended on the previously offset and tested Swellex Hangerbolt type anchors by means of chain suspensions and then aligned (Fig. 3). The construction site has 2,000 m of rails altogether, which then have to be implemented during the construction phase as the work progresses and alongside the main work.

Assembly then takes place of the large, 40 m long crane runway with four hoists each with a lifting capacity of 5 tonnes, the conveyor belt composed of framework elements and measuring 350 m and the small crane runway using two hoists each with a lifting capacity of 3.5 tonnes.

3.1.2 Excavation of Track and Gravel

The reconstruction work during a construction phase is done in cycles of 200 to 300 m long sections, each of which is completely reconstructed within a week. The work direction is set from south to north, supplied by work trains coming from the north.

At the start of each new cycle the old track yokes are cut at 12 m intervals and lifted together with sleepers from the gravel bed with the large rail crane and loaded onto the flat



Quelle/credit: ARGE Marti LBST

5 Schotterverlad auf Bauzug mit Monorail-Förderband
Gravel loading on work train with monorail conveyor belt

Schotter wird anschliessend in den bereitstehenden Aushubzug gekippt (Bild 5). Die Kapazität eines Aushubzuges beträgt 180 t. Für einen Takt müssen fünf bis sechs Aushubzüge entleert werden.

3.1.3 Einbau Grundtragplatte

Für die Herstellung der Grundtragplatte muss zunächst die Sohle des Baubereichs gereinigt werden. Weiter sind in diesem Abschnitt punktuell die Sohle abzusenken sowie neue Leitungsquerungen zu erstellen. Diese Arbeiten werden im «Schatten» der Gleis- und Schotterausbauarbeiten ausgeführt.

Für die Betonarbeiten wurde ein projektspezifischer Betonzug mit Betonmischern und Förderbändern zur Übergabe des Betons auf das Monorail-Förderband entwickelt (Bild 6). Die Installation ist so ausgelegt, dass die gesamte ausgehobene Taktlänge mit dem Monorail-Förderband überbrückt werden kann (Bild 7). Förderband und Betonzug verschieben sich dabei mit dem Baufortschritt wiederum synchron von Süd nach Nord.

Der Betonzug ist insgesamt 120 m lang und besteht aus einer stationär im Tunnel verbleibenden Bunkereinrichtung à 20 m³ und einem Shuttle-Zug, welcher die Baustelle jeweils pendelnd ab dem Installationsplatz in Kandersteg mit 30 m³ Frischbeton versorgt. Dieses Konzept erlaubt einen weitgehend kontinuierlichen Betonierprozess im Tunnel.

Der Beton der Grundtragplatte wird am Einbauort vibriert, und die Oberfläche wird mit einem Besenstrich aufgeraut. Damit wird ein monolithischer Verbund zwischen Grundtragplatte und Vergussbeton erreicht (Bild 8).

3.1.4 Einbau Gleisjoche

In der grossen Werkstatthalle auf dem Installationsplatz Egenschwand in Kandersteg werden die neuen Feste-Fahrbahn-Gleisjoche vorbereitet. Dabei werden die vorfabrizierten LVT-Betonblöcke an Montagegleisjochen à 12 m Länge fixiert. Die Ausrichtung erfolgt mit Schablonen und Spur-

cars of the work train (Fig. 4). The workflow is designed so that two complete tracks are lifted off, moved and unloaded at the same time in each case. The movement with the rail crane across the unit section takes five minutes maximum. The work train is designed so that it can load the complete 12 m track sleeper segments from the whole unit section.

An ITC 120 F type tunnel heading and loading machine is used for the gravel excavation. It works backwards from south to north and delivers the gravel directly onto the monorail conveyor belt that moves synchronously with it. The gravel is then tipped into the waiting excavation train (Fig. 5). The capacity of an excavation train is 180 tonnes. For one unit, five to six excavation trains have to be emptied.

3.1.3 Installation of the Base Support Slab

To produce the base support slab, the tunnel floor of the construction area first has to be cleaned. Furthermore, the tunnel floor needs to be lowered at selected points and new cable crossings created. This work is carried out in the “shade” of the track and gravel excavation work.

For the concreting work, a project-specific concrete train has been developed with concrete mixers and conveyor belts to transfer the concrete onto the monorail conveyor belt (Fig. 6). The installation is designed so that the entire lifted-out unit length can be bridged with the monorail conveyor band (Fig. 7). The conveyor belt and concrete train in turn move synchronously with the work progress from south to north.

The concrete train is 120 m long altogether and consists of a stationary bunker device measuring 20 m³ that remains in the tunnel and a shuttle train, which supplies the construction site with 30 m³ of fresh concrete by travelling back and forth from the installation site in Kandersteg. This concept allows a largely continuous concreting process in the tunnel.

The concrete used for the foundation is vibrated at the point of installation, and the surface is roughened with a broom



Quelle/credit: ARGE Marti LBST

6 Übergabe Beton von Betonzug auf Monorail-Förderband
Transferring concrete from concrete train on monorail conveyor belt



Quelle/credit: ARGE Marti LBST

7 *Überspannung Bauabschnitt mit Monorail-Förderband*
Spanning construction section with monorail conveyor belt

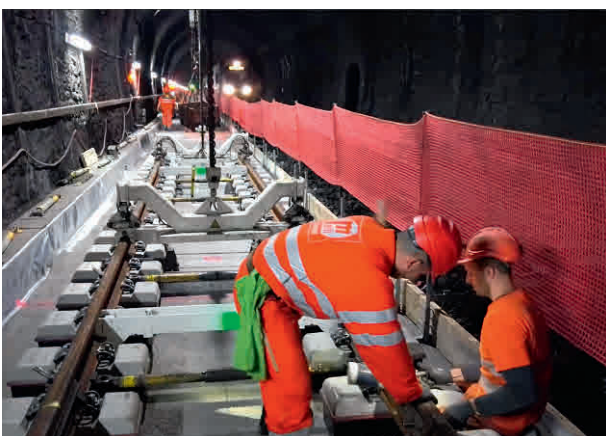
halten. Anschliessend erfolgt der Transport eines gesamten Taktabschnittes in den Tunnel. Mit der Kranbahn der Monorail werden jeweils zwei Joche zusammen am Einbauort platziert, auf Bolzen aufgeständert, untereinander verlascht und mithilfe eines Gleishebe-Richtsystems in der Lage ausgerichtet (Bild 9). Die Grobausrichtung auf eine Genauigkeit von 2 bis 3 mm erfolgt mithilfe eines Tachymeters durch das Baustellenpersonal. Das Feinrichten für die Betonierfreigabe des Vergussbetons sowie die Gleisdokumentation erfolgen durch den Vermessungsspezialisten mithilfe eines Gleissmesswagens.

3.1.5 Einbau Vergussbeton

Der Einbau des Vergussbetons erfolgt vom Konzept her analog zum Einbau der Grundtragplatte. Beim Betoneinbau muss insbesondere auf die saubere Untergiessung der LVT-Betonblöcke geachtet werden. Die Betonoberfläche wird zur Sicherstellung des Wasserabflusses mit einem Quergefälle versehen und abtalschier (Bild 10).

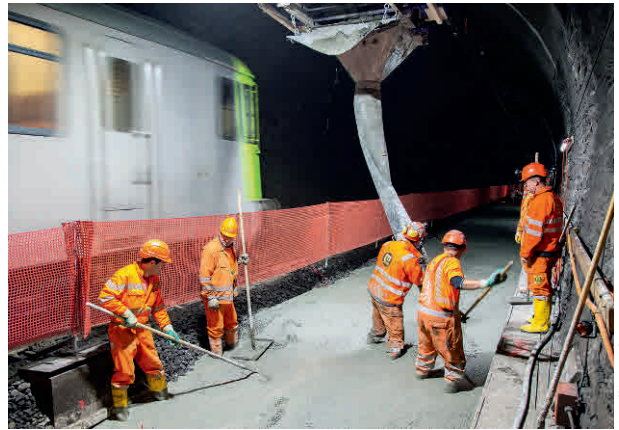
3.1.6 Langschienenwechsel

Im Schatten der Hauptarbeiten erfolgt der periodische und getaktete Einbau der definitiven Langschienen. Dabei wer-



Quelle/credit: ARGE Marti LBST

9 *Versetzen und Ausrichten Gleisjoche Feste Fahrbahn mit Monorail*
Offsetting and aligning slab track yokes with monorail



Quelle/credit: ARGE Marti LBST

8 *Einbau Grundtragplatte*
Installation of foundation

finish. This creates a monolithic bond between the base support slab and poured concrete (Fig. 8).

3.1.4 Installation of the Track Yokes

In the large workshop building at the Eggenschwand installation site in Kandersteg, the new slab track yokes are prepared. During this process, the prefabricated LVT concrete blocks are fixed onto track assemblies each measuring 12 m. These are aligned using templates and track holders. An entire unit section is then transported into the tunnel. Using the monorail's crane, two 12 m track assembly sections are placed together at the point of installation, elevated on bolts, lashed together and aligned in position with the aid of a track lifting and straightening system (Fig. 9). The rough alignment is done to an accuracy of 2 to 3 mm by the construction site personnel using a tachymeter. The fine alignment for the concreting approval of the poured concrete as well as the track documentation are done by the surveying specialists with the help of a track geometry car.

3.1.5 Installation of the Poured Concrete

The installation of the grouting concrete is conceptually analogous to the installation of the base plate. When pla-



Quelle/credit: ARGE Marti LBST

10 *Einbau Vergussbeton*
Installation of poured concrete

Lötschberg Summit Tunnel Renovation •

Construction during Operations: Logistical and Organisational Challenges for the Contractor



Quelle/credit: ARGE Marti LBST

11 Stationärer Betonzug im Tunnel
Stationary concrete train in tunnel

den die Montagejoche mit der Monorail-Kranbahn ausgebaut und per Bauzug zur Wiederverwendung zurück auf den Installationsplatz gefahren. Die 120 m langen Langschienen werden mit einem Bestellvorlauf von mehreren Monaten direkt ab Werk und per Spezialzug auf die Verwendungsstelle geliefert, abgezogen, auf die LVT-Betonblöcke verlegt und befestigt. Ein nachträgliches Ausrichten der Schienen bei Toleranzüberschreitungen ohne die Verwendung von speziellen Winkelführungsplatten ist nur in sehr begrenztem Rahmen möglich. Bisher mussten diesbezüglich keine Korrekturen vorgenommen werden. Am Schluss werden die Gleisstöße der Langschienen verschweisst und das komplette Gleis mit dem Spezialzug geschliffen.

3.2 Versorgungslogistik Bauzüge

Nach Auftragserteilung im Mai 2018 hat die ARGE Marti LBST innert kürzester Zeit bis im Herbst 2018 alle projektspezifische Bauzüge geplant und in den Marti-eigenen Werken gefertigt. Die Aufbauten wie Betonmischer, Förderbänder, Mannschaftscontainer etc. sind auf vollflächige Rahmenkonstruktionen verschweisst, welche auf Standardbahnwagen analog einer Ladung fixiert wurden. Eine bauliche Abänderung der Bahnwagen ist somit nicht erforderlich. Alle Rahmenkonstruktionen verfügen über integrierte, durchgehende Schutzwände auf der Seite des Betriebsgleises. Die



Quelle/credit: www.bahnbilder.de / Hp. Teutschmann

12 Schotterzug mit Diesellok Em 831
Gravel train with Em 831 diesel locomotive

cing the concrete, particular attention must be paid to neatly pouring the concrete under the LVT concrete blocks (Fig. 10). To ensure the water flows off, the concrete surface is given a cross slope and skimmed.

3.1.6 Changing the Long Rails

In the shadow of the main work, the definitive long rails are installed in a periodic and synchronised manner. In this regard, the track assembly is removed with the monorail crane and transported back to the installation site by work train for recycling. The 120 m long rails are supplied directly from the factory with an order lead time of several months and delivered to the point of use by special train, taken off, placed on the LVT concrete blocks and fastened. A subsequent alignment of the rails if tolerances are exceeded without using special angled guide plates is only possible within a very limited framework. So far no corrections have had to be made in this regard. Finally the track joints of the long rails are welded and the complete track smoothed with a special train.

3.2 Work Trains Supply Logistics

After the contract was awarded in May 2018, the JV Marti LBST designed all the project-specific work trains and made them at its own factories within a very short time by autumn 2018. The superstructures such as concrete mixers, conveyor belts, crew containers etc. are welded onto special steel frames, which were fitted to and fixed onto standard railway flat wagons in the same way as standard loads. A structural modification of the rail wagons is therefore unnecessary. All frame constructions feature integrated, continuous protective walls on the side of the operating track. The side of the railings and protective walls can be changed depending on the side to be worked on.

In the rearward area of the construction site, an infrastructure train is pulled, on which material stores, toilets, refuge chambers and equipment for tunnel ventilation are kept. All in all, six work train compositions are in operation: track excavation and installation train, gravel train, concrete train, infrastructure train, assembly train and anchor drilling train (Fig. 11).

To pull the work trains, three Em 831 diesel locomotives with an output of 900 kW were acquired (Fig. 12).

4 Lessons Learned

The chosen logistics concept with the monorail has proven itself and was – looking back – the right decision. The required investments as well as the extensive installation effort must be noted in this respect.

For long tunnels with similar conditions regarding the tunnel geometry as well as the work and railway safety, the chosen solution is, however, compared to conventional track construction methods, the only correct construction method.

Seite der Geländer und Schutzwände kann je nach Arbeitsgleis gewechselt werden.

Im rückwärtigen Bereich der Baustelle wird ein Infrastrukturzug nachgezogen, auf welchem Materiallager, Toiletten, Fluchtcontainer und Anlagen zur Tunnellüftung vorgehalten werden. Insgesamt sind sechs Bauzugskompositionen im Einsatz: Gleisau- und -einbauzug, Schotterzug, Betonzug, Infrastrukturzug, Montagezug und Ankerbohrzug (Bild 11).

Als Traktion für die Bauzüge wurden drei Dieselloks des Typs Em 831 mit einer Leistung von 900 kW beschafft (Bild 12).

4 Erkenntnisse

Das gewählte Logistikkonzept mit der Monorail hat sich bewährt und war – im Rückblick gesehen – die richtige Entscheidung. Die erforderlichen Investitionen sowie der umfangreiche Installationsaufwand sind dabei zu beachten.

Bei langen Tunnels mit ähnlichen Rahmenbedingungen bezüglich der Tunnelgeometrie sowie der Arbeits- und Bahnsicherheit ist die gewählte Lösung jedoch im Vergleich zu konventionellen Gleisbaumethoden die einzig richtige Baumethode.

Erfahrungen mit vergleichbaren Installationen konnten keine herangezogen werden. Zahlreiche komplexe Details, wie beispielsweise die Synchronisierung des Verschubs von Förderband und Bauzug, stellten das Planungsteam vor grosse Herausforderungen. In der Ausführung hat sich rasch gezeigt, dass das geplante Konzept in der Umsetzung funktioniert. Es mussten nachträglich keine grösseren Anpassungen vorgenommen werden.

Die organisatorischen und sicherheitstechnischen Ausführungsanforderungen bleiben auch mit der Monorail-Lösung ungemein hoch. Stark beschränkte und fahrplanmässig im Voraus zu definierende Baulogistikfahrten sowie ein je nach Arbeitsgattung unterschiedlicher Bedarf an Sicherheits- und Lokpersonal bedingen eine rigorose Arbeitsvorbereitung. Unklare oder unvorhergesehene Situationen führen sehr schnell zu unsicheren Handlungen und zu einer potenziell akuten Gefährdung der Arbeits- oder Bahnsicherheit.

Es hat sich klar gezeigt, dass dies organisatorisch nur mit einem minutiös geführten Taktprogramm umzusetzen ist, welches sich wöchentlich wiederholt und für das Baustellenpersonal klar strukturiert ist. Konkret werden so die einzelnen Hauptarbeiten immer an denselben Wochentagen und in denselben Zeitfenstern ausgeführt; dies unabhängig von der jeweils erzielten Leistung in Tunnelmetern.

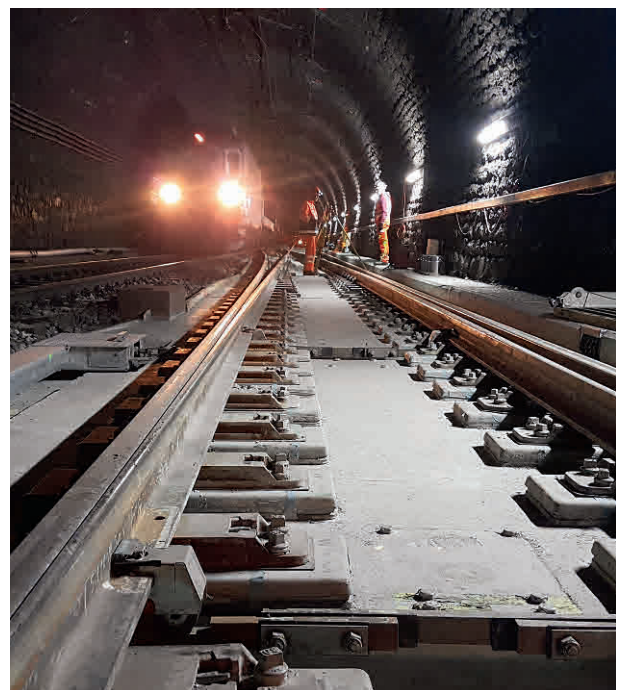
Die bisher erzielten Einbauleistungen an Fester Fahrbahn sind unter den gegebenen schwierigen Umständen als hoch einzustufen. Sie liegen im Südabschnitt bei 200 m pro Woche und im bisher ausgeführten, baulegistisch einfacheren Nordabschnitt bei 280 m pro Woche (Bild 13).

It was not possible to draw on any experiences with comparable installations. Many complex details, such as synchronising the shunting of the conveyor belt and work train, posed major challenges for the planning team. In the execution process, it was soon shown that the planned concept works in terms of implementation. No major adjustments had to be made later on.

The organisational and safety-related execution requirements remain tremendously high even with the monorail solution. Severely limited construction logistics trips that need scheduling in advance as well as a different need for safety and locomotive personnel depending on the type of work require rigorous work preparation. Unclear or unforeseen situations very quickly lead to unsafe actions and to a potentially acute risk to work and railway safety.

It has been clearly shown that, from an organisational point of view, this can only be implemented with a meticulously managed synchronised schedule, which is repeated on a weekly basis and is clearly structured for the construction site personnel. Specifically speaking, the individual main work processes are therefore always performed on the same week days and during the same time windows; this regardless of the performance achieved in tunnel metres.

The slab track installation figures achieved so far are to be rated as high under the given difficult circumstances. They are around 200 m per week in the south section, and in the so far executed north section, which is easier in terms of construction logistics, they are around 280 m per week (Fig. 13).



13 Neue Feste Fahrbahn, Gleis 200 im Bereich der Tunnelstation
New slab track, track 200 in the area of the tunnel station

Quelle/credit: ARGE Marti LBST

Gian Paolo Nodiroli, MSc Ele Eng ETH, Lombardi SA Ingegneri consulenti, Bellinzona-Giubiasco/CH

Damien Tillet, MSc Eng INSA, Lombardi Ingénierie SAS, Lyon/FR

Rita Sanfilippo, MSc Civil Eng POLMI, Lombardi SA Ingegneri consulenti, Bellinzona-Giubiasco/CH

James O'Neil, MSc Management, Technology and Economics, ETH, Lombardi SA Ingegneri consulenti, Bellinzona-Giubiasco/CH

Pascal Klaus, MSc Ele Eng ETH, Lombardi SA Ingegneri consulenti, Bellinzona-Giubiasco/CH

Equipements et systèmes

Cycle de vie et évolution technologique du tunnel

Les équipements et systèmes d'un tunnel sont indispensables pour utiliser en toute sécurité cette voie de communication particulière. Il s'agit de systèmes généralement pratiquement invisibles pour l'utilisateur et de dispositifs qui n'entrent en fonction que dans des cas particuliers (occurrence d'événements imprévus à l'intérieur du tunnel). Ces équipements et systèmes ont connu au fil des années une évolution importante, quoique imperceptible pour l'utilisateur. En effet, si ces modifications ont eu lieu en coulisse, elles ont contribué de façon importante à améliorer sans cesse la sécurité (roue de Deming) et à éviter de possibles tragédies.

Equipment and Systems

Life Cycle and Technological Evolution of the Tunnel

A tunnel's equipment and systems are essential for the safe usage of this particular transport route. These systems are often all but invisible for the user and only play a role in certain specific circumstances (in the event of unexpected incidents inside the tunnel). The equipment and systems in question have evolved enormously over the years – something that has occurred behind the scenes and out of sight of the user. It has however made a significant contribution to ongoing safety improvements (PDCA) and the avoidance of potential tragedies.

1 Evolution technologique des équipements et des véhicules

L'évolution technologique des équipements de tunnels se base sur plusieurs aspects très divers et qui, dans leur ensemble, permettent de définir un concept général d'évolution. L'évolution des équipements électromécaniques passe nécessairement par l'évolution des matériaux et des équipements, la réduction de la consommation énergétique, le développement de systèmes de commande et de surveillance, mais aussi celui des moyens de transport, qui ont tous connus des changements importants ces dernières dizaines d'années.

1.1 Evolution des matériaux et des équipements

Le lien majeur entre le monde de l'industrie et celui des tunnels est sans doute la ventilation. La ventilation est une installation cruciale pour la sécurité des tunnels et, en général, pour toute infrastructure souterraine. L'évolution de ces équipements n'a pas été particulièrement importante. Certes les rendements ont augmenté et les poids ont diminué, mais c'est surtout la façon de gérer ces ins-

1 Technological Evolution of Equipment and Vehicles

The technological evolution of tunnel equipment draws on a number of wide-ranging aspects that, when taken together, facilitate the definition of a general evolutionary concept. The evolution of electromechanical equipment inevitably entails the evolution of materials and equipment, a reduction in energy consumption, the development of control and surveillance systems, which have seen major changes over the past few decades, and the evolution of modes of transport, which has also been significant over the same time frame.

1.1 Evolution of Materials and Equipment

The major link between the worlds of industry and tunnels is without question ventilation. Ventilation is a crucial installation when it comes to tunnel safety and, generally speaking, for any underground infrastructure. The evolution of this equipment has not been especially significant; capacities have increased and weights have been reduced, but the biggest change has been in the way these

Ausrüstungen und Systeme

Lebenszyklus und technologische Entwicklung des Tunnels

Der Betrieb der Tunnelausrüstung wird stark von der technologischen Entwicklung der Anlagen, der Kontroll- und Steuerungssysteme, der Digitalisierung und natürlich von den Fahrzeugen beeinflusst, die den wichtigen und sensiblen Verkehrsweg Tunnel passieren. Die Geräte werden immer intelligenter und sind in der Lage, zusätzliche Informationen zu liefern, die für einen optimierten Anlagenbetrieb genutzt werden und zu einer effizienten Verwaltung der Wartungs- und Inspektionstätigkeiten beitragen können. Die Herausforderung besteht heute und in naher Zukunft darin, die Prozesse so anzupassen, dass eine gemeinsame Plattform für die Datenverarbeitung implementiert werden kann mit Anwendungen, die in den verschiedenen Betriebs- und Verwaltungsbereichen eines Tunnels eingesetzt werden können, um die Verfügbarkeit des Objekts und die Sicherheit der Nutzer zu verbessern.

Equipaggiamenti e sistemi

Ciclo di vita ed evoluzione tecnologica della galleria

La gestione degli equipaggiamenti di una galleria è fortemente influenzata dall'evoluzione tecnologica delle apparecchiature, dei sistemi di controllo e comando, dalla digitalizzazione e, naturalmente, dai veicoli che transitano attraverso questa importante e sensibile via di comunicazione. Gli equipaggiamenti sono sempre più intelligenti e capaci di fornire delle informazioni supplementari, che possono essere utilizzate per una gestione ottimizzata della struttura e possono contribuire a una gestione efficiente delle attività di manutenzione e ispezione. La sfida che si pone oggi e nel futuro prossimo è quella di poter adattare i processi in modo che sia possibile implementare una piattaforma comune per l'elaborazione dei dati, al fine di disporre di applicativi che possano essere utilizzati negli svariati ambiti operativi e gestionali di una galleria, migliorando la disponibilità dell'oggetto e la sicurezza degli utenti.

tallations qui a changé. Sans ventilation, il serait impossible d'utiliser des tunnels pour un trafic routier, et souvent, c'est cette même ventilation qui en détermine le degré d'utilisation possible. Aujourd'hui, la régulation de la ventilation peut être réalisée à l'aide de capteurs capables de mesurer de manière précise la vitesse et la qualité de l'air, ainsi que la position précise d'un incendie, et tout cela avec une grande rapidité et fiabilité. Ces informations, complétées par des systèmes de commande intelligents et distribués, permettent de gérer des scénarios de ventilation complexes, comprenant une gestion en temps réel des différents types de ventilateurs et équipements associés (registres, clapets motorisés...), le tout en utilisant un contrôle en boucle fermée (type régulateur PID) qui s'adapte en fonction des données relevées à l'instant T à l'intérieur du tunnel.

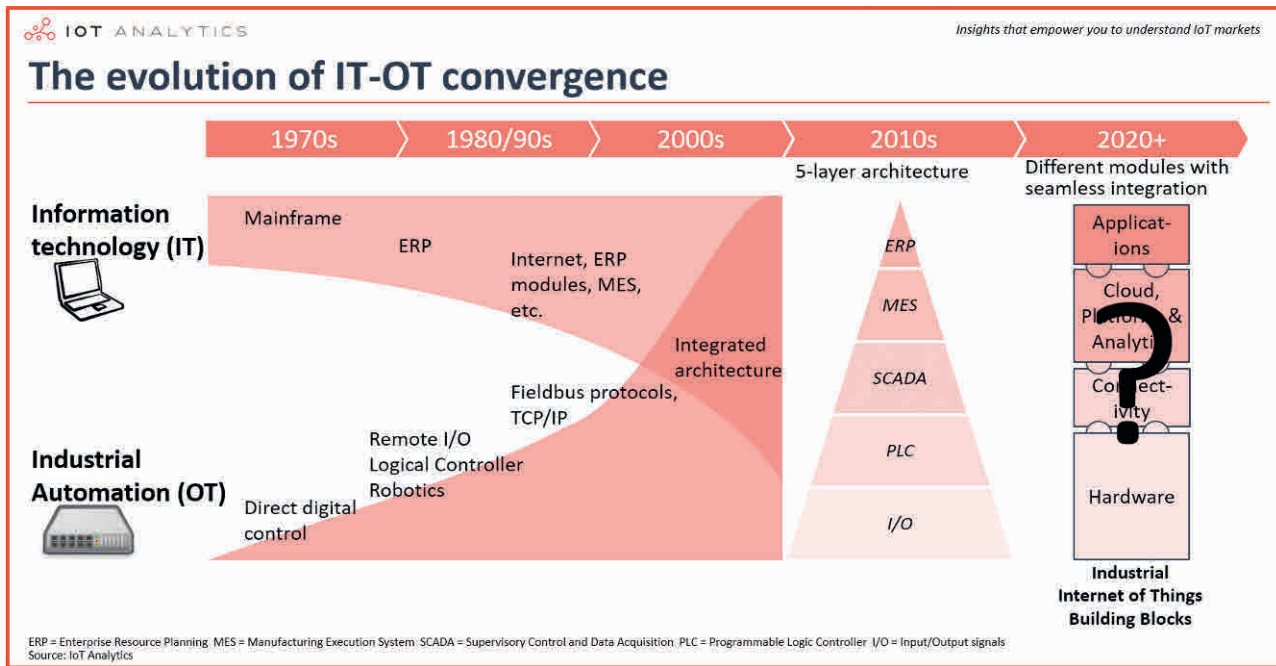
1.2 Evolution de la consommation énergétique

Un tunnel est un grand consommateur d'énergie électrique, principalement pour l'éclairage et la ventilation (si présente) et parfois pour les installations de climatisation. Ces dernières années, le plus grand progrès lié à la consommation électrique a été réalisé grâce à la technologie LED, utilisée pour l'éclairage du tunnel et de ses galeries annexes. Outre la technologie d'éclairage proprement dite, le contrôle de l'intensité lumineuse produite par les luminaires constitue une autre évolution importante, grâce au fait qu'aujourd'hui, il est possible de régler la valeur de chaque point lumineux à l'aide de systèmes de commande. Il est ainsi possible aujourd'hui de gérer les équipements en optimisant l'énergie à utiliser dans une démarche écoresponsable pour un tunnel plus durable.

installations are managed. Without ventilation, it would be impossible to use these tunnels for road traffic – and it is often this very same ventilation that determines the degree to which usage is possible. Today, the ventilation can be controlled using sensors capable of measuring the speed and quality of the air very precisely, as well as the exact position of a fire, and all this extremely quickly and reliably. This information, rounded off by the intelligent and distributed control systems, facilitates the management of complex ventilation scenarios, including real-time management of various types of ventilators and associated equipment (dampers, motorised valves, etc.), all while operating a closed-loop control (PID-type controller) that adapts based on the data collected at a given moment inside the tunnel.

1.2 Evolution of Energy Consumption

Tunnels are major consumers of electrical energy, which is mainly necessary for lighting and ventilation (if present) and sometimes for air conditioning systems. Over the past few years, the greatest progress associated with the consumption of electricity has been achieved thanks to the LED technology used in lighting the tunnel and its auxiliary tunnels. Aside from lighting technology, another major development is associated with managing the intensity of the light generated by the lighting fixtures. The result of this is that it is now possible to adjust the setting of each lighting point individually via the control systems. It is now therefore possible to manage the equipment by optimising the energy to be consumed as part of an environmentally responsible approach so as to increase the sustainability of the tunnel.



Crédit: IoT Analytics - <https://iot-analytics.com/5-industrial-connectivity-trends-driving-the-it-ot-convergence/>

1 Convergence informatique-automatisation industrielle
Convergence IT-IA

1.3 Evolution des systèmes de commande et de surveillance

Comme pour tous les systèmes dans les différents champs d'application, le tunnel a connu une évolution importante des systèmes de commande et de surveillance. En quelques dizaines d'années, on est passé d'une technologie à relais à des systèmes d'automatismes intelligents. Les différents sous-systèmes interagissent entre eux de manière coordonnée et réagissent automatiquement à des événements déterminés (notion d'action réflexe). Toutes les informations des différents systèmes sont accessibles à des niveaux divers. Il est ainsi possible de vérifier la pleine opérationnalité du tunnel et de le gérer à distance, notamment grâce à des flux vidéo déportés. Le temps nécessaire pour alerter le centre de commandement en cas d'évènement est réduit au minimum. Cette opération est désormais complètement automatique. L'évolution des systèmes de commande et de surveillance est rendue possible par la puissance de calcul des contrôleurs utilisés, des réseaux de communication toujours plus performants et sécurisés, mais aussi par la transition numérique qui concerne désormais quasiment tous les domaines. L'image ci-dessus (fig. 1) de manière globale comment le champ d'application des contrôleurs (PLC) et celui des ordinateurs ont convergé finalement vers une architecture intégrée. Même si l'on peut dire aujourd'hui qu'un haut niveau d'automatisation et de surveillance a été atteint, l'exemple d'autres champs d'application montre clairement que cette évolution n'est pas terminée et que nous nous dirigeons vers des systèmes interconnectés toujours plus intelligents devant gérer une quantité croissante de données. Par exemple, l'intelligence artificielle se développe de plus en plus pour les systèmes de Détection automatique d'incidents (DAI) en lien avec l'analyse en temps réel des images vidéo du tunnel.

1.3 Evolution of the Control and Surveillance Systems

As with all systems in various fields of application, the tunnel has seen significant development in its control and surveillance systems. In just a few decades, technology has progressed from relay-based to intelligent automated systems. The various sub-systems interact with one another in a coordinated way and react automatically to specific incidents (reflex-action concept). All the information from the different systems is accessible at various levels, meaning that the complete functionality of the tunnel can be verified and managed from a distance, for example with remote video streams. The time required to alert the command centre of an incident is reduced to a minimum and is completely automated. The evolution of the control and surveillance systems has been facilitated by the processing power of the controllers used, the increasingly effective and secure communication networks, and digitisation, which now has an impact on almost all areas. The image above (Fig. 1) shows in general terms how the field of application of the controllers (PLC) has been integrated with that of the computers to ultimately converge into integrated architecture. Even if it is possible to assert that the level of automation and surveillance attained thus far is high, development in other areas clearly demonstrates that this evolution is not complete, increasingly guiding us to intelligent interconnected systems and management of an ever-growing volume of data. Artificial intelligence, for example, is continuing to develop for Automatic Incident Detection (AID) systems in conjunction with real-time analysis of video images of the tunnel.

1.4 Evolution of Data Processing

Today, tunnel control and surveillance systems are able to access a lot of the data provided by modern sensors

1.4 Evolution du traitement des données

Les systèmes de commande et de surveillance d'un tunnel peuvent aujourd'hui accéder à un grand nombre de données mises à disposition par les capteurs et actionneurs modernes. Toutefois, la tendance à se focaliser sur les données opérationnelles ayant un effet direct sur la gestion du trafic et de la sécurité de l'infrastructure persiste encore aujourd'hui. Les données de service et les données auxiliaires collectées par les nombreux capteurs et actionneurs sont enregistrées à l'intérieur de banques de données au sein des contrôleurs des diverses installations et peuvent être exportées sous forme de tableaux ou graphiques à l'aide du logiciel du contrôleur lui-même. L'évolution récente dans le traitement des données s'oriente vers la mise à disposition de toutes ces informations sur une plateforme ouverte et flexible où les divers systèmes peuvent interagir entre eux sur la base de ces données (Internet des objets ou *Internet of Things* – IoT). Cette plateforme permet d'avoir accès aux données et de faire appel à des applications orientées vers un but bien précis, tout en se servant d'une programmation indépendante de la nature et du type de contrôleur, capteur ou actionneur. A titre d'exemple, on peut utiliser les informations d'opacité des détecteurs de fumée pour déterminer les alarmes possibles à l'intérieur du tunnel, mais aussi les valeurs données sur le degré d'encrassement pour évaluer la nécessité d'une maintenance, ou encore utiliser les valeurs d'opacité dans le temps et l'espace (valeurs provenant de plusieurs détecteurs à différents endroits) afin de gérer les flux aérauliques à l'intérieur du tunnel en lien avec un événement donné. Ces trois applications accèdent aux données présentes sur une seule plateforme. Au fil du temps, il sera possible d'ajouter de nouvelles informations à la plateforme et de créer de nouvelles applications sans compromettre ce qui a déjà été réalisé préalablement. L'architecture de l'IoT est représentée à la figure 2 de manière simple à l'aide de deux modèles à 3 et 5 niveaux (fig. 2).

1.5 Evolution de la modélisation – BIM

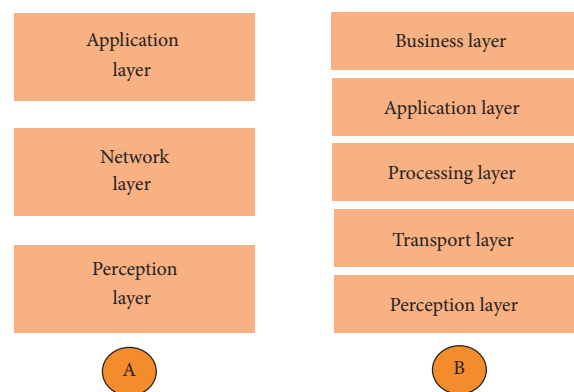
L'arrivée de la transition numérique dans le domaine de la construction apporte aujourd'hui la possibilité de reproduire, dans un modèle 3D, chaque composant d'un tunnel, bien que son utilisation et l'innovation des processus qui en découle, tant pour les ingénieurs que pour le maître d'ouvrage, représentent aujourd'hui le défi principal. Actuellement, un tunnel est représenté à l'aide de plans d'exécution majoritairement en 2D qui, pour les ouvrages les plus anciens, existent seulement en format papier. En pratique, la représentation d'un tunnel comporte un nombre très important de documents en divers formats qui sont ensuite utilisés de manière différente en fonction des exigences.

La transition numérique a popularisé, dans les phases de conception, l'utilisation de la méthode du « Building Information Modelling » (BIM). Source d'informations partagées portant sur un ouvrage, cette méthode constitue une base fiable pour les décisions à prendre au cours du cycle de vie dudit ouvrage : des premières phases de conception à la démolition

and actuators. However, the tendency to focus on the operational data that directly influence traffic management and infrastructure safety remains. Operating and auxiliary data provided by many sensors and actuators are recorded in databases within the various installations' controllers and can be exported as tables or charts using the controller's own software. Recent developments in the processing of data have been moving towards the provision of all this information on an open, flexible platform where the various systems can interact with one another based on these data (Internet of Things – IoT). This platform allows us to access data and to implement applications that target a precise goal while using a program that is independent of the nature and type of controller, sensor or actuator. For example, opacity data from smoke detectors can be used to determine possible alarms inside the tunnel, data on the accumulation of dirt can be used to evaluate maintenance requirements, and measurements of opacity in time and space (provided by several detectors in different locations) facilitate the management of airflows within the tunnel associated with a specific incident. These three applications access data present on a single platform. Over time, it will be possible to add additional information to the platform and to create new applications without compromising what has already been achieved. The architecture of the Internet of Things is represented in a simple format in figure 2 using two models of three and five layers (Fig. 2).

1.5 Evolution of Modelling – BIM

The arrival of digitisation to the field of construction now offers the possibility of reproducing each individual component of a tunnel in a 3D model, but the use of this and the resulting innovation of processes represent the main challenge now both for engineers and the project owner. Currently, a tunnel is represented using construction plans, usually in two dimensions. For the oldest structures, these exist exclusively in paper format. In practice, the representation of a tunnel consists of a significant number of documents in various formats that are then used in different ways depending on requirements.



2 Architecture de l'IoT (A : trois niveaux) (B : cinq niveaux)
Architecture of IoT (A: three layers) (B: five layers)

Crédit/credit: Journal of Electrical and Computer Engineering Volume 2017, Article ID 9324035, 25 pages · <https://doi.org/10.1155/2017/9324035>



Crédit/credit: Lombardi SA

3 *BIM et IoT appliqué à la gestion du cycle de vie du tunnel*
BIM and IoT for tunneling life cycle management

finale, en passant par les opérations de maintenance. En ce qui concerne la gestion et la maintenance des installations, le modèle BIM peut être étendu, pendant les phases de construction, à toutes les informations pertinentes sur les installations, les composants et les systèmes d'exploitation et de sécurité. De cette façon, il est donc possible de créer le jumeau numérique de l'objet qui peut être utilisé pour les activités de gestion, de formation, d'inspection et de maintenance.

1.6 Evolution des véhicules

L'évolution des véhicules pour le transport de marchandises et de personnes est un sujet d'actualité qui générera à court et à moyen termes des changements importants dans la mobilité. Ces dernières années, la technologie a permis une réduction considérable des émissions polluantes des véhicules, l'objectif clairement identifié à terme étant d'atteindre globalement le zéro émission pour tous les véhicules en circulation. En ce qui concerne le tunnel, ce changement impliquera une modification au niveau de la ventilation sanitaire et des différents capteurs de la qualité de l'air. En plus, en cas d'évènement, les nouveaux véhicules se comportent de manière différente par rapport aux véhicules traditionnels à moteur à combustion, tandis que l'évolution technologique des batteries ou des nouveaux combustibles mène vraisemblablement à une augmentation de l'énergie potentielle des véhicules en transit et ainsi à une gestion différente des installations, ainsi que des stratégies d'intervention des secours en cas d'incendie.

Autre aspect fondamental en lien avec l'évolution technologique des véhicules : l'automatisation de la conduite. Selon toute attente, le niveau maximum, sans conducteur, devrait être atteint avant 2050 grâce à un guidage complètement autonome. L'impact sur la sécurité à l'intérieur d'un tunnel est très important. Il sera possible, d'un côté, d'éliminer l'erreur humaine en conduite et d'un autre côté, d'évacuer rapidement un tunnel en toute sécurité en cas de problème survenu en son sein. A ce sujet, quelques points de réflexion sont à soulever :

The evolution of digitisation has meant that it is increasingly common to use the "Building Information Modelling" (BIM) method within the context of design. This is a shared knowledge resource for information on a structure and represents a reliable basis for decisions throughout its life cycle – from the initial design and detailed development to implementation, maintenance and, ultimately, demolition. As for the management and maintenance of the installations, the BIM model may be extended during the object's construction phases to include all relevant information on the installations, components, and operating and security systems. It is therefore possible to create an object's digital twin, which can be used for management, training, inspection and maintenance activities.

It is therefore possible to create an object's digital twin, which can be used for management, training, inspection and maintenance activities.

1.6 Evolution of Vehicles

The evolution of vehicles for transporting goods and people is a topical subject that will give rise to significant changes in mobility over the short and medium term. Over the past few years, technology has facilitated a considerable reduction in harmful vehicle emissions and there is a clear prospect of ultimately achieving zero emissions for all vehicles in circulation. Regarding the tunnel, this change will require the modification of sanitary ventilation and various air quality sensors. In addition, the new vehicles behave in a different way to traditional combustion engine vehicles in the event of an incident, and the technological evolution of batteries and new fuels will likely lead to an increase in the potential energy of vehicles in transit and thus a different approach to managing the installations and response strategies of emergency services in the event of a fire.

Another central aspect associated with the technological evolution of vehicles concerns the level of automation in assisted driving. Here, we expect to reach the maximum level with completely autonomous guidance without a driver by 2050. The impact on safety inside the tunnel is significant. On the one hand, it is possible to eliminate human error while driving. On the other, it will be possible to evacuate the tunnel quickly and safely if a problem occurs within it. Several considerations can be raised in this respect:

- Is it possible to equip the tunnel in a way that increases the effectiveness of assisted-driving systems (for level-four automation in particular)?
- Once all vehicles are fitted with autonomous driving systems, will it be possible to dispense with or reduce certain installations within the tunnel?

- Est-il possible d'équiper un tunnel de manière à augmenter l'efficacité des systèmes d'assistants de conduite (en particulier au niveau 4 d'automatisation) ?
- Une fois tous les véhicules équipés de systèmes de conduite autonome, est-il possible de supprimer ou réduire certaines installations à l'intérieur du tunnel ?

Il est certain que le changement profond de la mobilité avec un système complètement autonome ne sera pas réalisé dans un futur immédiat. Nous ne serons donc que progressivement confrontés à ces évolutions dans les années à venir, notamment sur le plan de la maintenance, ainsi que sur celui des équipements d'exploitation et de sécurité.

2 Gestion du cycle de vie du tunnel

La disponibilité générale d'un tunnel dépend de plusieurs facteurs. Dans certains cas, un manque de disponibilité peut mener à une interruption temporaire de l'exploitation. Les équipements électromécaniques ont peu d'effet sur la durée de vie globale d'un ouvrage, mais la gestion correcte de ces installations peut améliorer la gestion au jour le jour, augmenter le niveau de sécurité et limiter au minimum les fermetures d'ouvrages. La configuration et l'efficacité des équipements peuvent en outre permettre une utilisation plus efficace et durable d'un tunnel, grâce à des équipements pouvant être modifiés en fonction d'une analyse attentive de l'état général de l'ouvrage.

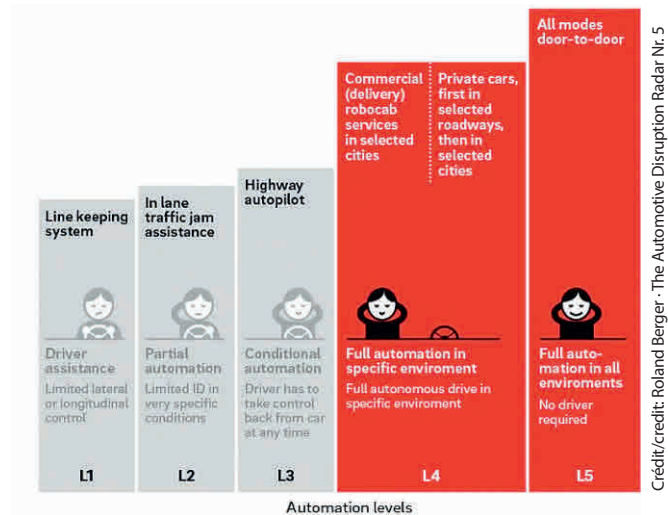
Par rapport au passé, on dispose aujourd'hui de beaucoup de données issues de différentes sources qui déterminent les paramètres fonctionnels d'un ouvrage. L'enjeu est donc de trouver une plateforme (middleware) sur laquelle ces données pourraient converger et pour laquelle il serait possible d'extrapoler les informations nécessaires au moyen d'applications adaptées (démarche prédictive de la maintenance).

La figure suivante présente une plateforme (middleware) qui récolte toutes les données des différentes sources et les met à disposition des applications grâce à diverses fonctionnalités.

2.1 Données sources

Principales informations pouvant converger vers la plateforme dite middleware (liste non exhaustive) :

- Données de tous les appareils installés dans le tunnel, capteurs et actionneurs, généralement dénommés « hardware »,
- Modèle BIM de l'infrastructure qui, outre l'information constructive, contient aussi les composants « hardware »,
- Modèle RAMS (*Reliability, Availability, Maintainability and Safety*) qui définit les paramètres principaux liés à l'état des équipements en ce qui concerne la fiabilité, la disponibilité, la maintenabilité et le degré de sécurité,
- Données qui proviennent des inspections et de l'état des composants,
- Retour d'information des maintenances exécutées (utilisation d'un système de type GMAO, soit Gestion de la maintenance assistée par ordinateur),



4 Système d'aide à la conduite (ADAS)
Advanced Driver-Assistance Systems (ADAS)

It is clear that a major change in mobility towards a completely autonomous system will not happen in the immediate future. We will therefore face these developments and the associated maintenance of the tunnels and their operating and safety equipment progressively over the years to come.

2 Management of the Tunnel's Life Cycle

The overall availability of the tunnel depends on a number of factors and, in specific cases, a lack of availability could lead to a temporary interruption of operation. The electro-mechanical equipment has little effect on the overall service life of a structure, but the correct management of these installations can improve day-to-day management, increase safety levels and limit facility closures. Moreover, the configuration and efficiency of the equipment facilitates the more efficient and sustainable use of a tunnel, with equipment that can be modified depending on a careful analysis of the general state of the construction.

Compared to the past, we now have a lot of data originating from various sources that determine the functional parameters of a structure. The challenge is therefore to find a platform (middleware) for data convergence where it would be possible to extrapolate the required information using adapted applications (predictive maintenance approach).

In the following illustration, a platform (middleware) is shown that collects all data from various sources and makes them available to applications with a range of functionalities.

2.1 Source Data

Primarily, the following information (non-exhaustive list) can converge within the platform (middleware):

- Data from all devices installed in the tunnel, sensors and actuators, generally referred to as hardware.
- BIM model of the infrastructure that, aside from construction information, also contains hardware components.

- Modèle relatif aux utilisateurs,
- Ressources à disposition pour toutes les activités de gestion et de maintenance de l'œuvre.

2.2 Plateforme de base (middleware) pour la gestion des données

Les projets informatiques présentent un risque très élevé de connaître un retard voire un échec de l'atteinte des objectifs prédéfinis. La mise en œuvre d'une plateforme de gestion des données requiert donc de s'appuyer sur des modèles existants. Ces derniers, en constante évolution, peuvent être étendus, améliorés et rendus plus efficaces sans remettre nécessairement en question les choix issus de phases préalables. Aujourd'hui, on fait référence à ces plateformes de manière générique sous l'appellation « Internet des objets ». Ces plateformes ont toutes les caractéristiques de base pour la mise en œuvre d'un instrument de gestion d'un tunnel, d'un tronçon ou d'un réseau de communication entier :

- Banque de données qui peut contenir un nombre illimité d'informations de différents types (données, documents, images, vidéos...),
- Accès très rapide aux données,
- Possibilité d'étendre les informations issues de différentes données sans compromettre les données existantes et sans devoir reconfigurer la plateforme.

En général, il est nécessaire de pouvoir disposer sans restriction particulière des données présentes sur la plateforme, en étant conscient que le nombre et la typologie des informations changeront au fil du temps en fonction des diverses évolutions technologiques. Ce type de plateforme permet ainsi de recourir à un logiciel sans devoir nécessairement prévoir, au moment de la création, les possibles utilisations futures d'informations, en se concentrant sur la disponibilité et les besoins actuels. Une telle démarche est de nature à ne pas générer d'obstacles pour une évolution future des applications.

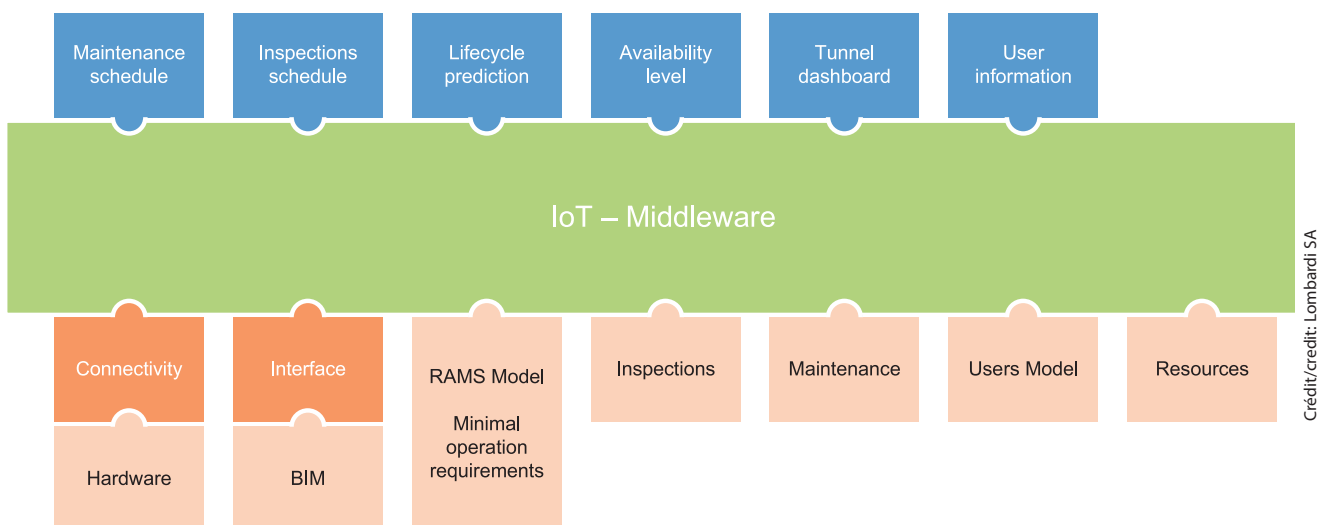
- RAMS model (reliability, availability, maintainability and safety) defining the main parameters associated with the condition of the equipment when it comes to its reliability, availability, maintainability and degree of safety.
- Data originating from inspections and the condition of components.
- Feedback once maintenance has been conducted (use of a CMMS-type system – computerised maintenance management system).
- User model.
- Resources available for any management and maintenance activity for the construction.

2.2 Basic Platform (Middleware) for Data Management

Within IT projects, there is a very high risk that the predefined objectives will not be achieved or that there will simply be a delay. To implement a data management platform, it is therefore necessary to refer to existing models that are undergoing development and that can be expanded, improved and made more efficient without giving up what has already been implemented during previous phases. Today, we refer to these platforms in general terms as an "Internet of Things". These platforms all have the basic characteristics for implementing a tool to manage a tunnel, a section or a full communication network:

- A database that can hold an unlimited number of different information types (data, documents, images, videos, etc.).
- Quick access to data.
- The possibility of expanding the information contained within the various data without compromising the existing data and without having to reconfigure the platform.

Generally speaking, it is necessary to have access to the data held on the platform without special restrictions while bearing in mind that the quantity and typology of the information will change over time depending on various technologic-



Crédit/credit: Lombardi SA

5 Exemple d'un modèle IoT pour tunnel
Example of an IoT model for tunnels

2.3 Applications

Les applications accèdent aux données disponibles sur la plateforme et codifient les informations nécessaires au gestionnaire, ainsi qu'au propriétaire de l'infrastructure pour l'administration globale du tunnel. Les applications peuvent être modifiées et étendues selon les besoins, tandis que de nouvelles applications peuvent être introduites sur la même plateforme de manière complètement indépendante. Ces applications peuvent comprendre les fonctionnalités suivantes (liste non exhaustive) :

- Support de la maintenance, définition du calendrier des interventions, gestion des pièces de rechange, etc.,
- Planification des inspections,
- Prévission et planification des cycles de vie pour les diverses parties de l'installation,
- Niveau de disponibilité constamment mis à jour,
- Niveau de sûreté de fonctionnement,
- Tableau de bord permettant un accès rapide et complet à toutes les informations liées au tunnel,
- Eventuelle application permettant de fournir des informations aux utilisateurs.

3 Cycle de vie

Le cycle de vie d'un tunnel est généralement lié à la durée de vie de l'infrastructure de génie civil. Durant cette période (qui peut être considérée comme allant jusqu'à 100 ans), les équipements électromécaniques, qui ont un cycle de vie moyen de 20 ans, requièrent plusieurs interventions de rénovation, remplacement ou renouvellement. La maintenance préventive permet de prolonger la durée de vie et de garantir un fonctionnement continu, mais elle atteint ses limites dès lors que certains composants ont définitivement atteint la fin de leur cycle.

L'ingénierie fait appel à des modèles mathématiques pour déterminer les paramètres liés au cycle de vie d'un système. Ces modèles sont utilisés principalement pour la conception, mais aussi éventuellement a posteriori pour vérifier de manière continue que le système conserve ses caractéristiques au fil du temps. Il existe plusieurs approches, dont la plus connue est le RAMS (*Reliability, Availability, Maintainability and Safety*).

3.1 Analyse RAMS

L'acronyme RAMS regroupe les termes pertinents pour la caractérisation d'un système et sa fonctionnalité.

La fiabilité est définie comme la probabilité qu'un composant ou système exécute sa fonction attendue pour une durée déterminée, pourvu qu'il soit utilisé dans des conditions d'exploitation définies. C'est donc la probabilité qu'il ne subisse pas de défaillance au fil du temps. La fiabilité est souvent corrélée à la qualité d'un produit.

La disponibilité est définie comme la probabilité pour un composant ou un système d'exécuter sa fonction à un mo-

al developments. This type of platform thus facilitates the implementation of software without necessarily having to predict future uses of information during creation that are unknown at that point, with current availability and needs being the focus. This kind of approach is designed to avoid generating obstacles for the future evolution of applications.

2.3 Applications

The applications access the data stored in the middleware and codify the information necessary for the manager and owner of the infrastructure for the overall administration of the tunnel. The applications can be modified and expanded depending on requirements, and new applications can be implemented on the same platform in a fully independent manner. These applications may include the following functionalities (non-exhaustive list):

- Supporting maintenance, scheduling of servicing call-outs, management of replacement parts, etc.
- Inspection planning.
- Prediction and planning of life cycles and various sections of the installation.
- Availability level constantly updated.
- Operational reliability level.
- Dashboard facilitating quick and complete access to all information related to the tunnel.
- Possible application allowing the provision of information to users.

3 Life Cycle

A tunnel's life cycle is generally associated with the service life of the construction engineering infrastructure. During this time (which can be considered as lasting up to 100 years), the electromechanical equipment, which has an average life cycle of 20 years, requires refurbishment, rejuvenation and replacement work on several occasions. Preventive maintenance facilitates the extension of the service life and guarantees ongoing operation, but this is limited by specific components having conclusively reached the end of their service life.

In engineering, mathematical models are used to determine the parameters associated with a system's life cycle. These models are primarily used for design, but they can continue to be used to check on an ongoing basis that the system maintains its characteristics over time. Several approaches exist; the best known of these is RAMS (reliability, availability, maintainability and safety).

3.1 RAMS Analysis

The abbreviation RAMS combines the key terms that characterise a system and its functionality.

Reliability is defined as the probability that a component or system will carry out its required function for a specified time provided that it is used within defined operational conditions. This is therefore the probability that it will not be

ment spécifique, pourvu qu'il soit utilisé dans des conditions d'exploitation définies.

La maintenabilité est définie comme la probabilité pour un composant ou un système d'être remis en service ou réparé dans un état précis dans un temps défini, pourvu que la maintenance ait été exécutée en respectant les procédures prescrites.

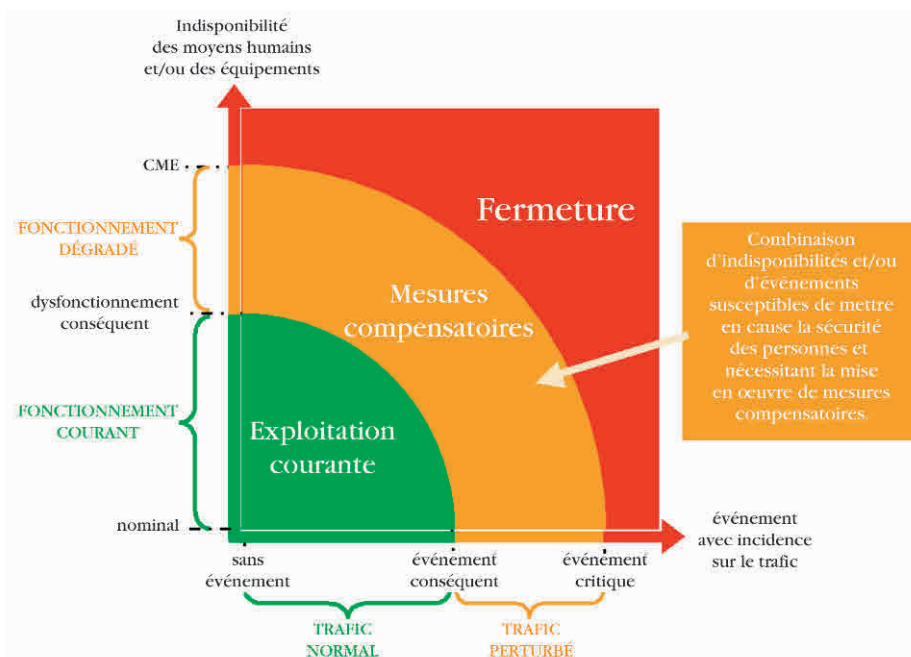
En ce qui concerne la sécurité, il s'agit de calculer, à l'aide d'une analyse de risques, la probabilité de causer des dommages aux personnes et structures.

En général, il est question d'indicateurs statistiques qui donnent des valeurs de probabilité par rapport à des valeurs minimales définies à respecter absolument. En cas de non-respect de ces valeurs limites, il est possible d'introduire des mesures spécifiques qui auront un impact positif sur le calcul, rendant les valeurs acceptables.

3.2 Conditions minimales d'exploitation

Les conditions minimales d'exploitation définissent les conditions indispensables à l'utilisation normale d'un tunnel, mais aussi les restrictions éventuelles à son utilisation dans le cas où les conditions optimales ne sont pas respectées, ainsi que les délais applicables à la résolution des anomalies. Dans ce cas aussi, il s'agit d'une analyse statistique qui limite dans le temps un manque de disponibilité d'un composant ou d'un système. Dans des cas extrêmes, une perturbation pourrait créer un niveau de risque trop élevé pour permettre l'utilisation du tunnel, entraînant une fermeture temporaire avec tous les désagréments qui en découlent. Il est donc

6 *Différentes situations d'exploitation - Guide des dossiers de sécurité des tunnels routiers Fascicule 5, Le Plan d'Intervention et de Sécurité (PIS)*
Different operating situations - Guide to Road Tunnel Safety Documentation Booklet 5, Emergency Response Plans



Crédit/credit: Tunnel Study Centre (CETU)

subject to faults over time. Reliability is often associated with the quality of a product.

Availability is defined as the probability that a component or system will carry out its function at a given moment provided that it is used within defined operational conditions.

Maintainability is defined as the probability that a component or system will be able to be made operational again or repaired to a specified condition within a defined time frame provided that maintenance has been conducted in line with prescribed procedures.

As far as safety is concerned, a risk assessment helps to calculate the probability of harming people and structures.

In general, this involves statistical indicators that provide probability values for which minimum threshold values are defined that must always be respected. In the event that these threshold values are not respected, it is possible to introduce specific measures that will have a positive impact on the calculation, making these values acceptable.

3.2 Minimum Operating Conditions

Minimum operating conditions define the minimum conditions with which a tunnel can be used, possible usage restrictions should optimal conditions not be respected and time limits within which anomalies must be corrected. Here, too, this involves a statistical analysis that limits the amount of time a component or system is unavailable. In extreme cases, a disruption could trigger a risk level that is too high to allow the tunnel

to be used, forcing a temporary closure and bringing with it all the associated inconveniences. A tunnel may thus be allocated a nominal operational level, deteriorated levels and a closure level.

4 Conclusions

The tunnel is a special environment where an incident such as a fire can suddenly endanger the lives of users and the integrity of the structure. The human factor remains the element that is the most difficult to control, while electromechanical devices have benefited from ongoing and favourable technological development. Today's devices and systems offer increased availability thanks to the introduction of redundancy concepts and deteriorated functionality, and contribute to a safer, less-interrupted man-

possible d'associer à un tunnel un niveau d'exploitation normal, des niveaux dégradés et un niveau de fermeture.

4 Conclusions

Le tunnel est un environnement particulier où un événement de type incendie peut soudainement mettre en danger la vie de ses utilisateurs et l'intégrité de sa structure. Le facteur humain reste encore aujourd'hui l'élément le plus difficile à contrôler alors que les appareils électromécaniques ont bénéficié de manière continue d'une évolution technologique favorable. Les appareils et systèmes d'aujourd'hui possèdent une disponibilité accrue grâce à l'introduction de concepts de redondance et de fonctionnalité dégradée, contribuant ainsi à une gestion plus continue et sûre des tunnels. Au niveau opérationnel, il est possible de réduire le risque d'incendie en limitant le nombre de passages à travers un tunnel (typiquement pour les tunnels bidirectionnels) et d'effectuer des contrôles sur les véhicules en transit (typiquement les poids lourds).

Le cycle de vie d'un tunnel ne se limite pas uniquement à la durée de vie de l'infrastructure. Il prend aussi en compte la qualité du service fourni durant la période. Il s'agit donc de pouvoir garantir un niveau correct des valeurs de probabilité qui découlent d'une analyse RAMS, d'inclure les informations collectées lors des opérations d'inspection et de maintenance dans un modèle complet capable de fournir aux différents acteurs impliqués dans la gestion et l'administration de l'œuvre toutes les informations relatives aux programmes de maintenance, de mise à jour ou de remplacement de composants et systèmes, ou encore d'inspection, afin de mieux prévenir globalement l'occurrence de problématiques techniques.

Ces informations et applications doivent faire partie d'une plateforme commune offrant un accès à divers niveaux et de manière uniforme sur la base de ces mêmes informations. La plateforme doit être en mesure d'évoluer en fonction de l'évolution technique des équipements et des utilisateurs, permettant ainsi de suivre les évolutions informatiques utilisant des technologies open source qui ne compromettent pas la portabilité des données et d'éventuelles migrations technologiques. Cette plateforme inclut différents niveaux de spécialisation pour servir à tous, du responsable de la maintenance sur place à l'exploitant du tunnel, en passant par l'opérateur de la salle de commande, l'administrateur de l'infrastructure, le responsable de la sécurité, les planificateurs et les entreprises exécutantes, les mathématiciens et les ingénieurs de sécurité, les informaticiens et les gérants de l'infrastructure IT. La gestion du cycle de vie d'un tunnel ne diffère pas substantiellement de la gestion d'autres types d'ouvrages dans d'autres domaines. Il est donc possible de profiter de l'expérience faite dans d'autres environnements où les gestionnaires ont appliqué les concepts décrits précédemment, par exemple dans la production et la distribution d'électricité (Smart Energy) ou dans le domaine de la production (Smart Manufacturing), pour enfin arriver au Smart Tunnel.

agement of tunnels. At an operational level, it is possible to reduce the risk of fire by limiting the number of trips through a tunnel (typically for bidirectional tunnels) and carrying out checks on vehicles in transit (typically heavy-goods vehicles).

The life cycle of a tunnel is not only limited to its service life, but also considers the quality of service provided during this cycle. It is therefore important to be able to guarantee the correct probability values derived from a RAMS analysis and to include information gained from inspections and maintenance within a comprehensive model that can provide the various stakeholders involved in management and administration with all information related to maintenance programmes, programmes concerned with updates and the replacement of components and systems, inspection programmes, and the overall forecasting of technical problems.

This information and these applications must form part of a communal platform that facilitates uniform access to the various levels based on this same information. The platform must be capable of evolving based on the technical development of equipment and users, meaning that it will be possible to keep up with IT developments employing open-source technologies that do not compromise portability and possible technological migrations. This platform includes various levels of specialisation – from the on-site maintenance supervisor to the control room operator, the infrastructure administrator, the head of security, the tunnel operator, the planners and executing companies, the mathematicians and safety engineers, the computer scientists, and the IT infrastructure managers. The management of a tunnel's life cycle is not substantially different from the management of other types of structure in other fields. It is therefore possible to benefit from experience gained in other environments where managers have applied the concepts described above – in the generation and distribution of electricity (Smart Energy), for example, or in the field of manufacturing (Smart Manufacturing) in order to ultimately arrive at the Smart Tunnel.

Bibliographie/References

- [1] Hindawi
Journal of Electrical and Computer Engineering
Volume 2017, article ID 9324035, 25 pages
<https://doi.org/10.1155/2017/9324035>
- [2] Neil Wilkings
Internet of Things
Bravex Publications; Illustrated Edition (22 December 2019)
- [3] David J. Smith
Reliability, Maintainability and Risk: Practical Methods for Engineers
Butterworth-Heinemann, 10th Edition, 4.12.2021
- [4] Charles E. Ebeling
An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering
Waveland Pr Inc; Reprint Edition (11 April 2019)

Robert Binder, Ing. HTL, biprotec GmbH, Weistrach/AT

Querschlags-Wandmodul für Verkehrstunnel und die Auswirkungen auf den Unterhalt

Die Querschläge von zweiröhri gen Verkehrstunneln sind konventionell durch Ort betonwände mit eingebauten Fluchttüren zum Fahrtunnel abgetrennt. Ein neues Baukonzept mit vorgefertigten Wandelementen ermöglicht eine deutliche Bauzeitverkürzung und bietet Vorteile in Betrieb und Instandhaltung.

Cross-Passage Wall Module for Traffic Tunnel and the Effects on Module Maintenance

The cross-passages of traffic twin-tunnels are conventionally separated by cast in-situ concrete walls with built-in emergency doors to the travel tunnel. A new construction concept with prefabricated wall elements allows for a significant shortening of construction time and offers advantages in operation and maintenance.

1 Einleitung

Bei zweiröhri gen Verkehrstunneln sind die Fahrrohre üblicherweise in regelmässigen Abständen mit Querschlägen verbunden. Die Querschläge erfüllen im Wesentlichen zwei Aufgaben:

- Sie erlauben im Ereignisfall den Menschen ein sicheres (rauch- und feuerfreies) Flüchten in die Nachbarröhre.
- Sie bieten Platz für die technische Ausrüstung, die zum sicheren Betreiben der Tunnelanlage notwendig ist, wie zum Beispiel Fernwirktechnik, Telekommunikation, Energieversorgung und Betriebssicherheitsausrüstung.

Um den Raum innerhalb der Querschläge vor den Einwirkungen des Verkehrs in den Haupttunnelröhren zu schützen (Druck, Sog, Schmutz, Feuchtigkeit etc.), müssen alle Querschläge mit Abschlusswänden bzw. Schleusenwänden versehen werden. An den Abschlusswänden sind Notausgangs- oder Technikraumtüren, meist auch Brandschutzklappen und Lüfter montiert. Verschiedene Durchdringungen und Aussparungen ermöglichen die Leitungsführung zwischen Querschlag und Fahrtunnel.

Der Querschlag mit den Abschlusswänden stellt hinsichtlich des Betriebs und der Sicherheit für jeden zweiröhri gen Verkehrstunnel eine zentrale Einheit dar. Dabei sind die Abschlusswände und Notausgangstüren sehr hohen zyklischen aerodynamischen Belastungen ausgesetzt, welche sich aus dem Fahrzeugverkehr innerhalb der Tunnelhaupt röhren ergeben.

2 Standard-Bauverfahren für Querschlags-Abschlusswände

Bis dato wurden die bewehrten Abschlusswände konventionell in Ort beton hergestellt und konstruktiv mit dem beste-

1 Introduction

Twin-tunnels for traffic are usually connected with cross-passages at regular intervals. Essentially, the cross-passages fulfil two tasks:

- In the event of an incident, they allow people to flee safely (without being exposed to smoke and fire) into the neighbouring tunnel.
- They offer space for the technical equipment that is necessary for the safe operation of the tunnel facility, such as supervisory control technology, telecommunication, energy supply and operational safety equipment.

To protect the space inside the cross-passages from the effects of the traffic in the two main tunnels (pressure, suction, dirt, moisture, etc.), all cross-passages must be equipped with end walls or lock walls (bulkheads). Emergency exit and technical room doors, and usually also fire dampers and fans, are mounted on the end walls. Various penetrations and cut-outs allow cables to be run between the cross-passage and both tunnels.

The cross-passage with the technical room doors represents a central unit for every twin-tunnel with regard to operation and safety. In the process, technical room doors and emergency exit doors are exposed to very high cyclical aerodynamic loads, which arise from the vehicle traffic within both main tunnels.

2 Standard Construction Procedure for Cross-Passage End Walls

To date, the proven end walls are conventionally produced in cast in-situ concrete and structurally connected with

Module de paroi pour travers-bancs de tunnels de circulation et les conséquences sur l'entretien

Le nouveau concept de construction pour la réalisation de parois d'extrémité pour travers-bancs à partir d'éléments préfabriqués permet de réduire considérablement les délais d'installation dans les nouvelles constructions et dans la rénovation d'ouvrages existants. Différents systèmes de manipulation et de fixation sont utilisés en fonction de la taille et de la charge de l'élément de paroi. Un jointement dynamiquement très résistant et facilement démontable a été spécialement développé pour les tunnels ferroviaires. En cas de rénovation, cela permet un remplacement sûr avec des durées de fermeture à la circulation limitées. La qualité, la sécurité et la fiabilité se trouvent améliorées par la réduction des interfaces et la plus grande précision des éléments de construction.

Modulo murale per il cunicolo trasversale per la galleria di circolazione ed effetti sulla manutenzione

Il nuovo concetto edile per la realizzazione dei muri di chiusura del cunicolo laterale con elementi prefabbricati permette di accorciare notevolmente i tempi d'installazione nelle nuove costruzioni e nel risanamento delle opere edili esistenti. A seconda delle dimensioni e delle sollecitazioni degli elementi murali sono impiegati diversi sistemi di fissaggio e manipolazione. Per la galleria ferroviaria è stato sviluppato appositamente un collegamento dei giunti con un'alta resistenza alle sollecitazioni, smontabile facilmente. In caso di risanamento, questo garantisce una sostituzione sicura con dei tempi di chiusura brevi. Grazie alla riduzione delle interfacce e alla maggiore precisione dei componenti, la qualità, la sicurezza e l'affidabilità aumentano.

henden Ortbeton-Kreuzgewölbe verbunden (bei zweischaliger Tunnelverkleidung). In einem späteren Arbeitsschritt wurden die Notausgangstüren, die Brandschutzklappen und die technische Ausrüstung an der Abschlusswand installiert. Diese Vorgangsweise hat den Vorteil, dass sämtliche Toleranzen aus dem Rohbau des Querschlagsgewölbes sehr gut aufgenommen werden. Der Übergang bzw. die Fuge zwischen dem Querschlagsgewölbe und der Abschlusswand kann kraftschlüssig und rauchdicht ausgebildet werden.

Der wesentliche Nachteil dieser Vorgangsweise liegt in den nachfolgenden Arbeitsschritten. Die Montage der technischen Ausrüstung, speziell der Notausgangstüren, ist sehr aufwendig, erfolgt unter ergonomisch und sicherheitstechnisch suboptimalen Bedingungen im Tunnel und – aus Platzgründen – seriell. Zudem gilt es, viele Schnittstellen zwischen technischer Ausrüstung und Bauwerk zu koordinieren. Bei langen Tunnelbauwerken führt die An- und Abfahrt zum Montageort – oft mit transportlogistisch bedingten Wartezeiten – zu einer erschreckend geringen Produktivität.

Dasselbe Muster zeigt sich in der Betriebsphase bei der Instandhaltung und beim Tausch von Komponenten: Der hohe Anteil von Nebenzeiten reduziert die Verfügbarkeit des Gesamtbauwerks, die vielen Schnittstellen zwischen Ausrüstung und Bauwerk machen die Instandhaltung aufwendig.

3 Alternatives Bauverfahren

Ein neues Bauverfahren – angelehnt an die Fertigteilkonzepte des Hochbaus – zielt darauf ab, die angeführten Nachteile zu beseitigen. Für die Instandhaltung ergibt sich durch die Nutzung von vorgefertigten Teilen ein neues Werkzeug, das

the existing cast in-situ concrete cross vault (for two-layer lining). In a later work step, the emergency exit doors, the fire dampers and the technical equipment are installed on the end wall. The advantage of this approach is that all tolerances from the tunnel construction of the cross-passage vault are accommodated very well. The transition or the joint between the cross-passage vault and the end wall can be designed so that it is force locking and smoke-tight.

The significant disadvantage of this approach lies in the following work steps. The installation of the technical equipment, specifically the emergency exit doors, is very costly, is done under suboptimal ergonomic and safety conditions in the tunnel and – for space-related reasons – is serial. Furthermore, many interfaces must be coordinated between the technical equipment and the structure. In long tunnels, the journey to and from the installation site – often with waiting times due to transport logistics – results in alarmingly low productivity.

The same pattern is seen in the operation phase during maintenance and when replacing components: the high proportion of non-productive times reduces the availability of the entire structure, and the many interfaces between equipment and structure make maintenance costly.

3 Alternative Construction Method

A new construction method – based on the prefabricated part concepts of civil construction – aims to eliminate the disadvantages listed above. The use of prefabricated parts provides a new maintenance tool that reduces construction time and associated costs when renovating the tunnel.



Quelle/credit: MABA Fertigteileindustrie

1 Typische SFE-Konsole

Typical safety, telecommunications and electrical operating technology console

bei der Tunnelsanierung die Bauzeit und die damit einhergehenden Kosten senkt.

Das Bauprinzip mutet zunächst einfach an: Die Querschlags-Abschlusswand wird als Beton-Fertigteil ausgebildet. Dabei können aufgrund der gegenüber Ortbetonwänden wesentlich geringeren Toleranzen alle funktionsrelevanten Befestigungspunkte, Durchbrüche, Aussparungen usw. in Form und Lage präzise vorgefertigt werden. Die Betonelemente werden anschliessend mit dem technischen Equipment und der Notausgangstüre bestückt und in Betrieb genommen sowie geprüft. Das gesamte fertig vormontierte Element (Querschlags-Wandmodul) wird in den Tunnel verbracht, positioniert und befestigt.

Die Vorteile liegen auf der Hand: Ein Grossteil der Montage- und Installationsarbeit wird vom Tunnel in eine Werkhalle verlagert. Das macht die Arbeit effizienter, sicherer und qualitativ besser. Die Installationszeit im Tunnel ist kurz, das senkt die Gesamtbauphase. Im Sanierungsfall steht das Bauwerk schneller wieder dem Verkehr zur Verfügung.

Der Einbau der Querschlags-Wandmodule kann zu einem sehr späten Zeitpunkt erfolgen. Das minimiert die Gefahr von Bauschäden an der technischen Ausrüstung während der Bauphase.

Um bauglogistische Abhängigkeiten zu reduzieren, ist es vorteilhaft, für die Rohr- und Kabelführung zwischen Querschlag und Fahrtunnel eine fest montierte Konsole (Bild 1) vorzusehen. Das ermöglicht die Installation von Kabeln, Leitungen und Bauprovisorien unabhängig vom Einbau oder Rückbau des Wandmoduls. Solch ein im Firstbereich montiertes Fertigteil (SFE-Konsole) bietet ausserdem einen Ankerpunkt für die temporäre Befestigung des Querschlags-Wandmoduls während des Installationsprozesses.

Umgesetzt wurde diese Variante bereits im Follo-Line-Projekt (Oslo). Die SFE-Konsole im oberen Viertel der Öffnung weist Durchbrüche für Signal- und Telekomkabel sowie einen Durchbruch für die Lüftungsklappe auf.

The construction principle seems simple at first: the cross-passage end wall is designed as a prefabricated concrete segment. In the process, due to the significantly lower tolerances compared to cast-in-situ concrete walls, the shape and position of all function-relevant attachment points, breakthroughs, cutouts, etc. can be precisely prefabricated. The concrete elements are then equipped with the technical equipment and the emergency exit doors, put into operation, and tested. The entire fully preassembled element (cross-passage wall module) is brought into the tunnel, positioned and installed.

The advantages are obvious: a large proportion of the mounting and installation work is moved from the tunnel to a workshop. This makes the work more efficient and safer, and improves the quality. The installation in the tunnel is brief, which lowers the overall construction time. In case of renovation, the structure can be opened to traffic again faster.

The cross-passage wall modules can be installed at a very late point in time. This minimises the risk of the technical equipment suffering structural damage during the construction phase.

To reduce construction logistics dependencies, it is advantageous to plan for a permanently mounted console (Fig. 1) for the pipe and cable routing between the cross-passage and the tunnels. This allows for the installation of cables, lines and interim solutions independently of the installation or decommissioning of the wall module. Such a prefabricated element (safety, telecommunications and electrical operating technology console) mounted in the roof area also offers an anchor point for the temporary attachment of the cross-passage module during the installation process.

This variant has already been implemented in the Follo Line Project (Oslo). The safety, telecommunications and electrical operating technology console in the top quarter of the cross-passage has openings for signal and telecom cables, as well as an opening for the ventilation flap.



Quelle/credit: biprotec GmbH

2 Wandelement mit Notausgangstüre – Konsolenbefestigung
Wall element with emergency exit door – console mounting

Querschlags-Wandmodul für Verkehrstunnel und die Auswirkungen auf den Unterhalt

Das darunter liegende Wandelement samt Notausgangstüre wurde fertig vormontiert eingebaut und mit Konsolen und korrosionsfesten Ankerstangen im Kreuzungsblock befestigt (Bild 2). Die Dimensionierung der Elemente erfolgte auf 10 Millionen Lastwechsel bei einem Differenzdruck von ± 5 kPa.

Der verbleibende Spalt zum Kreuzungsblock ist als Brandschutzfuge ausgebildet.

3.1 Technische Herausforderungen

Diese liegen zum einen in der Manipulation des schweren Betonelements auf engem Raum und zum anderen in der Befestigung des Querschlags-Wandmoduls im Gewölbe.

Kleinere Module (bis ca. 8 m² Wandfläche) können mit konventionellen Hebemitteln und einfachen Vorrichtungen versetzt werden (Bild 3). Die Befestigung des Elements im Kreuzungsblock ist anschliessend auch noch konventionell – mit Dübeln und Konsolen – auszuführen.

Die Manipulation grosser Elemente erfordert eine eigene Gerätschaft, die in der Lage ist, bis zu 10 t schwere Wandmodule zu neigen und mit einer Toleranz von < 10 mm im Kreuzungsblock zu positionieren.

Die Befestigung eines grösseren Querschlags-Wandmoduls verdient speziell bei Bahntunneln besondere Beachtung. Je nach Tunnelquerschnitt und Fahrgeschwindigkeit wirkt

The wall element with the emergency exit door positioned below the top console was installed fully preassembled and attached in the collar with corrosion-resistant anchor rods (Fig. 2). The dimensioning of the elements was done on 10 million load reversals at a differential pressure of ± 5 kPa.

The remaining gap to the collar is designed as a fire protection joint.

3.1 Technical Challenges

These lie, on the one hand, in the handling of the heavy concrete element in a narrow space and on the other in the fixation of this wall module in the cross-passage.

Smaller modules (up to approx. 8 m² wall area) can be moved with conventional lifting gear and simple devices (Fig. 3). The fixation of the element in the collar must then also be performed conventionally – with plugs and consoles.

The handling of large elements requires specific equipment that can tilt wall modules weighing up to 10 t and position them in the cross-passage exits with a tolerance of < 10 mm.

The fixation of a larger cross-passage wall module deserves special consideration, particularly in train tunnels. Depending on the tunnel cross-section and travel speed, a characteristic area load of 5 to 8 kN/m² acts on the end wall and the emergency exit doors. The effect is abrupt and the direction changes several times each time a train passes through.

At these high dynamic loads, the classic double fixation is no longer justifiable technically and economically.

4 Feasibility and Developments for the Semmering Base Tunnel

The double fixation variant proved to be insufficient in a feasibility study for use in the Semmering Base Tunnel of the ÖBB (Austrian Federal Railways) network. The ÖBB then initiated a research project which sought, among other objectives, to develop and validate an unproven shear joint for the fixation of the cross-passage module.

In the course of the R & D project, two solutions for the unproven shear joint were developed and analysed: a hose injection sealing system with hydraulic mortar and an adhesive system with epoxy resin bound mortar. The geometry of the unproven shear joint was determined on the basis of numerical calculations for power transmission and for the distribution of forces in the shear joint. A joint gap of 3 cm and a groove depth of 2 cm were defined for the planned construction of the shear joint. Additionally, a uniform geometry needed to be found for both variants being analysed. As a result, the joint can be formed in the cast in-situ concrete shell of the collar a few years before the installation, independently of the variant that is finally used.



Quelle/credit: biprotec GmbH

3 Installation eines kleineren Wandmoduls
Installation of a smaller wall module



Quelle/credit: Abschlussbericht FH Kärnten / ÖBB

4 Schnitt durch eine Fuge mit Schlauch-Verpresssystem
Sectional view through a joint with hose injection sealing system

eine charakteristische Flächenlast von 5 bis 8 kN/m² auf die Abschlusswand und die Notausgangstüre. Die Einwirkung erfolgt sprungartig und bei jeder Zugsdurchfahrt in mehrmals wechselnder Richtung.

Die klassische Dübelbefestigung ist bei diesen hohen dynamischen Lasten technisch und wirtschaftlich nicht mehr vertretbar.

4 Machbarkeit und Entwicklungen für den Semmering-Basistunnel

Im Zuge einer Machbarkeitsstudie für den Einsatz im Semmering-Basistunnel des ÖBB-Streckennetzes erwies sich die Variante Dübelbefestigung als unzureichend. Die ÖBB initiierte daraufhin ein Forschungsprojekt, das unter anderem die Entwicklung und Validierung einer unbewehrten Schubfuge zur Befestigung des Querschlags-Wandmoduls zum Ziel hatte.

Im Zuge des F&E-Projekts wurden zwei Lösungen für die unbewehrte Schubfuge (ein Schlauch-Verpresssystem mit hydraulischem Mörtel und ein Klebesystem mit Epoxidharzgebundenem Mörtel) entwickelt und untersucht. Die Geometrie der unbewehrten Schubfuge wurde auf der Grundlage numerischer Berechnungen zur Kraftübertragung und zum Kraftfluss in der Schubfuge ermittelt. Für die planmäßige Ausführung der Schubfuge wurde ein Fugenspalt von 3 cm und eine Nuttiefe von 2 cm definiert. Ausserdem sollte eine einheitliche Geometrie für beide zur Untersuchung stehenden Varianten gefunden werden. Die Ausbildung der Fuge in der Ortbetonschale des Kreuzungsblocks kann dadurch bereits Jahre vor der Installation erfolgen, unabhängig von der letztendlich eingesetzten Variante.

4.1 Schlauch-Verpresssystem

Das Prinzip beruht auf einem gefalteten, halbdurchlässigen Gewebeslauch, der in die Nut der Wandscheibe eingelegt wird. Die Installation erfolgt durch Verpressen eines hydraulisch bindenden Mörtels, der den halbdurchlässigen

4.1 Hose Injection Sealing System

The principle is based on a folded, semi-permeable fabric hose which is inserted in the groove of the prefabricated end wall modules. The installation is done by injecting a hydraulically binding mortar into the hose, which unfolds the semi-permeable hose in the joint and clings to the joint geometry. The hardening of the mortar creates a shaped part with high stability, which diverts the shearing forces arising from the wall module into the collar (Fig. 4).

The principle is known from civil engineering and has proven its worth. It forms a pure interlocking connection between end wall and structure and can therefore be deconstructed easily and without any risk of damaging the joint.

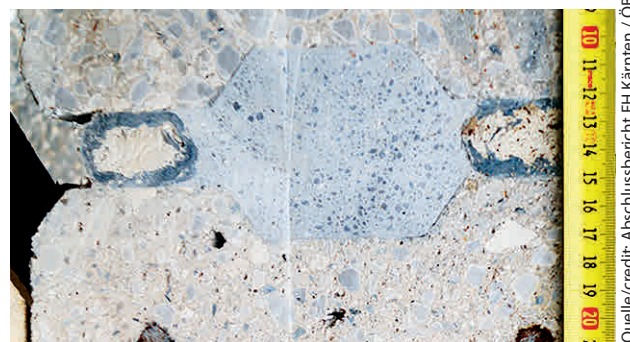
4.2 Adhesive System

The adhesive system forms a shaped part that is firmly connected with the prefabricated wall module and that engages in the groove in the collar without play. To this end, in a first step a joint seal is applied on both sides with a mineral wool cord soaked in epoxy resin. In addition to waterproofing during the subsequent injection, this also serves later as fire-resistant sealing. The epoxy resin mortar is pressed in with comparatively low pressure from top to bottom and completely fills the joint (Fig. 5).

The usable life and setting time is adjustable over a wide range, so that the full load-bearing capacity of the shear joint is reached in a short time even at low processing temperatures. This is particularly advantageous in case of a renovation. However, the use of the adhesive system requires a defined separation point between shear wall and structure. This is created by a silicone-based coat of paint on the vault side. This makes it possible to dismantle the cross-passage wall module without damaging the vault area. As a result, a new wall module can be installed immediately thereafter.

5 Experimental Verification

The suitability of both shear joint solutions has been demonstrated in numerous experiments. In addition to installation and fire experiments, the series of experiments included static and dynamic tests in particular.



Quelle/credit: Abschlussbericht FH Kärnten / ÖBB

5 Schnitt durch eine Fuge mit Klebesystem
Sectional view through a joint with adhesive system

Querschlags-Wandmodul für Verkehrstunnel und die Auswirkungen auf den Unterhalt

Schlauch in der Fuge entfaltet und an die Fugegeometrie anschmiegt. Nach dem Aushärten des Mörtels entsteht dadurch ein Formstück mit hoher Festigkeit, das die auftretenden Schubkräfte vom Wandmodul in den Kreuzungsblock ableitet (Bild 4).

Das Prinzip ist aus dem Tiefbau bekannt und hat sich bewährt. Es bildet eine rein formschlüssige Verbindung zwischen Abschlusswand und Bauwerk aus und kann daher einfach und ohne Beschädigungsgefahr für die Fuge rückgebaut werden.

4.2 Klebesystem

Das Klebesystem bildet ein mit der Wandscheibe fest verbundenen Formstück aus, welches spielfrei in die Nut im Kreuzungsblock eingreift. Dazu wird in einem ersten Schritt beidseitig eine Fugenabdichtung mit einer in Epoxidharz getränkten Steinwollschnur angebracht. Diese dient neben der Abdichtung beim anschließenden Verpressen später auch als Brandabschottung. Der Epoxidharz-Mörtel wird mit vergleichsweise geringem Druck von unten nach oben eingepresst und füllt die Fuge vollständig (Bild 5).

Die Topf- und Aushärtezeit der Harze ist über weite Bereiche einstellbar, sodass auch bei tiefer Verarbeitungstemperatur in kurzer Zeit die volle Tragfähigkeit der Schubfuge erreicht wird. Das ist insbesondere im Sanierungsfall vorteilhaft. Der Einsatz eines Klebesystems erfordert aber eine definierte Trennstelle zwischen Wandscheibe und Bauwerk. Diese wird durch einen silikonbasierten Anstrich gewölbeseitig hergestellt. Dadurch ist es möglich, das Querschlags-Wandmodul ohne Beschädigung des Gewölbereichs zu demontieren. Ein neues Wandmodul kann somit unmittelbar danach installiert werden.

5 Versuchstechnische Nachweisführung

In zahlreichen Versuchen wurde die Eignung der beiden Schubfugenlösungen nachgewiesen. Die Versuchsreihe umfasste neben Installations- und Brandversuchen vor allem statische und dynamische Prüfungen.

Dazu wurden Prüfkörper mit 250 mm Länge und den nominellen Fugenabmessungen angefertigt und Belastungsversuchen unterzogen. Zusätzliche Prüflinge mit vergrößerter und versetzter Fuge bildeten den Einfluss der Bautoleranzen ab und wurden für statische Vergleichsprüfungen herangezogen.

Bei den statischen Versuchen erfolgte die Lastaufbringung monoton und weggesteuert (Bild 6). Die Aufzeichnung von Verformungen, Rissentwicklung, Rissbreiten und massgebenden Rissen wurde mithilfe fotogrammetrischer Messtechnik und des Digital-Image-Correlation-(DIC-)Systems durchgeführt.

Die zyklische Lastaufbringung bei den dynamischen Versuchen erfolgte kraftgesteuert in Form eines sinusförmigen

To this end, test specimens with a length of 250 mm and the nominal joint dimensions were built and subjected to load tests. Additional test items with an enlarged and displaced joint reproduced the influence of the dimensional tolerance and were used for static comparison tests.

For the static experiments, the load was applied evenly and in a strain-controlled way (Fig. 6). Deformations, fracture development, fracture widths and relevant fractures were recorded using photogrammetric measuring technology and the digital image correlation (DIC) system.

The cyclical load application in the dynamic experiments was done with stress control in the form of a sinusoidal progression. The applied load and the displacement of the cylinder were determined using the sensors integrated in the cylinder. For each experiment, the deformations and the fracture pattern (Fig. 7) were determined at the beginning, several times during the experiment, and photogrammetrically at the end.

The experiments were conducted at different load levels until component failure (maximum up to 2 million load reversals).



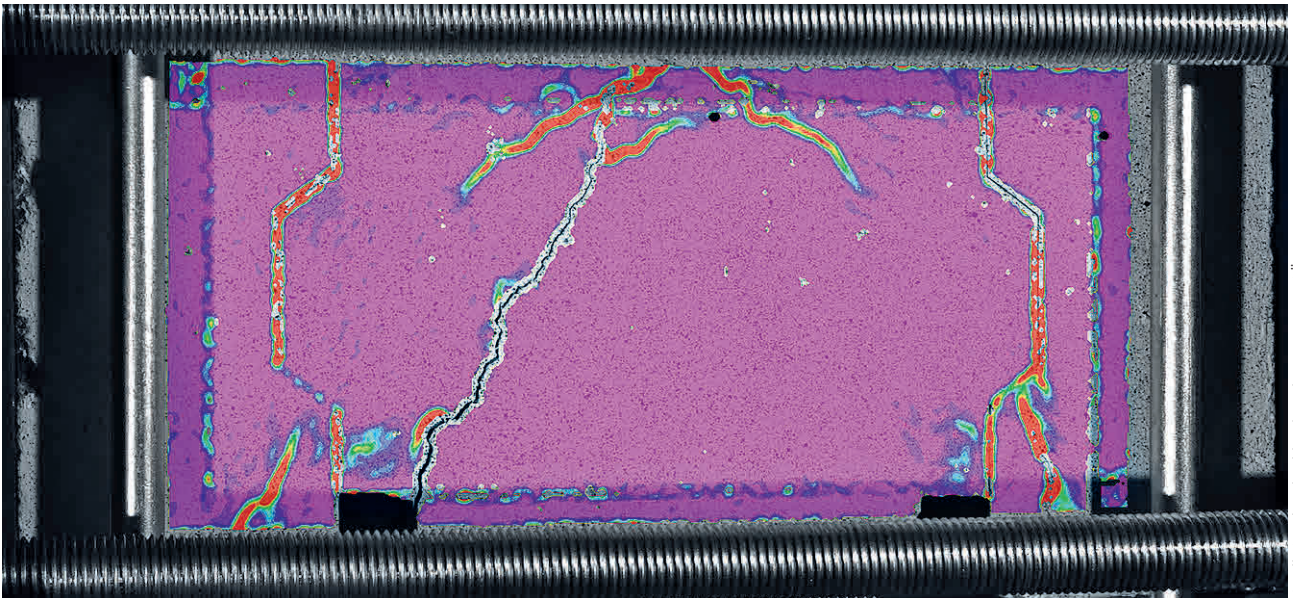
6 Versuchsaufbau für statische und dynamische Belastungsversuche

Experimental set-up for static and dynamic load experiments

In summary, both tested systems reached the required static and dynamic load-bearing capacity with high reserves. As a result, project-specific requirements can be considered when selecting a system.

6 Installation Simulation and Erector

The construction method, including decommissioning of the site, must take into account the framework conditions and local circumstances of the respective project. Based on the standard construction tolerances of the cast in-situ concrete collar, the wall modules are created based on the effective actual mass. Laser scans offer an exact three-dimensional mapping of the installation site, on the



Quelle/credit: Abschlussbericht FH Kärnten / ÖBB

7 Typisches Rissbild bei zyklischer Belastung nach 2 Mio. Zyklen
 Typical fracture pattern for cyclical load after 2 million cycles

Verlaufs. Die aufgebrachte Last und die Verschiebung des Zylinders wurden mithilfe der im Zylinder eingebauten Sensorik eruiert. Die Verformungen und das Rissbild (Bild 7) wurden für jeden Versuch am Beginn, mehrere Male während des Versuchs und am Ende fotogrammetrisch bestimmt.

Die Versuche wurden bei unterschiedlichen Lastniveaus bis zum Bauteilversagen (maximal bis 2 Mio. Lastwechsel) gefahren.

Zusammenfassend erreichten beide geprüften Systeme die geforderte statische und dynamische Tragfähigkeit mit hohen Reserven. Bei der Systemauswahl kann dadurch auf projektspezifische Anforderungen Rücksicht genommen werden.

6 Einbausimulation und Manipulator

Das Bauverfahren inklusive Rückbau muss die Rahmenbedingungen und örtlichen Gegebenheiten des jeweiligen Pro-



Quelle/credit: biprotec GmbH

8 Manipulator am Einbauort
 Erector at the point of installation

basis of which the contour formwork of the wall modules is adapted.

The joint tolerances move within a narrow framework, on the one hand to ensure collision-free installation, and on the other to keep the shear joint within the tested range.

The structural implementation in the project is analysed using installation simulations. In a digital twin, the handling and erection possibility of the element is tested and the technical minimum requirements for the erector are determined from this (Fig. 8).

The range of motion includes the tilting of the wall module to 45 degrees to be able to move the block into its installation position and to bring it back into a vertical position for the installation when in position, vertical and horizontal adjustment, and the horizontal movement on rails of the wall-module-erector configuration to move all in the direction of the cross-passage. This allows the flexible positioning of the erector support feet in such a way that no load is put on manhole covers and cable ducts.

For most projects, the logistical specifications and the construction schedule suggest a variant that allows for both a wheel and a rail-bound installation of the cross-passage end walls (Fig. 9). Such a concept is based on a wall-element-erector with an interchangeable frame. This frame can be mounted on any vehicle or structure with container locking in an ISO grid. As a result, even within a building lot the means of transport can be adapted without delay. The actual unloading and shifting operation generally takes less than one hour. As a result, the route into the tunnel is accessible again very quickly, which facilitates logistics planning.

jekts berücksichtigen. Aufgrund der bauüblichen Toleranzen der Ortbeton-Kreuzungsblöcke werden die Wandmodule auf Basis der effektiven Ist-Masse erstellt. Laserscans liefern dazu ein exaktes dreidimensionales Abbild des Einbauorts, auf dessen Basis die Konturschalung der Wandmodule angepasst wird.

Die Fugtoleranzen bewegen sich in einem engen Rahmen, um einerseits die kollisionsfreie Installation zu gewährleisten und andererseits die Schubfuge im geprüften Bereich zu halten.

Die bautechnische Umsetzung im Projekt wird mittels Einbausimulationen analysiert. In einem digitalen Zwilling wird die Manipulationsmöglichkeit des Elements geprüft und daraus die technischen Mindestvoraussetzungen für den Manipulator bestimmt (Bild 8).

Der Bewegungsbereich umfasst das Neigen des Wandmoduls bis 45 Grad beim Einfahren in den Kreuzungsblock, vertikales und horizontales Verschieben sowie Einfahren in Richtung Querschlag auf Schienen. Das erlaubt es, die Abstützpunkte so zu variieren, dass es zu keiner Belastung von Schachtdeckeln und Kabelkanälen kommt.

Die logistischen Vorgaben und der Bauzeitplan legen bei den meisten Projekten eine Variante nahe, die sowohl eine rad- als auch eine schienengebundene Installation der Querschlags-Abschlusswände (QSAW) ermöglicht (Bild 9). Ein solches Konzept beruht auf einem Manipulator mit Wechselrahmen. Dieser kann auf jedes Fahrzeug mit Containerverriegelung im ISO-Raster montiert werden. Dadurch kann selbst innerhalb eines Bauloses ohne Verzögerung das Transportmittel angepasst werden. Der eigentliche Ablade- und Versetzvorgang dauert im Regelfall weniger als eine Stunde. Der Fahrweg in der Tunnelröhre ist dadurch rasch wieder frei befahrbar, was die Logistikplanung erleichtert.

7 Aspekte für die Instandhaltung

Das Konzept bietet aus Betreibersicht mehrere Vorteile: Die Betonfertigteiletechnik gewährleistet hohe Genauigkeit und Gebrauchstauglichkeit der Befestigungspunkte zur Notausgangstüre und der technischen Ausrüstung, die am Querschlags-Wandmodul installiert sind. Das vermindert den Inspektionsaufwand und erleichtert den Tausch einzelner Komponenten, aufwendige und fehleranfällige Justierarbeiten können minimiert werden. Die Qualitätssicherung erfolgt grossteils ausserhalb des Tunnels, Fehler werden frühzeitig erkannt und korrigiert.

Im Zuge einer Generalsanierung oder nach einem Brandereignis ist der Rückbau des gesamten Querschlags-Wandmoduls rasch und einfach möglich.

7.1 Rückbau

Durch einen polygonförmigen Schnitt mittels Seilsäge wird die Wand nahe an der Gewölbekontur durchtrennt und

7 Aspects for Maintenance

The concept offers several advantages from the operator's perspective: the concrete prefabricated element technology ensures high precision and serviceability of the attachment points for the emergency exit doors and technical equipment that are installed on the cross-passage wall module. This reduces the inspection costs and facilitates the replacement of individual components, and costly and error-prone adjustment operations can be minimised. For the most part, quality assurance is done outside of the tunnel. Defects are recognised early and corrected.

In the course of a general renovation or after a fire, the entire cross-passage wall module can be decommissioned quickly and easily.

7.1 Dismantling on Site

By means of a polygon-shaped cut using a wire saw, the wall is cut through near the vault contour and then removed (Fig. 10). This is done with the same wall-module-erector that is used for installation. The cross-passage wall module can therefore be exchanged within a short period of time, for example during a few night-time closures, and replaced with a new element without significantly influencing traffic.

The safety, telecommunications and electrical operating technology console with permanent installation remains in the roof/crown area. The rest of the end wall that remains on the perimeter can be removed manually without damaging the joint.

8 Outlook

The new construction method allows for shorter construction times, safer work and higher quality in new structures. In the course of a general renovation of the tunnel, the entire wall module can be deconstructed and replaced quickly. This makes it possible to replace large pieces of equipment in the cross-passage (e.g. containers or trans-



9 Schienengebundener Einbau
Rail-bound installation

Quelle/Credit: biprotec GmbH

anschliessend entnommen (Bild 10). Das geschieht mit dem gleichen Manipulationsgerät, wie es beim Einbau zur Anwendung kommt. Das Querschlags-Wandmodul kann somit innerhalb kurzer Zeit, zum Beispiel innerhalb weniger Nachtsperren, ohne wesentliche Beeinflussung des Verkehrs ausgetauscht und durch ein neues Element ersetzt werden.

Die SFE-Konsole mit der festen Installation verbleibt im Firstbereich. Der am Umfang verbleibende Rest der Abschlusswand kann ohne Beschädigung der Fuge manuell entfernt werden.

8 Ausblick

Das neue Bauverfahren ermöglicht kürzere Bauzeiten, sichereres Arbeiten und höhere Qualität im Neubau. Im Zuge einer Generalsanierung des Tunnels kann das gesamte Wandmodul rasch rückgebaut und ersetzt werden. Dadurch wird es möglich, grosse Ausrüstungsgegenstände im Querschlag (z.B. Container oder Transformatoren) einfach zu tauschen. Neue Querschlags-Wandmodule können auf den aktuellen Stand der Technik ausgerüstet und verbaut werden ohne Einschränkungen durch die Geometrie einer bestehenden Ortbetonwand.

Die künftige Entwicklung wird auf die Anwendung in Bestandstunneln fokussiert sein. Gerade die Instandsetzung von für den Verkehr freigegebenen Tunneln steht unter hohem Zeitdruck. Durch den Tausch des gesamten Moduls ist wieder eine technisch einwandfreie Befestigung der technischen Ausrüstung gewährleistet, ohne dass alte Befestigungspunkte aufwendig entfernt oder saniert werden müssen.

Zusätzlich wird es zu einer tieferen Integration von Notausgangstüre und Wandelement kommen. Das reduziert die Anzahl der Verbindungsstellen mit positiven Auswirkungen auf Zuverlässigkeit und Wartungsaufwand. Schliesslich kann mit integrierter Sensorik der Zustand von Wand und technischer Ausrüstung gemessen und Vorhersagen über Wartungsintervall und Lebensdauer getroffen werden.

Alle diese Entwicklungen orientieren sich an der Zielsetzung, die Verfügbarkeit zu erhöhen und die Lebensdauerkosten für den Betreiber zu senken.



Quelle/credit: biprotec GmbH

10 Simulation Rückbau
Simulation of dismantling on site

formers) easily. New cross-passage wall modules can be equipped and used according to the current state of the art without limitations due to the geometry of an existing cast in-situ concrete wall.

Future development will be focused on use in existing tunnels. In particular, maintenance of tunnels approved for traffic is subject to great time pressure. The replacement of the entire module again ensures that the attachment of the technical equipment is technically perfect, without requiring the costly removal or renovation of old attachment points.

Additionally, there will be a deeper integration of the emergency exit doors and the wall element. This reduces the number of connection points, with positive effects on reliability and maintenance costs. Finally, the status of the wall and the technical equipment can be measured with integrated sensors, and predictions can be made about maintenance intervals and service life.

All of these developments are aimed at increasing accessibility and lowering the lifetime costs for the operator.

Nilson Kufus, BSc Liberal Arts & Sciences, Nomoko, Zürich/CH

Dominique Steffen, BSc FH Bauingenieur & MAS PM Bau, InfraSens AG, Brig/CH

Der Digital Twin als Plattform für Softwarelösungen rund um die Planung, den Betrieb und die Erhaltung von Infrastruktur

Erklärt am Fallbeispiel der Brücke

Als digitale Datenrepräsentation bietet der Digital Twin die Grundlage dafür, softwaregestützte Lösungen rund um die physische Infrastruktur bereitzustellen. Eine «Digital Twin Plattform» ist hier die Basis, um sowohl Daten an einem Ort zusammenzuführen wie auch verschiedene Softwarelösungen mit der gleichen Datengrundlage zu bedienen – erklärt anhand des Beispiels einer Bahnbrücke.

The Digital Twin as Platform for Software Solutions for the Planning, Operation and Service & Maintenance of Infrastructures

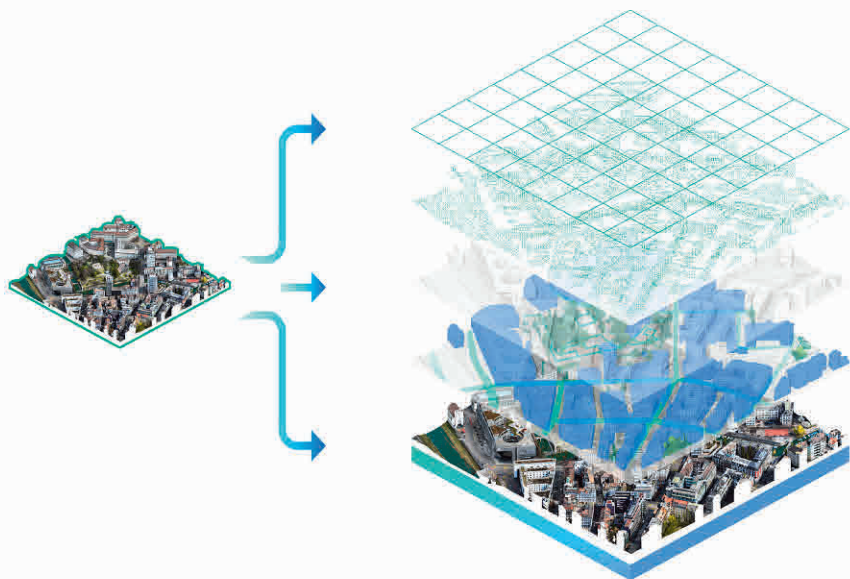
Explained Taking the Bridge as an Example

As a digital data representation, the digital twin forms the framework for the provision of software-supported solutions associated with physical infrastructure. Here, a 'digital-twin platform' is the basis both for merging data in a single location and for offering various software solutions with the same data foundation – this is explained using the example of a railway bridge.

1 Der Digital Twin

Der Digital Twin eines physischen Assets ist dessen digitale Datenrepräsentation. Um das wahre Potenzial eines Digital Twins auszuschöpfen, sollten sämtliche Daten des Assets an einem Ort verknüpft werden und dadurch für verschiedene Digital-Twin-Apps zugänglich gemacht werden. Es gilt die einfache Regel: Nur wenn Daten eines physischen Assets vorliegen, können digitale Tools und Lösungen zum Einsatz kommen.

Der Digitale Zwilling einer Brücke, welche von Zügen befahren wird, kann so zum Beispiel folgende Daten beinhalten: Projektbeschreibung, Bauwerkspläne, Daten aus der Zu-



1 Der digitale Zwilling ist eine multidimensionale Datenrepräsentation der physischen Welt oder eines physischen Assets

The digital twin is a multidimensional data representation of the physical world or a physical asset

Quelle/credit: Nomoko

Le jumeau numérique, plateforme pour les solutions logicielles dans la planification, l'exploitation et la maintenance d'infrastructures

Illustration par le cas du pont

Un exemple pratique d'actualité montre toute la démarche depuis la saisie et le traitement des données jusqu'à leur représentation sur le jumeau numérique. Il inclut des explications sur le contexte technique, mais aussi sur les processus et les étapes de travail, ainsi que sur les possibilités d'application à de nouvelles activités. L'exemple du projet de pont montre comment les données relatives à la sécurité issues d'une ancienne structure porteuse sont traitées au moyen d'algorithmes et reportées sur le jumeau numérique. Plus qu'une simple représentation des données, il en résulte de nouveaux champs d'activité avec des avantages pour le client. Des modèles commerciaux numériques [1] comme le « Self-Service » ou le « Performance-based Contracting » (sous-traitance basée sur les performances) deviennent ainsi possibles et applicables.

Digital Twin quale piattaforma per le soluzioni software dedicate alla progettazione, all'esercizio e al mantenimento delle infrastrutture

L'esempio pratico di un ponte

Con l'attuale esempio pratico viene illustrato il percorso dalla raccolta dei dati al loro trattamento e alla rappresentazione su Digital Twin. Oltre ai dettagli tecnici, vengono chiariti anche i processi e i passaggi di lavoro e vengono illustrati i possibili nuovi settori di attività. L'esempio di progetto mostra come i dati rilevanti per la sicurezza di una vecchia struttura portante di un ponte possono essere trattati e rappresentati in Digital Twin per mezzo di algoritmi. Oltre alla semplice rappresentazione dei dati, da questo risultano anche dei nuovi settori di attività con dei benefici per i clienti. Sono ad esempio possibili e utilizzabili modelli di business digitali [1] come il «Self-Service» o il «Performance-based Contracting».

standsüberwachung oder Sanierungen, Baukosten geplant, Baukosten tatsächlich, Baumängel, Sensordaten zur Überwachung, seismografische Daten der Umgebung und Fahrplan der SBB/BLS. Ein Digitaler Zwilling ist also weit mehr als ein BIM-Modell und kann über die Zeit auch verschiedene Aufgaben erfüllen und wird in der Zukunft als eine Art «Drop-box» des jeweiligen physischen Assets funktionieren.

1.1 Digital-Twin-Apps

Digital-Twin-Apps sind Anwendungen, Algorithmen und in der Zukunft «Smart Contracts», welche sich der Informationen des Digitalen Zwillings bedienen, um das physische Asset zu verwalten, zu dokumentieren, zu simulieren, Prozesse zu automatisieren – idealerweise visuell so kommuniziert, dass alle vom Gleichen reden und das Gleiche verstehen. Die Aussagekraft und die Qualität der Digital-Twin-Apps sind direkt von der Qualität der Datenrepräsentation abhängig. Nur mit korrekten Daten, welche eine akkurate Repräsentation darstellen, können softwaregestützte Entscheidungen stattfinden.

Mit einer Digital-Twin-App können Daten entsprechend den Bedürfnissen der Nutzer aufbereitet, ausgewertet und für digitale Geschäftsmodelle eingesetzt werden.

1.2 Eine Plattform für Digital Twins

Um den Nutzen von Digital Twins vollumfänglich zu erschliessen, braucht es eine Plattform, auf welcher alle Daten zu einem einzigen Digital Twin zusammenkommen und worüber verschiedene Apps genutzt werden können und in einem zweiten Schritt auch miteinander verbunden wer-

1 The Digital Twin

A physical asset's digital twin is its digital data representation. So as to make full use of a digital twin's true potential, all the data associated with an asset should be linked to a single location, making them accessible for various digital-twin apps. A simple rule applies: digital tools and solutions can only be used if data are available for a physical asset.

The digital twin of a bridge used by trains can, for example, include the following data: project description, structural plans, data from condition monitoring or renovations, planned construction costs, actual construction costs, construction faults, sensor data for monitoring, seismographic data of the surroundings, and SBB/BLS timetable. A digital twin is therefore much more than a BIM model and can fulfil a number of tasks over time. It will work in the future as a kind of Dropbox for the respective physical asset.

1.1 Digital-Twin Apps

Digital-twin apps are applications, algorithms and, in future, 'smart contracts' that make use of the digital twin's information to administer, document and simulate the physical asset and automate processes – ideally, this is communicated visually in a way that ensures everyone is on the same page. The significance and quality of the digital-twin app depend specifically on the quality of the data representation. Software-supported decisions can only be taken with correct data providing an accurate representation.

With a digital-twin app, data can be processed, evaluated and employed for digital business models based on user needs.



Quelle/credit: Petar Marjanovic

2 Schwäbisbrücke bei Thun

Schwäbisbrücke bridge near Thun

den können. Nur so können Automatisierungen zwischen verschiedenen Digital-Twin-Apps erreicht werden und die Fortschritte in der digitalen Welt auch der physischen Welt zugänglich gemacht werden.

2 Von der Datenerfassung bis zum digitalen Geschäftsmodell

2.1 Erfassung der Daten

Am Beispiel der Schwäbisbrücke zwischen Thun und Steffisburg wird die Abfolge von der Datenerfassung bis zum Geschäftsmodell aufgezeigt. Das Fachwerk überspannt die Aare als Einfeldträger und hat 56,8 m Spannweite bei 5 m Breite. Die Schwäbisbrücke mit Baujahr 1899 war rechnerisch am Ende ihrer Nutzungszeit angelangt, sodass ein Totalersatz des Tragwerks in Betracht gezogen wurde.

Die Erfassung der Daten kann im Praxisbeispiel manuell per Zustandserfassung, per statische Berechnungen oder automatisiert mittels Sensoren jeglicher Art erfolgen. Vor allem die automatische Datenerfassung selbst muss so geplant werden, dass alle relevanten Daten korrekt erfasst und lückenlos übermittelt werden. Dabei muss besonders auf die Art und Weise der nötigen Datenerfassung und Datenübermittlung geachtet werden. Einige Daten können in grösseren Zeiträumen ermittelt werden, wobei manche Anwendungen eine Just-in-time-Übermittlung erfordern und teilweise nur bei einer bestimmten Anregung (z. B. Achslasten Bahn) erfolgen sollen.

2.2 Darstellung der Daten

Alle Daten werden im Digital Twin hinterlegt und sind in der Digital-Twin-App (im Beispiel InfraSens) abrufbar. Bereits in dieser Stufe sind die Daten so aufbereitet, dass sie von den Nutzern «verstanden» werden können (z. B. vom elektrischen Impuls in mV zu Spannungen in N/mm²). Hierzu sind die entsprechenden Algorithmen je nach Bauwerk oder Überwachungsform individuell zu entwickeln. Zusätzlich werden Graphen mit Trendlinien und/oder weitere Parameter (z. B. Temperatur) herangezogen.

1.2 A Platform for Digital Twins

So as to fully exploit the benefits of the digital twin, a platform is required where all data relating to a single digital twin converge and that facilitates the use of various apps that can, as an additional step, be connected to one another. Only in this way can automation be achieved between various digital-twin apps and progress in the digital world be made accessible in the physical world.

2 From Data Collection to the Digital Business Model

2.1 Data Collection

Using the example of the Schwäbisbrücke bridge between Thun and Steffisburg, the data collection sequence can be illustrated as far as the business model. The framework straddles the Aare as single-span girders and has a span of 56.8 m and a width of 5 m. The Schwäbisbrücke bridge was constructed in 1899 and was calculated to be approaching the end of its service life, meaning that a total replacement of the structure was under consideration.

In the practical example, data collection can take place manually via a condition assessment or structural calculations, or can be automated using sensors of any kind. Above all, the automatic data collection itself must be planned such that all relevant data are collected correctly and transmitted in full. Here, particular attention should be paid to the type of data collection and transmission required. Some data can be transmitted over a longer time frame, with other applications calling for just-in-time transmission, and sometimes only in the event of a specific motivation (e.g. railway axle loads).

2.2 Data Presentation

All data are stored in the digital twin and can be called up in the digital-twin app (e.g. InfraSens). Even at this stage, data are processed such that users can 'understand' them (e.g. from an electrical impulse in mV to stress in N/mm²). The corresponding algorithms should be individually developed for this purpose depending on the structure or monitoring type. In addition, graphs with trend lines and/or other parameters (e.g. temperature) are used.

2.3 Towards a Digital Business Model

With the presentation and evaluation of the specific data (e.g. stress measurements for the steel), only the basic



3 Sensoren mit Analog-Digital-Wandler

Sensors with analogue/digital converter

Quelle/credit: InfraSens 2019

The Digital Twin as Platform for Software Solutions for the Planning, Operation and Service & Maintenance of Infrastructures • Explained Taking the Bridge as an Example

2.3 Weg zum digitalen Geschäftsmodell

Mit der Darstellung und Auswertung der spezifischen Daten (z. B. Spannungsmessung am Stahl) wird allerdings nur das Grundbedürfnis der allgemeinen Datenerfassung und der Zustandsbewertung bedient. Erst mit dem Zusammenführen mehrdimensionaler Daten oder mit der logischen Verknüpfung von Prozessen kann ein digitales Geschäftsmodell [1] entstehen. Am Beispiel der Brücke können sich an Anlehnung an Gassman et al. [2] unter anderen folgende digitale Geschäftsmodelle ergeben:

Performance-based Contracting:

«Performance-based Contracting» – die Nutzungsintensität wird messbar. Damit kann entsprechend der tatsächlichen Nutzung ein abgestimmtes Inspektionsprogramm vorgeschlagen und «bestellt» werden. Der Kunde erhält dadurch ein auf die Nutzung hin optimiertes Condition-Management.

Guaranteed Availability:

«Remote Usage and Condition Monitoring» – die Zustandsüberwachung ganzer Anlagen vereinfacht die Sicherstellung des Betriebs über lange Zeiträume und den Forecast von Investitionen.

Self-Service:

«Object Self-Service» – Objekte bestellen autonom Serviceleistungen. Dies kann hier bei aussergewöhnlichen Ereignissen wie Überlast, Erdbeben oder Hochwasser der Fall sein.



4 Datenerfassung – Datenübermittlung – Datenaufbereitung
Data collection – data transmission – data processing

Quelle/credit: InfraSens 2019

requirement of general data collection and condition evaluation are served, however. It is only with the merging of multidimensional data or the logical connection of processes that a digital business model [1] can be developed. With the example of the bridge, Gassman et al. [2], among others, can be used to develop the following digital business models:

Performance-based contracting:

‘Performance-based contracting’ – intensity of use can be measured. A coordinated inspection programme corresponding to actual use can be proposed and ‘ordered’ on this basis. The customer thereby receives condition management optimised to usage.

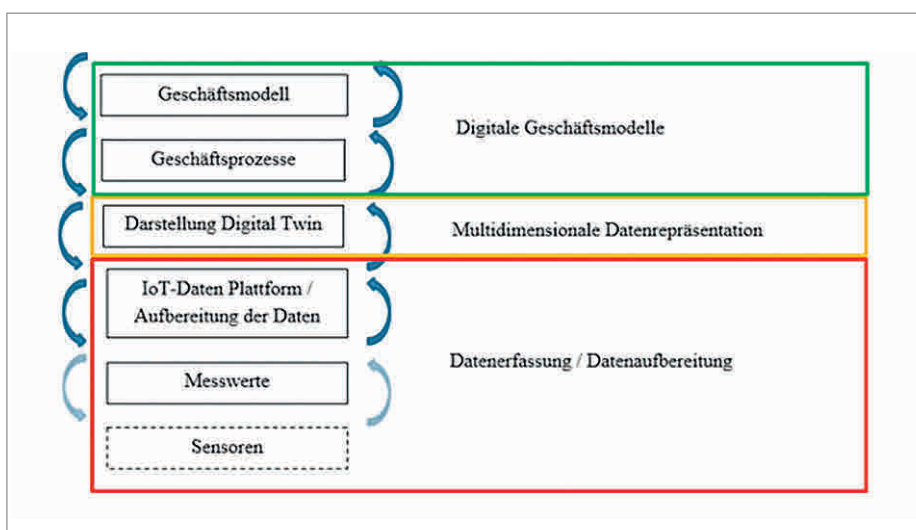
Guaranteed availability:

‘Remote usage and condition monitoring’ – condition monitoring for entire systems simplifies operational reliability over long periods, as well as investment forecasting.

Self-service:

‘Object self-service’ – objects order services autonomously. This can be the case for exceptional events such as overload, earthquake or flooding.

Alongside the business models listed, additional conclusions can also be drawn from the data. The measuring period took place before, during and after Covid-19-related lockdowns. It was established that usage of the structure (train load), as well as usage frequency, was significantly



5 Der Weg zum digitalen Geschäftsmodell
Towards a digital business model

Quelle/credit: InfraSens 2017

Der Digital Twin als Plattform für Softwarelösungen rund um die Planung, den Betrieb und die Erhaltung von Infrastruktur • Erklärt am Fallbeispiel der Brücke

Neben den aufgeführten digitalen Geschäftsmodellen können auch weitere Schlüsse aus den Daten gezogen werden. So fand die Messperiode vor, während und nach der Zeit des Covid-19-bedingten Lockdowns statt. In dieser Zeit wurde eine signifikant tiefere Ausnutzung des Tragwerks (Auslastung Züge) und deren Frequenz festgestellt. Bei einem breiten Einsatz der Sensoren auf dem Bahnnetz könnten so über einen langen Zeitraum Daten gesammelt werden, welche Trends zur Auslastung von Bahnstrecken liefern, sodass Aussagen über künftige Investitionen, Mobilitätstrends und interne Prozesse getätigt werden können (Grundlage für strategische Entscheidungen).

Die lückenlose Messperiode an der Schwäbisbrücke betrug etwa vier Monate und diente als Versuchsträger für die Datenerfassung inklusive Aufbereitung und Darstellung im Digital Twin. Aktuell werden drei Brücken dauerhaft überwacht. Diese Bauwerke dienen als Versuchsträger für den nächsten Schritt, die digitalen Geschäftsmodelle.

lower during this time period. With widespread use of sensors on the rail network, it would therefore be possible to collect data over a long period of time that show usage trends along railway tracks such that predictions can be made about future investments, mobility trends and internal processes (basis for strategic decisions).

The continuous measuring period at the Schwäbisbrücke bridge totalled around four months and served as a test specimen for data collection, including processing and presentation in the digital twin. Three bridges are currently being monitored over the long term. These structures serve as test specimens for the next stage – the digital business models.

Literatur/References

- [1] Fleisch/Weinberger/Wortmann: Geschäftsmodelle im Internet der Dinge
- [2] Geschäftsmodellmuster nach Gassmann et al.

Amberg, Francesco	Lombardi AG, Giubiasco/CH
Bertholet, Simon	Marti Tunnel AG, Moosseedorf/CH
Binder, Robert	biprotec GmbH, Weistrach/AT
Braun, Matthias	Nagra, Wettingen/CH
Bregy, Jodok	Locher Ingenieure AG, Zürich/CH
Caggia, Francesco	ASTRA, Bellinzona/CH
Carron, Christophe	Consortium GITEV, Sion/CH
Casanova, Fabio	Frutiger AG, Thun/CH
Civetta, Filippo	ASTRA, Bellinzona/CH
De Salvo, Francesco	Lombardi AG, Giubiasco/CH
Fossati, Andrea	Isarco S.c.a r.l., Fortezza/IT
Gatti, Gianluca	DMTE-SDM, Martigny/CH
Gielchen, Stefan	Kanton Schwyz, Schwyz/CH
Haas, Hanspeter	ASTRA, Zofingen/CH
Hrunek, Martin	Wiener Linien GmbH und Co KG, Wien/AT
Klaus, Pascal	Lombardi SA Ingegneri consulenti, Bellinzona-Giubiasco/CH
Kufus, Nilson	Nomoko, Zürich/CH
Lequertier, Gilles	Infra Tunnel SA, Marin/CH
Lonfat, Sébastien	DMTE-SDM, Martigny/CH
Manzoni, Curdin	EBP Schweiz AG, Zürich/CH
Marottoli, Alessandro	BBT-SE, Bolzano/IT
Massignani, Sergio	Marti Tunnel AG, Moosseedorf/CH
Merlini, Davide	Pini Group SA, Lugano/CH
Michel, Pierre	Consortium GITEV, Sion/CH
Motta, Sue	Pini Group SA, Roveredo/CH
Müller, Stefan	Frutiger AG, Thun/CH
Nodiroli, Gian Paolo	Lombardi SA Ingegneri consulenti, Bellinzona-Giubiasco/CH
O'Neil, James	Lombardi SA Ingegneri consulenti, Bellinzona-Giubiasco/CH
Pélissier, Vincent	DMTE-SDM, Sion/CH
Sabato, Lorenzo	ASTRA, Zofingen/CH
Sanfilippo, Rita	Lombardi SA Ingegneri consulenti, Bellinzona-Giubiasco/CH
Schneider, Martin	Etat de Vaud, Lausanne/CH
Steffen, Dominique	InfraSens AG, Brig/CH
Tagand, Benoit	Infra Tunnel SA, Marin/CH
Tillet, Damien	Lombardi Ingénierie SAS, Lyon/FR
Weiss, Eva-Maria	Wiener Linien GmbH und Co KG, Wien/AT
Zampieri, Marcello	Lombardi AG, Giubiasco/CH
Zanoli, Roberto	Marti Tunnel AG, Moosseedorf/CH
Züger, Simon	Pini Group SA, Roveredo/CH

Hauptsponsoren • Main Sponsors





We offer expertise in infrastructure construction and maintenance for more than 50 years. Our main focus is the smart use of surface and subsurface space.

The application of the latest working methods such as BIM and the use of artificial intelligence shows our innovative strength. It is our key to shaping the digital future.

www.amberggroup.com

WE ARE AMBERG
AMBERG ENGINEERING
AMBERG LOGLAY
AMBERG TECHNOLOGIES
HAGERBACH TEST GALLERY



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-tec.at





B+S
INGENIEURE UND PLANER

Bei uns steht
der Mensch im
Vordergrund.

Intelligente Ingenieurlösungen für
eine lebenswerte Zukunft. Dafür
setze ich mich persönlich ein, mit
Herz, Verstand und Leidenschaft.

www.bs-ing.ch



Gesamtlösungen für komplexe Untertagprojekte

Basler & Hofmann bearbeitet anspruchsvollste Tunnelbauprojekte von der strategischen Planung bis zur Bauleitung. Dank unserer interdisziplinären Aufstellung können wir Projekte ganzheitlich planen und realisieren – vom Einsatz von BIM über das Bauen im Lockergestein bis zur Logistik im dicht besiedelten Raum.



www.baslerhofmann.ch

Basler & Hofmann

belloli

Belloli SA

CH-6537 Grono
(Switzerland)
Tel. +41 91 820 38 88
Fax +41 91 820 38 80
info@belloli.ch
www.belloli.ch

Belloli Italia S.r.l.

Via XXV Aprile 59
IT-22070 Guanzate
(Italy)
Tel. +39 031 9780000
Fax +39 031 3529089
info@belloli-italia.it
www.belloli-italia.it



BG

**DIE NATUR IST
UNSER VORBILD,
DAS VERNETZTE
DENKEN UNSERE
STÄRKE.**

www.bg-21.com

BG Ingenieure und Berater

INGENIOUS SOLUTIONS

CSC



webuild group

Gesamtlösungen sind unser Plus.

Wir planen und beraten engagiert, kompetent und verantwortungsvoll. Mit 750 Mitarbeitenden an 30 Standorten sind wir national und international präsent und nahe bei unseren Kunden.

www.emchberger.ch

Meter um Meter dem Ziel näher.

Jedes Projekt, jeder Berg stellt die Frutiger Gruppe vor neue Herausforderungen. Seit über 90 Jahren im Tunnelbau tätig, sind wir an jedem Projekt kontinuierlich gewachsen. Dank unserem umfassenden Know-how sind wir in der Lage, Untertagprojekte für unsere Kunden kompetent zu realisieren.

Mit Freude bauen wir.
Seit 1869.



frutiger.com



SCHNELL VERBUNDEN

PLANUNG GOTTHARD-BASISTUNNEL

ERFOLGREICH PLANEN

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



**Zusammen
versetzen wir Berge.**

Als Spezialunternehmung
in der Felstechnik sorgen
wir für die Sicherheit und
Beständigkeit von Infra-
struktur und Bauwerken.

felstechnik.ch

Gasser Felstechnik AG

Untertag ■ Felssicherung
Sprengbetriebe ■ Spezial-
tiefbau ■ Bauservice



Heitkamp Construction Swiss
Kompetenz aus Tradition – Zukunft durch Innovation

BRENNER BASISTUNNEL, ÖSTERREICH-ITALIEN

GRENZEN VERSCHIEBEN

Der neue Brenner Basistunnel stellt mit einer Gesamttunnellänge von 64 km und einer maximalen Überdeckung von 1.700 Metern einen neuen Härtestest im Tunnelbau dar. 4 Hartgesteinsmaschinen von Herrenknecht sind an der weltweit härtesten Mission beteiligt und befähigen unsere Kunden zu Meisterleistungen.

› herrenknecht.com/bbt

Auftraggeber:

- › 1x Gripper-TBM:
ARGE H33 Tulfes-Pfons
- › 3x Doppelschild-TBM:
ARGE H61 Mauis 2-3, BTC S.c.a.r.l.

**PIONEERING
UNDERGROUND
TOGETHER**

HERRENKNECHT



Tunnelling Systems

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



holcimpartner.ch

 **HOLCIM**

STRASSENTUNNEL



PMC HOCHBAU



BAHNINFRASTRUKTUR

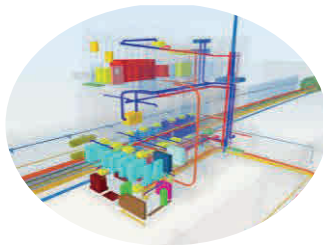
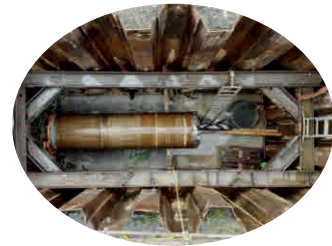


CONSULTING
ENGINEERS

LÜFTUNG & EM



SPEZIALPROJEKTE UTB



DIGITALES BAUEN

ILF Beratende Ingenieure AG

Flurstrasse 55

8047 Zürich

+41 44 435 37 50 | info.zrh@ilf.com



Implenia

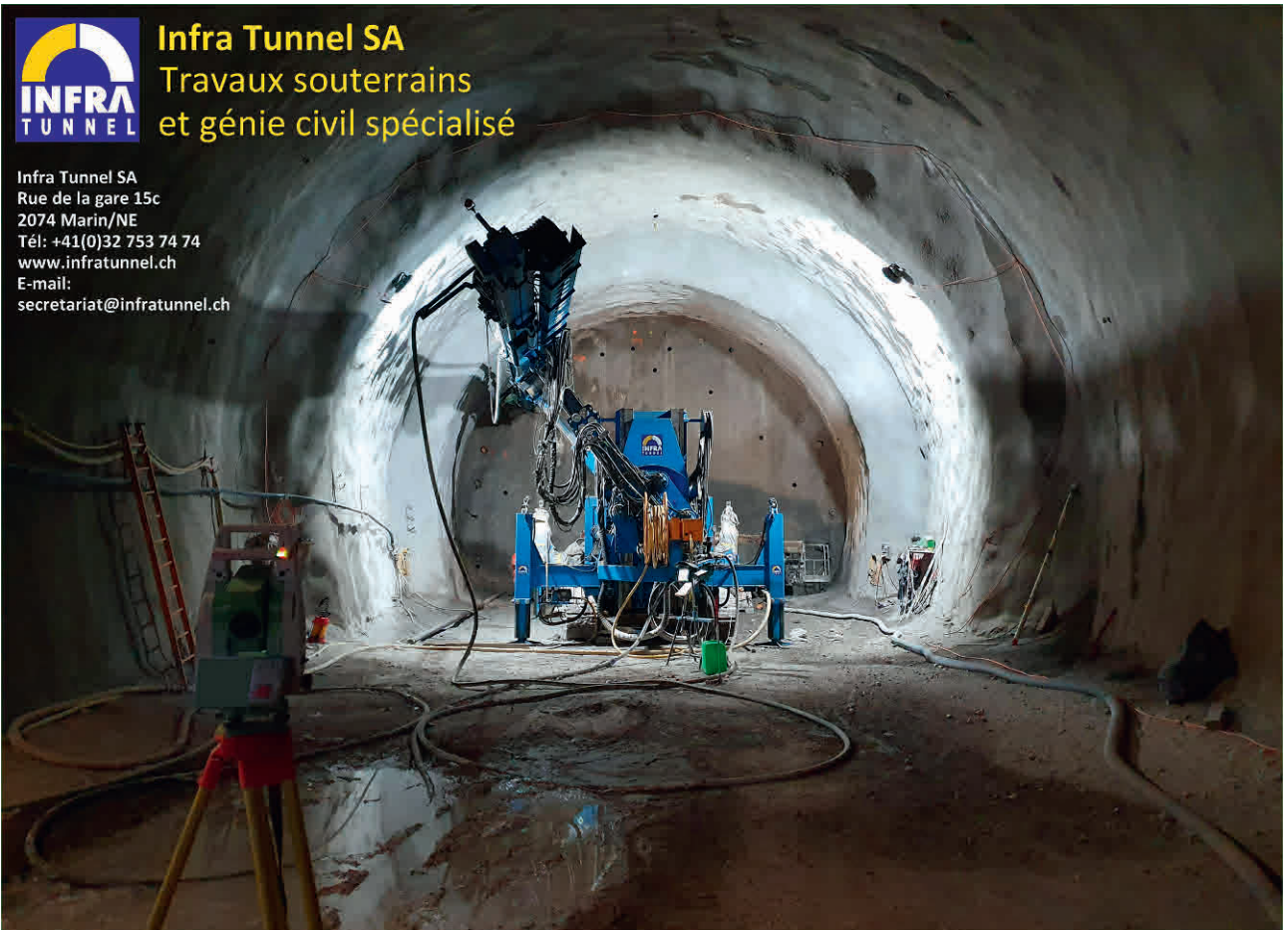
WIR GESTALTEN
DIE WELT
VON MORGEN





Infra Tunnel SA Travaux souterrains et génie civil spécialisé

Infra Tunnel SA
Rue de la gare 15c
2074 Marin/NE
Tél: +41(0)32 753 74 74
www.infratunnel.ch
E-mail:
secretariat@infratunnel.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 Francini 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



On the way to digital twin

Auf neuen Wegen in alle Richtungen

Seit rund 65 Jahren bauen Kunden auf unsere Kompetenz für Bauwerke unter Tage. Lombardi bearbeitet komplexe Infrastrukturprojekte sowohl mit traditionell fachtechnischer Kompetenz als auch mit dem Einsatz neuester Technologien im Bereich BIM. Unser Ansprüche an die Innovation spornen uns an, neue Wege einzuschlagen, um unseren Kunden massgeschneiderte Lösungen in alle Richtungen zu ermöglichen.

Bellinzona-Giubiasco, Luzern, Fribourg, Martigny, Raron

www.lombardi.group



Chasing your solution

We are committed to tradition and quality, rely on our creativity and approach the future with innovation. As an internationally active technology company, we offer individual solutions in the field of:

- Conveying technology
- Electrical engineering
- Infrastructure plants
- Formwork & special equipment
- Plant engineering Stone & Earthworks
- Building technology

Talk to us. We will provide you with professional and correct consultation and know all the possibilities that can be used for a qualified realisation of your projects.

Marti Technik AG Lochackerweg 2 CH-3302 Moosseedorf
Fon +41 31 858 33 88 info@martitechnik.com

www.martitechnik.com



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

»
MasterSeal 345
Damit Sie im Tunnel keinen
Regenschirm brauchen!

PCI Bauprodukte AG • Master Builders Solutions
Im Schachen • 5113 Holderbank • T +41 58 958 22 44 • F +41 58 958 32 55
info-as.ch@mbcc-group.com • www.master-builders-solutions.ch

A brand of
MBCC GROUP

Beratung, Projektierung und Bauleitung für Tunnel- und Untertagebau Projekte

Intelligente Ingenieursleistungen
für die **Entwicklung innovativer
Lösungen und nachhaltiger
Infrastrukturen.**

Projekt:
3. Röhre Gubristtunnel

www.pini.group



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

Schneller, sicherer und wirtschaftlicher bauen



SNOWY 2.0 (Australien) - 3 Förderbandanlagen zur Erweiterung des Pumpspeicherwerkes in den Snowy Mountains
www.rowa-ag.ch



PIONIER IM TUNNELBAU

SEIT MEHR ALS EINEM JAHRHUNDERT SICHERN SIKA TECHNOLOGIEN DIE ZUKUNFT VON TUNNELBAUTEN

Sika vereint umfassendes Know-how, mehr als ein Jahrhundert Erfahrung und ein starkes Produktsortiment für moderne und stets den Anforderungen angepasste Lösungen im Tunnel- und Bergbau. Angefangen bei innovativen Betonspritzmaschinen, über die Betonherstellung- oder Instandsetzung, Abdichtung und Injektion, bis hin zum Schutzanstrich, bieten wir alles aus einer Hand.

www.sika.ch

BUILDING TRUST





Unser Einsatz. Ihre Entlastung.

Bellini Personal AG
Zugerstrasse 76
6340 Baar

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

bellini[®]
Vermittelt Baufachkräfte.