Band 21

2023

SWISS TUNNEL CONGRESS

50 Jahre Fachgruppe für Untertagbau

Fachtagung

Kolloquium
«STS Young Members Podium»

12. Juni 2023
in Luzern

Kongress

13. Juni 2023
in Luzern

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 2023

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
Patricia Dal Pont	Secretariat
Viktor Gjorgjiev	Secretariat

Advisory Board

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

© 2023 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 978-3-033-09964-7

Swiss Tunnel Congress 2023 – Fachtagung für Untertagbau
Umschlagfoto: Zweite Röhre Gotthard-Strassentunnel, Quelle: Bundesamt für Strassen ASTRA

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

SWISS TUNNEL CONGRESS 2023

Fachtagung für Untertagbau

12.–13. Juni 2023

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	Grass, Alexander	Jubiläumsschrift • *Anniversary Words*
20	Seewer, Ulrich	Tunnels schaffen Verbindungen – Impulse für die Raumentwicklung dank neuer Erreichbarkeiten *Tunnels create connections – Improved accessibility encourages spatial development*
26	Biaggio, Guido Kocherhans, Richard Sigrist, Christoph	Gotthard-Strassentunnel – Gesamtsystem und Instandsetzung erste Röhre *The Gotthard Road Tunnel – Overall system and repairing the first tube*
38	Reber, Thomas Ferrari, Alessandro Böheim, Sebastian Inniger, Markus	Zweite Röhre Gotthard-Strassentunnel – Vollendung der alten Projektidee *The Gotthard Road Tunnel's second tube – A long thought-of project comes to realization*
50	Tschabold, Reto	16 Jahre Lötschberg-Basistunnel – Ein Erfahrungsbericht *Sixteen years of the Lötschberg Base Tunnel – field report*
58	Pignat, François	Tunnel du Grand-Saint-Bernard – Remplacement complet de la dalle intermédiaire *Great St Bernard Tunnel – Completely replacing the smoke duct slab*
67	Biasiutti, Gianni	Grimseltunnel 23 km – multifunktionale Infrastruktur – Bahn und Höchstspannungsleitung *Grimsel Tunnel, 23 km – multifunctional infrastructure – Railway and extra-high voltage line*
78	Salzmann, Daniel	Bahnausbau in der Region Zürich – Die SBB baut drei neue Tunnel *Railway work in the Zürich region - The SBB is building three new tunnels*
88	Heid, Thomas	Innerstädtischer Kavernenausbruch beim Bahnhof Bern RBS – Erste Erfahrungen und Herausforderungen für den Unternehmer *Caverns excavation in the city centre at Bern RBS railway station – First experiences and challenges for the contractor*
104	Schackenberg, Götz	Rheintunnel Basel – Ein Infrastrukturprojekt im städtischen Kontext *The Rhein Tunnel in Basel – An infrastructure project in an urban context*
111	Bircher, Beat Stauch, Felix	Modellbasierte Submission und Ausführung QV8 – Projektverfasser (PV) und Unternehmer (UN) berichten *Model-based submission and execution of QV8 (cross-connection 8) – Designer and Contractor reports*

Kolloquium

STS Young Members Podium 2023

122	Ewason, Sarah	Entwässerungsstollen Braunwald – Herausforderungen Vortrieb und Drainagebohrungen *Braunwald drainage tunnel – Challenges associated with excavation and drainage drilling*
133	Shanmugaratnam, Luxshan	Schützenmatt- und Kannenfeld-Tunnel – Profilanpassung bei Mauerwerktunnel unter Betrieb *The Schützenmatt and Kannenfeld tunnels – Clearance profile adjustment for brickwork tunnels under operation*
144	González Fernández, Guadalupe	Entonnement Haussmann – Saint-Lazare à Paris – Dimensionnement de cavernes dans le centre-ville densément bâti de Paris pour le prolongement du réseau ferroviaire *Haussmann – Saint-Lazare cavern system in Paris – Designing caverns in Paris' densely built-up city centre to extend the railway network*
159	Jungo, Nicolas	Städtischer Tunnelbau im Herzen von Bern – Die aussergewöhnlichen Herausforderungen des neuen Zufahrtstunnels für den Ausbau des RBS-Bahnhofs *Urban tunnelling in the heart of Bern – The unusual challenges presented by the new access tunnel to extend the RBS railway station*
171	Zimmermann, Annika	Neubau Tagbautunnel Hagnau – Unter Betrieb der Nationalstrasse im Bahndamm SBB *New cut-and-cover construction of the Hagnau Tunnel – During operation of the national motorway along the SBB railway embankment*
184	Neininger, Leo	Zweite Röhre Gotthard-Strassentunnel – Herausforderungen auf der Lockergesteinsstrecke für die Umlegung SISto Nord *Gotthard Road Tunnel's second tube – Challenges posed by the loose rock section regarding the SISto North relocation project*

Vorwort • Preface

Stefan Maurhofer

Präsident der Fachgruppe für Untertagbau

President of the Swiss Tunnelling Society

Sehr geehrte Damen und Herren
Liebe Kolleginnen und Kollegen

Die Fachgruppe für Untertagbau (FGU) ist der Schweizer Branchenverein der Untertagbauer, der vor 50 Jahren von einer weitsichtigen Gruppe von Fachleuten gegründet wurde, die bei der Erstellung der Norm SIA 198 „Untertagbau – Ausführung" mitgewirkt haben. Während der ersten Generalversammlung am 12. September 1973, unter dem Vorsitz von Dr. Giovanni Lombardi, wurde der erste Präsident der FGU, Dr. Robert Ruckli, gewählt, ein ehemaliger Direktor des Bundesamts für Strassen.

Mit den Erfahrungen aus zahlreichen Tunnelbauten und Kavernen für Wasserkraftanlagen in den Alpen sowie den Erkenntnissen aus der Anwendung des „neuen Standards" wurden viele weitere grosse Strassentunnel gebaut. Nach bescheidenen Anfängen entwickelte sich so auch die FGU – insbesondere mit dem neu gewonnenen Wissen aus dem Bau des Gotthard-Strassentunnels und des Seelisberg-Strassentunnels – weiter.

In den folgenden Jahren, in denen schrittweise das nationale Autobahn-Netzwerk vollendet wurde und damit auch zahlreiche Tunnel gebaut wurden, engagierte sich die FGU vor allem bei der Weiterentwicklung bestehender und neuer Normen. Diese wurden neuen Anforderungen angepasst oder gänzlich neu geschrieben. Gleichzeitig unterstützte die FGU intensiv die wissenschaftliche und die angewandte Forschung.

Während des Baus der AlpTransit-Basistunnel durch die Schweizer Alpen, der eine der grössten Herausforderungen für die Schweizer Untertagbauindustrie war, entwickelte sich die FGU in grossen Schritten weiter. Die FGU versuchte, die hervorragenden Leistungen, die innovativen Entwicklungen und die gewonnenen Erfahrungen im Inland wie auch im

Ladies and Gentlemen,
Dear Colleagues,

The Swiss Tunnelling Society (STS) is a Swiss association representing the underground construction industry. It was founded 50 years ago by a visionary group of professionals who helped draft the SIA (Swiss Society of Engineers and Architects) 198 standard "Underground Construction – Implementation". During the first General Assembly on 12 September 1973, chaired by Dr Giovanni Lombardi, the first President of the STS was elected, Dr Robert Ruckli, formerly Director of the Federal Roads Office.

With the experience gained from numerous tunnel construction projects and underground caverns used for hydroelectric power plants in the Alps, as well as the knowledge gained from applying this "new standard", a number of other large road tunnels were built. After humble beginnings, the STS continued to develop – especially with newly gained knowledge from constructing the Gotthard and Seelisberg road tunnels.

Over the next few years, as work gradually progressed on the national motorway network and numerous tunnels were built, the STS' involvement primarily focused on further developing new and existing standards. These were adapted to new requirements or completely rewritten. At the same time, the STS intensively supported scientific and practical research.

During construction of the AlpTransit base tunnels through the Swiss Alps, one of the greatest challenges for the Swiss underground construction industry, the STS advanced in leaps and bounds. The association tried to publicise the excellent services, innovative developments and experience gained both domestically and abroad. In doing so, it was also

Ausland bekannt zu machen. So konnte die FGU das Image und den Bekanntheitsgrad der Schweizer Untertagbauindustrie auch international stärken.

Heute hat sich die FGU zu einem Verein entwickelt, der die Interessen verschiedener am Untertagbau interessierten Gruppen, darunter Bauherren, Planer, Unternehmer, Hochschulen und Industrie, vertritt. Diese arbeiten daran, die für unser Land wichtigen Untertag-Bauwerke in den Bereichen Energie, Infrastruktur und Wasserbau zu erstellen, zu unterhalten, zu erneuern und zu betreiben. Zusätzlich engagiert sich die FGU für eine zukünftig noch vielfältigere Nutzung des unterirdischen Raums.

Die Unterstützung wissenschaftlicher und angewandter Forschung und Lehre sowie die Weiterentwicklung bestehender und neuer Normen im nationalen und internationalen Umfeld gehören weiterhin zu den Kernaufgaben der FGU. Die FGU ist bestrebt, die Kompetenz und Erfahrung der Schweizer Untertagbauindustrie auf nationaler und internationaler Ebene weiter bekannt zu machen. Ebenso engagiert sie sich für die Verbesserung des Images der Untertagbau-Berufe, nicht nur in der Öffentlichkeit, sondern auch direkt in der Förderung des eigenen Nachwuchses.

Im Jahr 2017 wurde die Swiss Tunnelling Society young members (STSym) gegründet. Junge Fachleute des Untertagbaus haben nach dem Vorbild anderer Länder mit der Unterstützung der FGU die STS young members ins Leben gerufen. Die STSym stehen jungen Ingenieur/innen unter 35 Jahren offen. Dies als einmalige Plattform für den Austausch junger Ingenieure in der ganzen Schweiz und als Kontaktstelle zur internationalen Ebene. Die STSym freuen sich weiterhin auf jedes neue Mitglied.

Die Verbreitung und Förderung des Wissens und der Fachkenntnisse im Untertagbau durch Veranstaltungen wie Studientagungen, Kongresse und Besichtigungen nehmen zudem einen zentralen Platz innerhalb der vielfältigen Aktivitäten der FGU ein. Dazu ist der Swiss Tunnel Congress (STC) die wichtigste Plattform der Schweizer Untertagbauer, welcher eine grosse, auch internationale Anerkennung geniesst.

Es freut mich ausserordentlich, das 50-jährige Bestehen der FGU mit Ihnen begehen zu können! Die Jubiläums-Feierlichkeiten finden im Rahmen des Swiss Tunnel Congress 2023 vom 12. bis 13. Juni 2023 im Kultur- und Kongresszentrum Luzern (KKL Luzern) statt. Die Feierlichkeiten werden mit weiteren öffentlichen Veranstaltungen unter dem Titel „EinBlick in den Untergrund“ ergänzt, die über das Jahr verteilt in der ganzen Schweiz stattfinden.

Der STC 2023 wird im Jubiläumsjahr in einem angepassten Format abgehalten. Am 12. Juni 2023 findet die ordentliche Generalversammlung der FGU statt, gefolgt vom „STS Young Members Podium“. Ziel der Veranstaltung ist es, junge Tunnelbauerinnen und Tunnelbauer zu fördern und ihnen eine eige-

able to strengthen the image and reputation of Switzerland's underground construction industry internationally.

Today, the STS has developed into an association that represents the interests of various groups interested in underground construction, including owners, planners, contractors, universities and industries. The association works to build, maintain, renovate and operate underground structures in the fields of energy, infrastructure and hydraulic engineering that are important for Switzerland. In addition, the STS is committed to an even more versatile use of underground spaces in the future.

Supporting scientific and practical research and education, as well as further development of current and future standards in a national and international context, continue to be part of the STS' core tasks. The STS also strives to further publicise the Swiss underground construction industry's competence and experience at national and international levels. It is committed to improving the image of underground construction professions, not only in the public eye, but also by directly promoting its own young talents.

Furthermore, in 2017, the Swiss Tunnelling Society Young Members (STSym) Association was founded. Young underground construction professionals, following the example of other countries, created the STS Young Members Association with the help of the STS. The STSym is open to young engineers under the age of 35. This is a unique platform for young individuals to exchange ideas throughout Switzerland and to gain points of contact at an international level. The STSym welcomes every new member who joins.

Spreading and promoting knowledge and expertise on underground construction, through events such as study conferences, congresses and site visits, also play a central role in the STS' wide range of activities. To further help achieve this goal, the Swiss Tunnel Congress (STC) is the most important platform for the Swiss underground construction industry, attracting a great deal of recognition – internationally as well as within Switzerland.

I am extremely pleased to be able to celebrate the STS' 50th anniversary with you! The anniversary celebrations will take place as part of the Swiss Tunnel Congress 2023 from 12 to 13 June 2023 at the Culture and Convention Centre in Lucerne (KKL Luzern). The celebrations will be complemented by other public events under the title "EinBlick in den Untergrund" (InSight into the Underground), which will take place across Switzerland throughout the year.

The STC 2023 will be held in a modified format for its anniversary. On 12 June 2023, the ordinary STS General Assembly will take place, followed by the "STS Young Members Podium". The aim of the event is to encourage young tunnel engineers and offer them their own plat-

ne Plattform im Rahmen des 50-Jahre-Jubiläums anzubieten. Sechs Teilnehmerinnen und Teilnehmer stellen im Rahmen des Kolloquiums ein Tunnelbauprojekt, an welchem sie massgeblich beteiligt waren, vor. Das „STS Young Members Podium" wird als Wettbewerb durchgeführt. Eine Jury und das Publikum wählen die zwei besten Vorträge. Sie werden ausgezeichnet und beim Festakt, im Anschluss an das Kolloquium, prämiert. Im Rahmen des Festaktes wird die Geschichte des Schweizer Untertagbaus betrachtet und ein Blick in die Zukunft gewagt. Eine Podiumsdiskussion mit ausgewählten Gästen wird die geschichtliche Entwicklung vertiefend besprechen. In einer zweiten Gesprächsrunde folgt ein Rück- und Ausblick auf die vielfältigen Aktivitäten der FGU. Weitere Ansprachen und musikalische Darbietungen geben der Feier einen würdigen Rahmen. Im Anschluss daran findet die Jubiläumsfeier mit Apéro und Abendessen im Luzerner Saal (KKL Luzern) statt.

Am 13. Juni 2023 findet dann der Kongress statt. Am Vormittag beschäftigen wir uns mit dem Thema „Alpentunnel Schweiz". Nach dem Einführungsreferat „Tunnel schaffen Verbindungen" aus Sicht der Schweizer Raumentwicklung wird über das Gesamtsystem Gotthard-Strassentunnel und den Stand der Arbeiten an der 2. Röhre Gotthard-Strassentunnel berichtet. Die Referate über die Herausforderungen beim Unterhalt des Lötschberg-Basistunnels, zum Tunnel du Grand-Saint-Bernard und zum Stand am Projekt Grimseltunnel ergänzen das Thema und die zentrale Bedeutung unserer Schweizer Alpentunnel.

Ausgewählte aktuelle Schweizer Projekte stehen am Nachmittag auf dem Programm. Informieren Sie sich über die drei neuen Tunnelprojekte der SBB in der Region Zürich, den Stand der Arbeiten beim Bahnhof Bern RBS, das Projekt Rheintunnel Basel und zum Thema „Modellbasierte Ausschreibung, Ausführung und Abrechnung". Im Jubiläumsjahr ist ein spannender fachtechnischer Erfahrungsaustausch mit viel Schweizer Know-how garantiert!

Unter dem Titel „EinBlick in den Untergrund" wird im Rahmen der Aktivitäten der FGU zum 50-jährigen Jubiläum einer breiten Öffentlichkeit der Zugang zu bekannten und weniger bekannten, spannenden Bauwerken im Untergrund ermöglicht. Alle Interessierten können eine Vielzahl an Untertagbaustellen und bestehende unterirdische Bauwerke in fünf Clustern/Regionen besichtigen und erleben. Auf der Website www.einblick.swisstunnel.ch sind alle Informationen zu den Angeboten und, wo erforderlich, die Möglichkeit zur Anmeldung zu finden. Das Angebot, welches laufend ergänzt wird, ist öffentlich und für die Teilnehmer – mit wenigen Ausnahmen – kostenlos.

Die Jubiläumsfeierlichkeiten hätten ohne das grosse Engagement der vielen freiwilligen Helfer nicht umgesetzt werden können. Ihnen und vor allem unseren treuen Sponsoren gebührt mein besonderer Dank. Mein Dank richtet sich aber auch an die Referenten, die Aussteller und die Organisatoren, welche es uns ermöglichen, den STC stets in einer hohen Qualität durchführen zu können. Die FGU hat in den letzten

form in the context of the STS' 50th anniversary. As part of the colloquium, six participants will present a tunnel construction project in which they played a key role. The "STS Young Members Podium" will then be held as a competition. A jury and the audience will select the two best presentations. The winners will be awarded prizes at the ceremony following the colloquium. As part of the ceremony, the history of Swiss underground construction will be reviewed and a glimpse into future will be ventured. A panel discussion with selected guests will talk about the historical development in greater depth. A second round of talks will look back and ahead to the STS' many diverse initiatives. Speeches and musical performances will add a festive touch to the celebration. This will be followed by the anniversary celebration with an aperitif and dinner in the Lucerne Hall (KKL Luzern).

The congress will then take place on 13 June 2023. In the morning, we will focus on the topic: "Alpine Tunnels in Switzerland". After the introductory presentation "Tunnels Create Connections" – from the point of view of Swiss spatial development – there will be a report on the Gotthard Road Tunnel System as a whole, as well as on the second Gotthard Road Tunnel tube's overall work status. The presentations on the challenges of servicing the Lötschberg Base Tunnel, on the Grand Saint Bernard Tunnel and on the status of the Grimsel Tunnel project complement the topic and the crucial importance of our Swiss Alpine tunnels.

In the afternoon, selected current Swiss projects are on the agenda. Find out about the SBB's three new tunnel projects in the Zurich region, the work status at the Bern RBS station, the Rhine Tunnel Basel project and the topic of "Mode-based tender, execution and billing". The STS' anniversary celebration is sure to be full of exciting discussions full of technical experience, and a lot of Swiss know-how is guaranteed!

Under the title "EinBlick in den Untergrund" (InSight into the Underground), as part of the STS' 50th anniversary activities, the general public will be given access to well-known and lesser-known exciting underground structures. Anyone interested can visit and experience a variety of underground construction sites and existing underground structures in five clusters/regions. The website www.einblick.swisstunnel.ch/en provides information about all of the activities on offer and, where necessary, the opportunity to register. The programme, which is constantly being expanded, is open to the public and – with a few exceptions – free of charge for participants.

The anniversary celebrations could not have been realised without the tremendous commitment of numerous volunteers. My special thanks go out to them and, especially, to our loyal sponsors. However, my thanks also go out to the speakers, exhibitors and organisers who always make it possible for us to hold the STC in a high quality manner.

50 Jahren viel erreicht und ihre Spuren im Untertagbau hinterlassen. Wir freuen uns alle auf die nächsten erfolgreichen Jahre!

In diesem Sinne wünsche ich Ihnen viele interessante Begegnungen und lehrreiche Stunden beim STC 2023 und bei den weiteren Aktivitäten in unserem Jubiläumsjahr.

Es grüsst Sie herzlich Ihr
Stefan Maurhofer, Präsident

STS Swiss Tunnelling Society
FGU Fachgruppe für Untertagbau

The STS has achieved a lot in the last 50 years and has left its mark on underground construction. We are all looking forward to the successful years to come!

With this in mind, I wish you plenty of interesting and educational experiences at the STC 2023 and during the other activities planned for our anniversary.

Yours sincerely
Stefan Maurhofer, President

STS Swiss Tunnelling Society

Jubiläumsschrift • Anniversary Words

Alexander Grass

lic.oec.publ., Journalist,
Loco, Schweiz

Ohne Tunnel keine moderne Schweiz

50 Jahre FGU

Der Untertagbau war eine Voraussetzung zum Entstehen der modernen Schweiz. Die Schweiz war Pionierin beim Bau von Alpenstrassen, die ohne Sprengarbeit nicht entstehen hätten können, und die Bahntunnel am Gotthard und Simplon waren über 100 Jahre lang die längsten der Welt. So entstanden kostengünstige und zuverlässige Handelswege, die über die Schweiz hinaus auch die starken Wirtschaftsräume in Italien und Deutschland haben entstehen und wachsen lassen. Von 1850 bis heute stieg die Produktivität pro Arbeitsstunde im Tunnelbau um den Faktor 100 – das ist mehr als in fast allen anderen Industrien. Der Tunnelbau ist zugleich ein Spiegel der Gesellschaft, von Arbeitsmedizin und Arbeitssicherheit. Ohne diese Erfolge wären die heutigen Weltrekordtunnels undenkbar.

No tunnels? No modern-day Switzerland

50 years of the Swiss Tunnelling Society

Underground mining to create roads was an essential part of the development of modern-day Switzerland. Switzerland pioneered the construction of Alpine roads that would have been impossible to build without the use of blast works, and the Gotthard and Simplon railway tunnels were the longest of their kind in the world for more than 100 years. Cost-effective and reliable trade routes were created, which, in addition to boosting Switzerland's economy, also enabled powerful economic areas in Italy and Germany to emerge and grow. From 1850 to the present day, productivity per hour of labour in tunnel construction has increased by a factor of 100 – more than in almost any other industry. Tunnelling can also be seen as a reflection of society, occupational health and work safety. Without these achievements, current world-record breaking tunnels would be unthinkable.

Vor 50 Jahren, am 12. September 1973, wurde die Fachgruppe für Untertagbau (FGU) gegründet. In den Protokollen der Gründungsversammlung findet sich zwar kein Wort darüber, doch waren es bewegte Zeiten im Schweizer Tunnelbau. Wenige Tage vor der Gründungsversammlung der FGU hatte die Arbeitsgemeinschaft Gotthard-Strassentunnel Nord eine Aussprache mit Bundesrat Hans-Peter Tschudi.

Fifty years ago, on 12 September 1973, the Swiss Tunnelling Society (STS) was founded. Although the minutes taken at the founding meeting do not mention much about the challenges of the era, these were turbulent times in the history of Swiss tunnelling. A few days before the STS's founding meeting, the Gotthard Tunnel North Consortium was in discussion with Federal Councillor at the time, Hans-Peter Tschudi.

Die Arbeitsgemeinschaft kämpfte beim Bau des längsten Autotunnels der Welt mit geologischen Schwierigkeiten, mit Mehrkosten, mit dem Mangel an qualifiziertem Personal, mit der Inflation und mit der Bauherrschaft. Bundesrat Tschudi wollte das Schlimmste verhindern – den Gang vor das Bundesgericht oder gar den Konkurs des Konsortiums. Too big to fail: Im Parlament war die Rede vom „Lochtrauma", denn die Mehrkosten am Gotthard und Seelisberg fielen zusammen mit jenen am Furka-Basistunnel.

Es ist kein Trost, dass es 20 Jahre später wieder zu einer Krise gekommen ist – beim Bau des Gotthard-Basistunnels. Der Bundesrat habe in seiner Botschaft über die Neue Eisenbahn-Alpentransversale (NEAT) die Kosten aus politischen Gründen absichtlich zu tief geschätzt, hiess es. Und als sich 1996 im Piora-Sondierstollen ein Wassereinbruch ereignete, gingen die Kontroversen erst richtig los, mit inbegriffen war ein geologischer Expertenstreit. Die Machbarkeit der Pioramulde wurde zum politischen Pfand der Basistunnel-Gegner. Als 2003 Mehrkosten gemeldet wurden, folgten gegenseitige Schuldzuweisungen. Die Ersteller, die Bauherrin, das Bundesamt für Verkehr, die parlamentarische Aufsicht, die Medien – alle redeten mit allen und jeder Handlungsstrang folgte einer anderen Dynamik. Die Grösse des Projektes und seine Komplexität erreichten für alle Beteiligten ein noch nie da gewesenes Mass: für Ersteller, Bauherrin, Bundesamt, für die parlamentarische Aufsicht, die Politik und die Medien. Wir lernen: Tunnelbauer müssen nicht nur mit schwierigen Gesteinsformationen umgehen können.

Strassen und Tunnels

Bundesrat Simeon Bavier war Tiefbauingenieur und ihm verdanken wir ein Buch über die Strassen der Schweiz, das 1878 erschienen ist [1]. Von den Zeiten Cäsars und Hannibals bis zum Auftritt von Napoleon und Suworow war der Zustand der Strassen schlecht, sie waren oft Rinnsale und während vieler Monate mit Schutt und grossen Steinen bedeckt. Die Querung der Alpen war unbequem, schwierig und gefährlich.

Bei der Erschliessung der Alpen mit Strassen im modernen Sinn spielten Schweizer Tunnelbauer die Vorreiterrolle [2]. Im Jahr 1696 wurde am Bergünerstein beim Albulapass zum ersten Mal eine 800 Schritt lange Strasse in den Fels gesprengt. Es folgte Pietro Morettini, der 1708 das Urnerloch geschaffen hat, den ersten Tunnel der Schweiz. Bahnbrechend war der ab 1736 gebaute Felsenweg bei Leukerbad. 1738 folgte der vierte, mit Sprengarbeit geschaffene Strassenabschnitt im Alpenraum, es war der in der Viamala, die vorher weglos gewesen war.

Von 1801 bis 1807 wurde unter Napoleon die Simplonstrasse gebaut, es entstanden Alpenstrassen am Mont Cenis ab 1803, am Splügenpass und am San-Bernardino-Pass ab 1818, am Stilfser Joch ab 1820, in Ampezzo ab 1823. Das waren

During construction of the longest road tunnel in the world, the Consortium was struggling with geological difficulties, additional costs, a lack of qualified personnel, inflation and relations with the contractor. Federal Councillor Tschudi wanted to avoid the worst – going to the Federal Court or even filing for the Consortium's bankruptcy. It was too big to fail. There was talk in parliament of "hole trauma", because the additional costs at the locations of Gotthard and Seelisberg coincided with those at the Furka Base Tunnel.

It is no consolation that, 20 years later, another crisis emerged – during construction of the Gotthard Base Tunnel. Some individuals claimed that, for political reasons, the Federal Council had deliberately underestimated the costs in its message regarding the new NRLA (New Railway Link through the Alps) transalpine tunnels. And when a water leak occurred in the Piora exploratory tunnel in 1996, the controversy really took off, involving a dispute between geological experts. The feasibility of the Piora excavation became the political pawn for base tunnel opponents. When additional costs were reported in 2003, mutual accusations ensued. The builders, the owner, the Federal Office of Transport, parliamentary oversight, the media – everyone was talking to everyone else, and each course of action followed a different dynamic. The size of the project and its complexity reached an unprecedented level for everyone involved: for the builders, the owner, the Federal Office, parliamentary authorities, politicians and the media. What we learned from this: Tunnel builders don't only have to be able to deal with difficult rock formations.

Roads and tunnels

Back in the late 1800s, Federal Councillor Simeon Bavier was a civil engineer – and it is thanks to him that a book on Switzerland's roads was published in 1878 [1]. From the times of Caesar and Hannibal to the appearance of Napoleon and Suvorov, road conditions were poor; they were often simply made up of rivulets and were covered with rubble and large stones for months on end. Crossing the Alps was inconvenient, difficult and dangerous.

Swiss tunnel builders played a pioneering role in opening up the Alps with the construction of more modern roads [2]. In 1696, an 800-step road was blasted into the rock for the first time at Bergünerstein near the Albula Pass. Next came Pietro Morettini, who created the Urnerloch in 1708, Switzerland's first tunnel. The cliff path near Leukerbad, built from 1736 onwards, was also ground-breaking. In 1738, the fourth stretch of road in the Alpine region created with blasting work ensued; it led to Viamala, which had previously been pathless.

The Simplon road was built under the rule of Napoleon from 1801 to 1807, and other Alpine roads were built along Mont Cenis from 1803, along Splügenpass and San Bernardino Pass from 1818, along the Stilfser Joch from 1820 and in

Strassen, die nur mit Sprengstoffen geschaffen werden konnten. Von 1819 bis 1830 wurde die Gotthard-Strasse in mehreren Etappen fahrbar gemacht, zur gleichen Zeit wie die Alpenstrassen am Semmering und Brenner. Die Schweiz galt als Vorbild.

Beim Bahn-Tunnelbau war die Schweiz zunächst ein Spätzünder. Für den Bau der ersten grossen Bahnverbindungen mussten erst politische wie ökonomische Voraussetzungen geschaffen werden. Mit dem Aufbau der Kreditanstalt wurde das Kapital zum Eisenbahnbau organisiert und die Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) bildete die dazu nötigen Ingenieure aus. Beide Institutionen gehen auf Alfred Escher zurück. Doch anfänglich war die Schweiz angewiesen auf ausländisches Know-how, erst beim Bau des Simplontunnels wirkten Schweizer Fachleute mit, zum Beispiel der Geologe Albert Heim von der ETH. 1882 wurde der Gotthard-Bahntunnel eröffnet, und damit begann eine neue Epoche. Über 100 Jahre lang blieben die Bahntunnels am Gotthard und Simplon die längsten der Welt.

Nach dem Zweiten Weltkrieg setzte die Massenmotorisierung ein. Während in den vom Weltkrieg zerstörten Nachbarländern nach Kriegsende rasch Autobahnnetze bis an die Schweizer Grenze herangebaut worden waren, war die Schweiz noch ohne Hochleistungsstrassen. Der Strassenbau war eine Angelegenheit der Kantone und der Bau der grossen Verbindungsstrassen verlief ohne Koordination. Erst 1959 lag der Schlussbericht der Kommission für die Planung des Hauptstrassennetzes und damit auch des Nationalstrassennetzes vor [3]. In den 1960er- und 1970er-Jahren wurden die Nationalstrassen gebaut mit dem Gotthard-Strassentunnel als grösstem Einzelbauwerk.

Die Tunneldatenbank der Fachgruppe für Untertagbau spiegelt diese Infrastrukturgeschichte der Schweiz wider. Bis im Jahr 2019 sind darin 1316 Tunnelbauten verzeichnet. Es zeigen sich dabei vier scharf voneinander abgegrenzte Kapitel. Von den insgesamt 560 Bahntunnelns waren bis 1929 schon die meisten, nämlich 456 Tunnels, vollendet. Höhepunkte waren der Bau der Gotthardbahn, der Lötschberg-Simplon-Strecke und der Rhätischen Bahn. Der grosse Ausbau der Wasserkraftwerke begann in den 1950er-Jahren und endete Ende der 1990er-Jahre. Die Ära der Strassentunnels begann 1960: 324 von insgesamt 375 Strassentunnels entstanden von 1960 bis 2019. Zuletzt erlebten wir ein Revival des Eisenbahntunnelbaus mit der NEAT, aber auch im Unterland mit der S-Bahn Zürich zum Beispiel, mit dem Bau von „Bahn 2000“ oder der Metro in Lausanne.

Partnerschaftliche Kultur

„Gross, grösser, Geldvernichter“, so lautete ein Artikel, der im deutschen Südkurier über Kostenexplosionen bei Grossprojekten erschienen ist [4]. Die positiven Gegenbeispiele in dem Beitrag kamen aus der Schweiz. Ich frage mich, was den Tunnelbau in der Schweiz so anders erscheinen lässt.

Ampezzo from 1823. These were roads that could only be built with explosives. From 1819 to 1830, the Gotthard road was made drivable in several sections – at the same time as the Alpine roads at the Semmering and Brenner. Switzerland was considered a model road-building nation.

That being said, Switzerland was initially a late bloomer when it came to railway tunnel construction. Political and economic conditions needed to be created before the first major rail routes could be built. With the establishment of the Kreditanstalt (now Credit Suisse), capital for railway construction was organised and the Swiss Federal Institute of Technology (ETH) trained the necessary engineers. Both institutions can be traced back to Alfred Escher. But initially Switzerland was dependent on foreign know-how; it was not until the construction of the Simplon Tunnel that Swiss experts were involved – for example geologist Albert Heim from the ETH. In 1882, the Gotthard railway tunnel was opened and a new era began. For over 100 years, the Gotthard and Simplon railway tunnels remained the longest in the world.

After the Second World War, mass motorisation took off. In neighbouring countries devastated by the war, motorway networks were quickly built up close to the Swiss border after the war ended, but Switzerland still had no high-capacity roads. Road construction was a cantonal affair, and the construction of major roads was uncoordinated. It was only in 1959 that the Commission for Major Road Network Planning – and the National Road Network – produced a final report [3]. In the 1960s and 1970s, national roads were built, with the Gotthard road tunnel as the largest stand-alone structure.

The tunnel database compiled by the Swiss Tunnelling Society reflects the history of this type of infrastructure in Switzerland. Up to 2019, 1,316 tunnel constructions are listed within it. Four distinct chapters are clear. Of a total of 560 railway tunnels, most – 456 tunnels – had already been completed by 1929. Highlights included the Gotthard Railway Line, the Lötschberg-Simplon Railway Line and the Rhaetian Railway Line. Then, major expansion of hydroelectric power plants began in the 1950s, ending in the late 1990s. The era of road tunnels began in 1960: 324 of a total of 375 road tunnels were built between 1960 and 2019. Most recently, Switzerland experienced a revival of railway tunnel construction with the NRLA, as well as in the nation’s lowlands, with, for example, the Zurich suburban railway, the construction of “Bahn 2000” or the metro in Lausanne.

Partnership culture

“Big, bigger, money burners” was the title of an article that appeared in the German Südkurier about cost explosions in large-scale construction projects [4]. Positive counter-examples were then published in Switzerland. I sometimes wonder what makes tunnel construction in Switzerland seem so different. It’s not so much the technical innovations – as

Die technischen Neuerungen sind es eher nicht – so gross sie sind, bleiben sie nie lange ein Geheimnis, mit der Wissenschaft finden sie rasch Verbreitung und Nachahmung. Der politische und rechtliche Rahmen garantiert Oppositionsgruppen eine machtvolle Mitsprache bei Infrastrukturbauten, und ist der politische Prozess abgeschlossen, ist der Weg frei zum Bau, ohne nachträgliche politische Interventionen – zumindest theoretisch. Dieser Rahmen ist wichtig, doch erklärt er nicht alles. Etwas Einzigartiges könnte die Partnerschaft und Zusammenarbeit zwischen Bauherrschaft und Unternehmen sein.

Die Beziehungen zwischen Bauherren, Planern, Lieferanten und Bauunternehmen kann man als Ausdruck der Kultur im Umgang miteinander sehen. Das Vertragswesen hat Höhen gesehen und Tiefen. Die dankbaren Bauherren aus dem Kanton Uri haben 1708 Pietro Morettini jene Mehrkosten geschenkt, die ihn sonst ruiniert hätten. Louis Favres Firma dagegen ging zugrunde. Beim Bau des Simplontunnels wurden Bauherrschaft und Unternehmen gleichermassen überrascht von der Geologie, und in einem Zusatzvertrag einigten sie sich auf die Verteilung der Mehrkosten. In den 1970er-Jahren endeten viele Projekte vor Gericht. Der Strassentunnel am Gotthard führte fast zum Konkurs des nördlichen Konsortiums. Die Erfahrungen vom Bau des Bahntunnels von 1882 und des Strassentunnels von 1980 vor Augen wurden noch vor dem Bau der NEAT neue Vertragsmodelle entwickelt mit Mechanismen zur Lösung von Streitigkeiten. Zudem wurde das Risiko zwischen Unternehmer und Bauherren besser verteilt. Mit Erfolg: Von über 3000 nachträglichen Forderungen landete nach dem Bau des Gotthard-Basistunnels keine einzige vor Gericht. Sie wurden auf dem Baustellenweg, im Streitschlichtungsverfahren oder mit einem Vergleich erledigt [5]. Aus den Erfahrungen der Vergangenheit wurde gelernt – in der Schweiz sind Normen zum Projektmanagement und zur Vertragsabwicklung geschaffen worden, die international beachtet und übernommen worden sind.

Leider ist damit die Geschichte nicht zu Ende erzählt – am Brenner-Basistunnel endete die Zusammenarbeit mit einem Eklat. Einem Konsortium wurde gekündet, und eines der grössten Baulose am Brenner wurde neu ausgeschrieben. Das sollte Warnung genug sein. Der partnerschaftliche Umgang ist Pflichtstoff für alle Generationen, eine Errungenschaft, die immer wieder neu bestätigt und erarbeitet werden muss. Und mittendrin in diesem Thema steht die Fachgruppe für Untertagbau, in der Bauherren, Unternehmer, Planer und die Industrie vertreten sind.

Innovationstreiber Tunnelbau

Vom Tunnelbau gingen Innovationen aus, die weit in die Gesellschaft ausgestrahlt haben. Der Tunnelbau ist ein Spiegel der Sozialgeschichte, der Geschichte der italienischen Emigration in der Schweiz und auch der Fortschritte der Arbeitsmedizin. Die Berufskrankheiten kannte man anfänglich noch nicht, in Bezug auf Arbeitssicherheit herrschte Unwissen.

great as they are, they never remain a secret for long; they quickly gain widespread acceptance and emulation through scientific research. Political and legal frameworks guarantee opposition groups a powerful say in infrastructure construction – and once the political process is complete, the path to construction is clear, without subsequent political intervention – at least in theory. These frameworks are important, but they do not explain everything. So, I thought something unique about tunnelling in Switzerland could be partnership and cooperation between contractors and businesses.

The relationships between owner, planners, suppliers and construction companies can be seen as an expression of how these different cultures interact with each other. In Switzerland's history, contracting has seen highs and lows. In 1708, grateful owner from the canton of Uri gave Pietro Morettini the extra costs that would otherwise have ruined him. Louis Favre's company, on the other hand, went under. During the construction of the Simplon Tunnel, the developer and the company that hired him were equally surprised by the geology at hand, and in a supplementary contract they agreed on sharing the additional costs. In the 1970s, many projects ended up in court. The Gotthard road tunnel almost led to the bankruptcy of the northern Consortium. In view of lessons learned from the construction of the railway tunnel in 1882 and the road tunnel in 1980, new contract models with mechanisms for resolving disputes were developed even before the NRLA was built. In addition, risks were better distributed between contractors and owner. And all of this was successful – of more than 3,000 subsequent claims, not a single one ended up in court after the construction of the Gotthard Base Tunnel – they were settled on the construction site, in dispute resolution proceedings or with a settlement [5]. Individuals learned their lessons from past experience – standards for project management and contract execution have been created in Switzerland that have been observed and adopted internationally.

Unfortunately, the story does not end there – collaboration on the Brenner Base Tunnel ended in a scandal. A consortium was terminated and one of the largest construction lots on the Brenner Pass was put out to tender again. That should have been warning enough. Working in partnership is necessary for all generations – an achievement that needs to be repeatedly reaffirmed and worked on. And right in the middle of all these issues is the Swiss Tunnelling Society, in which owner, contractors, planners and the tunnel building industry are represented.

Innovative tunnel construction

Tunnel construction was a source of innovation that resonated with society. Tunnel construction is a mirror of social history – it speaks to the history of Italian emigration in Switzerland as well as to the progress of occupational health. Occupational accidents were initially disregarded, and there was a lack of knowledge about occupational safety.

Daniel Pometta wurde 1914 zum ersten Oberarzt der Schweizerischen Unfallversicherungsanstalt Suva gewählt. Pometta war Chefarzt im Arbeiterspital der Simplon-Unternehmung in Brig gewesen. Pomettas eindrückliche Dissertation aus dem Jahr 1906 beschreibt den Bau des Simplontunnels [6]. Pometta schrieb, die schwierigste Frage sei die gewesen, ob bei den im Berg zu erwartenden Verhältnissen von Luft und Temperatur menschliche Arbeit dort überhaupt noch möglich sei. Pomettas Untersuchungen zu Krankheiten und Unfällen der Arbeiter, aber auch jene über die sozialen Verhältnisse sind von historischem Wert. 70 % der Arbeiter waren Analphabeten und gehörten zu den ärmsten Bevölkerungsschichten Italiens.

Die Silikose war jahrzehntelang die schlimmste aller Berufskrankheiten. Mit dem Festungsbau während des Zweiten Weltkriegs wuchs die Zahl der Silikose-Erkrankungen um das Zehnfache [7]. 1944 handelte der Bundesrat. Er setzte das Nassbohrverfahren durch, Schotter musste berieselt werden, Lüftungen wurden verbessert. So verschwand der Staub beim Bohren fast ganz. Zudem wurden ärztliche Kontrollen eingeführt. Wer erkrankt war, wurde vom Arbeitsplatz weggewiesen. Bei Arbeitern und Unternehmen war das unbeliebt [8]. In 30 Jahren sank aber die Zahl der Silikose-Fälle um den Faktor drei.

Partikelfilter

Etwa 1960 begann der Bau der langen, tief liegenden Strassentunnels. Sie waren eine Herausforderung für die Verbesserung der Baustellenbelüftung. Beim Bau des San-Bernardino-Tunnels arbeiteten Wissenschaft, Suva und Konsortien gemeinsam an neuen Konzepten. Beim Bau des Gotthard-Strassentunnels wurden weitere Verbesserungen erreicht. Doch mit den Basistunnels am Lötschberg und Gotthard stellten sich Probleme riesigen Ausmasses.

Als sich der Bau neuer Alpentransversalen ankündete, war Hermann Egli Sektionschef Bau bei der Suva. Damals neu war die Erkenntnis, dass Dieselabgase krebsfördernd sind – auch bei Maschinen im Tunnelbau. Erste Grenzwerte folgten. Egli wusste: Es bräuchte bei den Schadstoffen im Dieselabgas eine Reduktion um den Faktor 100, um den Grenzwert sicher einhalten zu können. Eine klassische Baustellenbelüftung zur Verdünnung der Abgase mit Frischluft hätte in den langen Basistunnels niemals ausgereicht. Egli sagte: „Wir müssen etwas machen. Sonst können wir die NEAT nicht bauen." So entwickelten die Suva, die Wissenschaft und Vertreter der Industrie Dieselpartikelfilter, die heute nicht nur an Baustellen, sondern auch im Strassenverkehr millionenfach unterwegs sind [9].

Wie war das möglich in der kleinen Schweiz und nicht in Deutschland oder Österreich? Andreas Meyer, Ingenieur und Motorenspezialist, war beteiligt an diesem VERT-Projekt zur Entwicklung der Partikelfilter. Er sagte: Der Gotthard-Basistunnel sei der Auslöser gewesen. Entscheidend war der Bei-

Daniel Pometta was elected the first senior physician of the Swiss Accident Insurance Fund (Suva) in 1914. Pometta had been chief physician at the Simplon Company's workers' hospital in the Swiss town of Brig. Pometta's impressive dissertation from 1906 describes how the Simplon Tunnel was built [6]. Pometta wrote that the most difficult issue was whether human labour was still possible in the mountain, given the air and temperature conditions that were to be expected. Pometta's studies on workers' illnesses and accidents, as well as on social conditions, are of historical value. Seventy per cent of the workers were illiterate and belonged to the poorest classes of the Italian population.

For decades, silicosis was the worst of all occupational illnesses. With fortification construction during the Second World War, the number of silicosis cases grew tenfold [7]. In 1944, the Federal Council acted. It enforced a wet drilling method; ballast had to be sprayed, and ventilation was improved. As a result, the dust caused by drilling almost disappeared. In addition, medical checks were introduced. Anyone who fell ill was dismissed from the workplace until their condition improved. This was, however, unpopular with workers and companies [8]. But over 30 years, the number of silicosis cases fell by a factor of three.

Dust particle filters

Around 1960, construction of the long, low-lying road tunnels began. They were a challenge for improving construction site ventilation. During the construction of the San Bernardino Tunnel, scientists, Suva and consortia worked together on new concepts. Further improvements were achieved during the construction of the Gotthard Road Tunnel. But when it came to the base tunnels at Lötschberg and Gotthard, problems of enormous proportions arose.

When the construction of new transalpine tunnels began, Hermann Egli was head of the construction division at Suva. At that time, the realisation that diesel exhaust fumes were carcinogenic – including fumes from machines used in tunnel construction – was a new development. The first limit values followed. Egli knew that the pollutants in diesel exhaust would have to be reduced by a factor of 100 in order to safely comply with the limit value. Classic construction site ventilation to dilute the exhaust gases with fresh air would never have been sufficient in the long base tunnels. Egli said: "We have to think of something else. Otherwise we can't build the NRLA." So Suva, the scientific community and industry representatives developed diesel particulate filters, millions of which are now in use – not only at construction sites but also for road traffic [9].

How was this possible in little Switzerland and not in Germany or Austria? Andreas Meyer, an engineer and engine specialist, was involved in the VERT (reduction of emissions from diesel engines) project to develop particulate filters. He said: "The Gotthard Base Tunnel was the trigger.

trag von Herrn Egli von der Suva. Er hat das Problem nicht unter den Teppich gekehrt, er hat es angepackt. In grösseren Ländern mit ihren grossen Verwaltungen wäre ein solches Projekt bürokratisch wohl klein gerieben worden. In der kleineren Schweiz haben Leute auf unterschiedlichen Ebenen das Problem nicht nur erkannt, sondern auch trotz mancher Rückschläge gelöst.

Arbeitsunfälle

Gemessen an der Grösse der Bauwerke sank die Anzahl tödlicher Arbeitsunfälle enorm. Beim Bau des 15 km langen Gotthard-Bahntunnels von 1882 verunglückten 199 Arbeiter tödlich. In den 1960er-Jahren rechnete man beim Bau der grossen Alpentunnels bei jedem Kilometer Tunnelbau mit einem tödlichen Arbeitsunfall. Der Bau der NEAT hat noch einmal Massstäbe gesetzt mit einer Verbesserung um den Faktor zehn seit den 1960er-Jahren. Heute zeigt die Suva-Statistik: Die Zahl der Unfälle im Tiefbau kam immer näher heran an den Hochbau. Und die Sicherheit im Untertagbau wird weiter optimiert, zum Beispiel beim Brenner Basistunnel. Bei Crossrail, dem Grossprojekt in London, gilt das „target zero". Ein Fortschritt, dessen Bedeutung nur unterschätzt werden kann. Nur so sind die grossen Bauwerke am Gotthard denkbar – nach der alten Regel hätte der Basistunnel zweimal 57 tödliche Unfälle gefordert, das wäre in der Gesellschaft nicht vermittelbar gewesen. Die Arbeitssicherheit ist der Schlüssel für den Untertagbau der Zukunft.

Zukunft Tunnelbau

Als 1871 der erste Bahntunnel am Mont Cenis (Col du Fréjus) gebaut worden ist, wurden 200 Arbeitsstunden aufgewendet für den Ausbruch von einem Kubikmeter Fels. Beim Bau des Gotthard-Bahntunnels 1882 waren es noch 100 Stunden. Fünf Stunden waren es beim Gotthard-Strassentunnel und zwei Stunden beim Gotthard-Basistunnel [10]. Die Anwendung von Tunnelbohrmaschinen ist aus der Schweiz heraus mit entwickelt worden und hat international Beachtung gefunden. Entsprechend niedriger sind die Baukosten geworden. Zusammen mit den Fortschritten bei der Arbeitssicherheit und bei den Berufskrankheiten bedeutet das, dass Bauwerke realisierbar wurden, die früher undenkbar gewesen wären.

Die Zeit der Weltrekorde im Schweizer Tunnelbau ist wahrscheinlich vorbei. Bisher wurden 20 bis 30 km Tunnel im Jahr „produziert". Es öffnen sich jetzt neue Felder für Bauten im Untergrund. Wenn der Boden an der Oberfläche immer teurer wird, rechnen sich langfristig viel mehr Projekte. Kläranlagen, Lagerhäuser, Hörsäle, Cargo sous terrain, Endlager – alles unter Tage.

Im Geschichtsunterricht lernen wir viel über politische Persönlichkeiten und Parteien. Doch was wäre die Schweiz ohne die Gotthardbahn, ohne das, was im Untertagbau ge-

The contribution of Mr Egli from Suva was decisive. He did not sweep the problem under the carpet – he tackled it." In larger countries with major administrations, such a project would have been bureaucratically squashed. In a smaller country like Switzerland, people at different levels not only recognised the problem, but also solved it, despite some setbacks.

Workplace accidents

Measured against the size of the structures being built, the number of fatal workplace accidents fell dramatically. During construction of the 15-kilometre Gotthard Railway Tunnel in 1882, 199 workers suffered fatal accidents. In the 1960s, during construction of the large Alpine tunnels, one fatal work accident was expected for every kilometre of tunnel built. The construction of the NRLA has set new standards with an improvement by a factor of ten since the 1960s. Today, Suva statistics show that the number of accidents in underground construction has come closer and closer to that of above-ground building construction. And safety in underground construction is being further optimised, for example in the Brenner Base Tunnel. At Crossrail, a major project in London, the "target zero" principle applies. This is a step forward that cannot be underestimated in its importance. This is the only way the large-scale construction projects at Gotthard are conceivable – according to the old rule, the base tunnel would have caused 57 fatal accidents times two, which would not have been acceptable to society. Occupational safety is the key to underground construction in the future.

The future of tunnelling

When the first railway tunnel was built at Mont Cenis (Col du Fréjus) in 1871, 200 working hours were spent on excavating one cubic metre of rock. When the Gotthard Railway Tunnel was built in 1882, it took 100 hours. It took five hours for the Gotthard Road Tunnel and two hours for the Gotthard base tunnel [10]. The use of tunnel boring machines was co-developed by Switzerland and has attracted international attention. Construction costs have become correspondingly lower. Together with progress in occupational safety and occupational health, this means that structures have become feasible that would have been unthinkable in the past.

The time of world records in Swiss tunnel construction is probably over. Until now, 20 to 30 km of tunnels were built per year. New fields are now opening up for underground construction. If surface ground becomes more and more expensive, many more projects will pay off in the long run. Sewage treatment plants, warehouses, lecture halls, underground cargo, repositories – everything could be below ground.

In history lessons we learn a lot about political figures and political parties. But what would Switzerland be without the Gotthard Railway – without what has been created in under-

schaffen wurde! Millionen Tonnen Güter, Hunderttausende Personen werden dank der Tunnelsysteme bewegt, und mit den Gütern und Menschen reisen Ideen, Sprachen und Erfahrungen. Die Bedeutung der Infrastrukturen für die Entstehung der modernen Schweiz wird oft verkannt. Das gilt auch für den Tunnelbau. Die Namen der wichtigen Pioniere und Ingenieure sind kaum bekannt.

Die Investitionen in Infrastrukturen haben zum Wohlstand beigetragen. Zum Beispiel im Tessin: Für den Bau der Wasserkraftwerke von 1950 bis 1969 wurde dort eine Milliarde Franken investiert, das ist zweimal mehr als im Wohnungsbau. Dazu kommt noch der Autobahnbau mit Investitionen von 3.6 Milliarden Franken und die Basistunnels am Gotthard und Ceneri für 13 Milliarden Franken.

Die moderne Schweiz wäre undenkbar ohne Eschers Bahntunnel. Die Wasserkraftwerke waren Voraussetzung für den Sprung in die Moderne. Erste Bilanzen zeigen, dass die NEAT zum gewünschten Ziel der Verkehrsverlagerung tatsächlich einen Beitrag leistet, besser gesagt die grundlegende Voraussetzung dafür ist. Die Gesellschaft als Ganzes profitiert vom Tunnelbau. Es geht nicht um graduelle Verbesserungen, sondern um Quantensprünge, um neue historische Kapitel, die aufgeschlagen worden sind. Der Beitrag der Tunnelbauer zur modernen Schweiz war und bleibt und wird entscheidend sein. Die Tunnelbauer sind es, die Geschichte schreiben.

ground mining? Millions of tonnes of goods and hundreds of thousands of people are able to move thanks to the tunnel systems, and ideas, languages and experiences travel with the goods and the people. The importance of infrastructure that helped create a modern-day Switzerland is often misunderstood. This also applies to tunnel construction. Indeed, the names of the important pioneers and engineers are hardly known.

Investments in infrastructure have contributed to prosperity. For example, in Ticino: one billion francs were invested for the construction of hydroelectric power plants from 1950 to 1969, which is twice as much as was invested in housing construction. Then, there was motorway construction with investments of 3.6 billion francs and the base tunnels at Gotthard and Ceneri for 13 billion Swiss francs.

Modern-day Switzerland would be unthinkable without Escher's railway tunnels. The hydroelectric power plants were a prerequisite for the leap into the modern age. Initial balance sheets show that the NRLA is indeed contributing to the desired goal of shifting traffic, or rather is the fundamental prerequisite for it. Society as a whole benefits from tunnel construction. It is not a matter of gradual improvements, but of quantum leaps – of new historical chapters that have been opened. The tunnel builders' contribution to modern-day Switzerland has been and will remain decisive. It is the tunnel builders who write history.

Literatur/References

[1] Bavier, Simeon: Die Strassen der Schweiz: gedrängte Darstellung ihrer historischen Entwicklung und ihres gegenwärtigen Bestandes, Zürich 1878

[2] Ržiha, Franz: Das Dynamit – seine culturhistorische und technische Bedeutung – eine Denkschrift anlässlich der Ungarischen Milleniums Ausstellung 1896, Wien 1896. Online: https://archive.org/details/dasdynamitundse00aggoog, S. 5 ff

[3] EDI: Die Planung des schweizerischen Nationalstrassennetzes: Schlussbericht der Kommission des Eidg. Departements des Innern für die Planung des Hauptstrassennetzes. – Allgemeines, Bd. 1, Bern 1959; EDI: Die Planung des schweizerischen Nationalstrassennetzes: Schlussbericht der Kommission des Eidg. Departements des Innern für die Planung des Hauptstrassennetzes. – Planung des Autobahnnetzes, Bd. 2, Bern 1959; EDI: Die Planung des schweizerischen Nationalstrassennetzes: Schlussbericht der Kommission des Eidg. Departements des Innern für die Planung des Hauptstrassennetzes. – Strassenverbindungen über die Alpen, Bd. 5, Bern 1959

[4] Rosenberger, Walther: Groß, größer, Geldvernichter – Wie Megaprojekte und Kostenexplosion in Deutschland fast immer Hand in Hand gehen, in: Südkurier, Konstanz 30.11.2018. Online: https://www.suedkurier.de/ueberregional/wirtschaft/Gross-groesser-Geldvernichter-Wie-Megaprojekte-und-Kostenexplosion-in-Deutschland-fast-immer-Hand-in-Hand-gehen;art416,9976743

[5] Ehrbar, Heinz: Lehren und Lernen aus dem schweizerischen AlpTransit Projekt am Beispiel des Gotthard-Bahntunnels, in: Wa(h)re Kooperation im Bauvertrag – Notwendigkeit oder notwendiges Übel?, Graz 2020, S. 32

[6] Pometta, Daniel: Sanitäre Einrichtungen und ärztliche Erfahrungen beim Bau des Simplontunnels 1898–1906: Nordseite Brig, Winterthur 1906

[7] Stahel, Max: Kampf gegen die Silikose – Neue gesetzliche Grundlagen, Sonderdruck aus der Schweizerischen Baumeister- und Zimmermeister-Zeitung Hoch- u. Tiefbau, Nr. 51/1948-5/1949, Zürich 1949, CHBAR, Az. 412.180 Zürcherische Arbeitsgemeinschft zur Erforschung und Bekämpfung der Silikose in der Schweiz, Signatur: E3340B#1985/104#205*, Subdossier 7, Dokument 14, S. 4

[8] Suva: 50 Jahre SUVA – 1918–1968, Luzern 1968, S. 73 ff.

[9] Legerer, Friedrich; Mayer, Andreas: Vom Tunnelbau zur Verbesserung der Luft-Güte in Weltstädten – From tunnelling to improving of air quality in megacities, in: Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift, 161. Jg. (Heft 1–12), 2016, S. 1–6

[10] Lombardi, Giovanni: Evoluzione della costruzione di opere sotterranee – Dottorato in Ingegneria Strutturale, Sismica e Geotecnica – Colloquia Doctoralia, 12.07.2007, Lombardi SA, Signatur: N.Ref.: 11.57 B / 102.1-R-205, S. 25. Online: https://www.lombardi.ch/it-it/pubblicazioni/opere-sotterranee

Hauptsponsoren • Main Sponsors

AFRY Schweiz AG, Zürich

csc costruzioni sa, Lugano

Amberg Engineering AG
Amberg Technologies AG
VersuchsStollen Hagerbach AG

Emch+Berger Gruppe, Bern

Avesco AG, Langenthal

Frutiger AG, Thun

B+S AG, Bern

Gähler und Partner AG, Ennetbaden

Basler & Hofmann AG, Zürich

Gasser Felstechnik AG, Lungern

Bellini Personal AG, Zürich

Heitkamp Construction Swiss GmbH, Dierikon

Belloli SA, Grono
Rowa Tunnelling Logistics AG, Wangen SZ

Herrenknecht AG, Schwanau (DE)

WSP | BG Ingénieurs Conseils SA, Lausanne

Holcim (Schweiz) AG, Zürich

Implenia Schweiz AG, Opfikon

Infra Tunnel SA, Marin

IM Maggia Engineering SA, Locarno
IUB Engineering AG, Bern

Lombardi AG
Bellinzona-Giubiasco, Luzern, Fribourg

Marti Technik AG, Moosseedorf

Marti Tunnel AG, Moosseedorf

Master Builders Solutions Schweiz AG, Holderbank

Pini Gruppe AG, Grono

Renzo Tarchini Cantieri & Contratti SA Lugano

Robert Aebi AG, Regensdorf

SABAG Biel/Bienne Stahlcenter

Sika Schweiz AG, Zürich

Co-Sponsoren • Co-Sponsors

A. Aegerter & Dr. O. Bosshardt AG, Basel
ACO AG, Netstal
Bekaert (Schweiz) AG, Baden
CSD INGÉNIEURS SA, Fribourg
EBP Schweiz AG, Zürich
Everlux – Figueira da Foz, Portugal
GIPO AG, Seedorf
Gruner SA, Renens
ILF Beratende Ingenieure AG, Zürich
JAUSLIN STEBLER AG, Muttenz
Liebherr-Baumaschinen AG, Reiden
Locher Ingenieure AG, Zürich
MAPEI SUISSE SA, Sorens
PORR SUISSE AG, Altdorf
Promat AG, Münchwilen
Rothpletz, Lienhard + Cie AG, Aarau
Société Suisse des Explosifs (SSE), Brig

Ulrich Seewer, Dr. phil. nat., Bundesamt für Raumentwicklung ARE, Bern CH

Tunnels schaffen Verbindungen

Impulse für die Raumentwicklung dank neuer Erreichbarkeiten

Die Schweiz ist ein Tunnelland. Tunnels verringern Reisezeiten und schaffen neue Erreichbarkeiten. Sie dienen aber auch dem Schutz vor Naturgefahren und dem Schutz von Mensch und Umwelt. Das Bundesamt für Raumentwicklung hat eine Methodik zur Abschätzung von Auswirkungen von Verkehrsinfrastrukturen entwickelt und damit verschiedene grosse Infrastrukturprojekte untersucht, zum Beispiel auf der Gotthard-Achse, und dort signifikante räumliche Auswirkungen nachgewiesen.

Tunnels create connections

Improved accessibility encourages spatial development

Switzerland is a tunnelling country. Tunnels can reduce travel times and create new means of access for transportation. They also serve to protect people and the environment from natural hazards. The Swiss Federal Office for Spatial Development has developed a method for assessing the impacts of transport infrastructure and has used it to examine various large infrastructure projects, for example along the Gotthard axis, where significant spatial impacts have been demonstrated.

1 Die Schweiz ist ein Tunnelland

1.1 Historisches

Bereits die Römer reisten ab der zweiten Hälfte des 1. Jahrhunderts durch den Pierre-Pertuis-Tunnel bei Tavannes [1]. Der erste Strassentunnel der Neuzeit, das Urnerloch in der Schöllenenschlucht, ist in den Jahren 1707/1708 entstanden [2]. Im 19. Jahrhundert bohrten sich die Eisenbahnpioniere durch Schweizer Hügel und Berge. Ab den Sechzigerjahren des letzten Jahrhunderts entstanden im Zuge des Ausbaus der Nationalstrassen viele neuen Strassentunnel, und in diesem Jahrhundert schufen Flachbahntunnel neue Qualitäten. Meilensteine dieser Entwicklung sind die drei Tunnel am Gotthard: Bahnscheiteltunnel 1886, Strassentunnel 1980, Bahnbasistunnel 2016. Tunnels entstanden aber nicht nur für den Verkehr, sondern auch für die Ver- und Entsorgung sowie für militärische Zwecke. Gemäss dem Autor und Journalist Jost Auf der Maur beträgt die Länge aller begehbaren unterirdischen Tunnels, Kavernen, Spitäler, Bunker und Stollen 3750 km, dies entspricht der Strecke von Zürich nach Teheran [3].

1.2 Tunnels wirken sich räumlich aus

Die ersten Tunnels dienten dazu, unüberwindbare Hindernisse überhaupt passierbar zu machen und die Bahn- oder Strassenstrecken und die Steigung bzw. das Gefälle zu vermindern. Längere Tunnels schaffen neue Verbindungen oder Erreichbarkeiten. Gut illustrieren lässt sich das am Beispiel des Gotthards: „Um 1800 benötigen Reisende für die 310 Kilometer von Basel bis zur italienischen Grenze mindestens zehn Tage, bei schlechtem Wetter zwanzig und mehr. Mit der

1 Switzerland is a tunnelling country

1.1 History

As early as the second half of the 1st century, the Romans travelled through the Pierre-Pertuis tunnel near Tavannes [1]. The first modern road tunnel, the Urnerloch tunnel in the Schöllenen Gorge, was built in 1707–1708 [2]. In the 19th century, railway pioneers bored their way through Swiss hills and mountains. From the 1960s onwards, numerous new road tunnels were built as part of the nation's road expansion programme, and during the current century, flat railway tunnels brought about new travel advantages. Some of these milestones include the three tunnels at Gotthard: the railway tunnel built in 1886, the road tunnel built in 1980 and the railway base tunnel completed in 2016. Tunnels were not only built for traffic, however, but also for transporting supplies, disposing of waste and for military purposes. According to author and journalist Jost Auf der Maur, the length of all accessible underground tunnels, caverns, hospitals, bunkers and galleries amounts to 3,750 km, which is equivalent to the distance between Zurich and Tehran [3].

1.2 Tunnels have a spatial impact

The first tunnels served to make impassable obstacles passable and to reduce rail and/or road distances, as well as to lessen gradients or slopes. Longer tunnels create new connections and, in doing so, improve transport accessibility. The Gotthard example illustrates this point well: "In the early 1800s, travellers needed at least ten days to cover the 310 kilometres from Basel to the Italian border – and 20 or more in bad weather. When the road over the Gotthard pass was

Les tunnels créent des liens

Un élan donné au développement territorial grâce à de nouvelles liaisons

La Suisse est un pays de tunnels. Les tunnels réduisent les temps de parcours et créent de nouvelles voies d'accès. Ils servent également à protéger les personnes et l'environnement contre les risques naturels. L'Office fédéral du développement territorial de Suisse a développé une méthodologie pour évaluer l'impact des infrastructures de transport et l'a utilisée pour étudier différents grands projets d'infrastructures. Le nouveau tunnel ferroviaire de base à double tube percé sur l'axe du Saint-Gothard a amélioré le raccordement des territoires et créé un important potentiel de développement territorial. 60 à 80 % de l'augmentation du transport ferroviaire peuvent être attribués au transfert du trafic routier.

Le gallerie creano connessioni

La spinta allo sviluppo del territorio grazie a nuove accessibilità

La Svizzera è una terra di gallerie. Le gallerie riducono i tempi di percorrenza e creano nuove possibilità di accesso. Sono anche utili alla difesa contro i pericoli naturali e alla protezione dell'uomo e dell'ambiente. L'ufficio federale dello sviluppo territoriale ha sviluppato una metodologia per valutare l'impatto delle infrastrutture dei trasporti e quindi esaminato diversi grandi progetti infrastrutturali. Entrambe le nuove gallerie ferroviarie di base hanno portato ad una migliore urbanizzazione e danno vita ad un grande potenziale per lo sviluppo territoriale. Tra il 60 e 80 % del traffico addizionale su rotaia è da ricondurre al dislocamento dalla strada.

1830 eröffneten Fahrstrasse über den Gotthard verkürzt sich die Reisezeit massiv: Mit Kutschen und Schiffen dauert sie von Basel bis Chiasso 36 Stunden, ohne Pausen. Nach dem Bau der Gotthardbahn braucht man für die Strecke noch 8 Stunden und 15 Minuten. Im Lauf des 20. Jahrhunderts verringert sich die Reisezeit sukzessive auf 4 Stunden und 20 Minuten. Dank der NEAT bewältigt man die Linie heute in 3 Stunden und 40 Minuten – bequem sitzend, 65-mal schneller als um 1800 [4]."

Tunnels dienen aber auch dem Schutz vor Naturgefahren wie Lawinen oder Steinschlag. Damit können Gebiete ganzjährig und sicher erreicht werden. Tunnels schützen ferner sensible Naturräume und Landschaften oder Menschen, die an Verkehrsachsen wohnen. Gerade in dicht besiedelten Gebieten ist heute eine Erschliessung oder ein Kapazitätsausbau oft nur noch unter dem Boden möglich. Der Tunnelbau kann aber auch sehr ressourcenintensiv sein, das ausgebrochene Material muss deponiert werden und Tunnelportale sind oft besonders sensible Orte.

Raumplanerisch haben Tunnels also eine grosse Bedeutung, sie schaffen neue Erreichbarkeiten, umfahren Räume, schützen Mensch und Umwelt, schaffen Kapazitäten und ermöglichen eine Siedlungsentwicklung nach innen.

2 Fallbeispiele

2.1 Methodik

Das Bundesamt für Raumentwicklung hat die Auswirkung verschiedener neuer Tunnels (Vereinatunnel, Vue-des-Alpes-Tunnel, Lötschberg-Basistunnel sowie Westumfahrung von Zürich) untersucht [5–8]. Dabei kam die einheitliche, eigens entwickelte Methodik „Tripod" zur Anwendung [9]. Mit der Methode, die sich auf die drei erklärenden Faktoren der Verkehrswirkungen, wie zum Beispiel die Veränderung der Erreichbarkeit, Potenziale und Akteure, stützt, lassen sich die Interaktionen zwischen der Verkehrsinfrastruktur und der räumlichen Entwicklung erklären.

opened in 1830, the time it took to travel between these points was massively reduced: It took 36 hours from Basel to Chiasso via carriages and boats – without stopping. After the Gotthard railway was built, the journey still took 8 hours and 15 minutes. Over the course of the 20th century, travel time was gradually reduced to 4 hours and 20 minutes. Thanks to the NRLA, the journey now takes 3 hours and 40 minutes – 65 times faster than in the 1800s [4]."

Tunnels also serve to protect against natural hazards such as avalanches or falling rocks. This means that travellers can reach many areas all year round. Tunnels also protect vulnerable natural areas and landscapes, as well as people living along transport axes. Especially in densely populated areas, it is now often only possible to develop or expand capacity underground. However, tunnel construction can also be very resource-intensive, as the excavated material has to be deposited, and tunnel portals are often located in particularly delicate places.

In terms of spatial planning, tunnels are therefore very important; they create new access routes and bypass areas, they protect people and the environment, and they create resources and enable inward settlements to develop.

2 Case study

2.1 Methodology

The Swiss Federal Office for Spatial Development has been studying the impact of various new tunnels (Vereina Tunnel, Vue-des-Alpes Tunnel, Lötschberg Base Tunnel and Zurich Western Bypass) [5–8]. They used a standardised, specially developed "Tripod" methodology [9]. This is based on three factors related to impacts brought about by transport – changes in accessibility, potential and stakeholders – which can be used to explain the interactions between transport infrastructure and spatial development.

2.2 Erkenntnisse

Die Studien kommen zum Schluss, dass keine direkte und automatische Kausalbeziehung zwischen der Erstellung einer Verkehrsinfrastruktur und der räumlichen Entwicklung besteht [10]. Räumliche Auswirkungen hängen von mehreren Faktoren ab und entsprechen nicht zwingend den erwarteten Wirkungen. Eine Verkehrsinfrastruktur, welche die Erreichbarkeit verbessert, kann eine bereits im Gang befindliche Entwicklung verstärken oder verlangsamen, führt jedoch selten zur Umkehr eines bestehenden Trends. So löste zum Beispiel die neue Verbindung durch den Vereinatunnel Wirkungen aus: Der Tourismus im Unterengadin profitiert. Akteure aus der Tourismusbranche reagierten auf die neue Verkehrsverbindung und schufen neue Angebote oder richteten bestehende auf die neuen Möglichkeiten aus. Der positive Effekt auf den Tourismus spiegelt sich in einer wachsenden Beschäftigung in diesem Bereich wider. Die Zersiedelung der Landschaft blieb ebenso aus wie die befürchtete Verkehrslawine auf der Strasse. Vielmehr nahm der Anteil der Bahn sowohl im Personen- als auch im Güterverkehr zu. Die positive Einschätzung des neuen Bauwerks spiegelt sich in der Haltung der Bevölkerung wider, die das ehemals sehr kontrovers beurteilte Projekt heute gut akzeptiert. Die Verbesserung der Erreichbarkeit einer Region ist ein wichtiger Faktor, reicht jedoch nicht aus, um eine räumliche Entwicklung zu erklären. Ebenfalls eine wichtige Rolle spielen die vorhandenen sozioökonomischen Potenziale einer Region und die dort aktiven Akteure, wie zum Beispiel die Immobilienwirtschaft, die Raumplanungsbehörden, politisch Verantwortlichen sowie die Verkehrsteilnehmenden. Dabei zeigt sich, dass die räumlichen Auswirkungen der Verkehrsinfrastrukturen oft eher überschätzt worden sind. Dies kann allerdings auch damit zusammenhängen, dass die Auswirkungen oft langfristiger Natur sind und die Studien jeweils wenige Jahre nach der Eröffnung der Verkehrsinfrastruktur durchgeführt worden sind. So erkannte die Studie zum Lötschberg-Basistunnel, der 2007 eröffnet wurde, die sich heute zeigende dynamische Entwicklung in Teilen des Oberwallis erst ansatzweise. Auch die befürchteten negativen Auswirkungen auf den Tourismus im „unterfahrenen" Kandertal sind dank proaktiver Gegenmassnahmen nicht eingetreten. Es ist schwierig, räumliche Auswirkungen neuer Infrastrukturen zu isolieren. Der Grund liegt darin, dass eine neue Infrastruktur Bestandteil eines Verkehrssystems ist. In der Schweiz ist die Verkehrserschliessung oft von so guter Qualität und so flächendeckend, dass die Auswirkungen neuer Infrastrukturprojekte relativ gering sind. Es dauert lange, bis räumliche Auswirkungen sichtbar werden. Während sich diese Wirkungen entfalten, bestimmen verschiedene andere Faktoren, wie sich räumliche Struktur und Aktivitäten verändern, also wie zum Beispiel Unternehmen oder Haushalte ihre Standorte ändern. Deshalb lässt sich nicht immer klar festhalten, ob eine Entwicklung trotz oder wegen einer neuen Infrastruktur eingetreten ist.

2.3 Monitoring Gotthard-Achse (MGA)

Besonders spannend ist es natürlich, die Auswirkungen von Jahrhundertinfrastrukturen abzuschätzen. Auf der Gotthard-Achse gingen kürzlich neue Grossinfrastrukturen in Betrieb: der

2.2 Current knowledge

Studies conclude that there is no direct and obvious causal relationship between the construction of transport infrastructure and spatial development [10]. Spatial impact depends on several factors and does not necessarily correspond to the expected impacts of the infrastructure in question. Transport infrastructure that improves accessibility can reinforce or slow down development that is already underway, but rarely leads to the reversal of an existing trend. For example, the new connection created through the Vereina Tunnel has had an impact on the surrounding environment: Tourism in the Lower Engadine benefited. Stakeholders from the tourism industry responded to the new transport connection and created new attractions for travellers – or they adapted existing attractions to the new possibilities in store. The positive effect on tourism is reflected in growing employment in this sector. Urban sprawl did not occur, nor did the dreaded avalanche of traffic on the roads. Instead, the railways' share of both passenger and freight traffic increased. The positive assessment of this new project is reflected in the attitude of the people affected, who now accept the project, which used to be very controversial. Improving the accessibility of a region is an important factor, but it is not enough to explain spatial development. The existing socio-economic potential of a region and the parties active there, such as the real estate industry, spatial planning authorities, political leaders and transport users, also play an important role. It is apparent that the spatial impacts of transport infrastructures have often been overestimated. However, this may also be related to the fact that the impacts in question are often long-term in nature and that the studies were conducted a few years after the transport infrastructure projects were opened. For example, the study on the Lötschberg Base Tunnel, which began in 2007, only recently began to recognise the dynamic development in parts of Upper Valais that is evident today. The feared negative effects on tourism in the "underpassed" Kandertal Valley have also not materialised thanks to proactive countermeasures taken. In short, it is difficult to isolate spatial impacts of new types of infrastructure. The reason lies in the fact that new infrastructure is only part of a transport system. In Switzerland, transport accessibility is often of such good quality and so extensive that the impact of new infrastructure projects is relatively small. It takes a long time for spatial impacts to become visible. As these effects unfold, however, various other factors determine how spatial structure and activities change, i.e., how businesses or households change their locations. Therefore, it is not always possible to establish for sure whether a development has occurred in spite of or because of a new piece of infrastructure.

2.3 Monitoring the Gotthard Axis (MGA)

It is, of course, particularly exciting to assess the effects of infrastructure projects in this century. Recently, new major infrastructure projects went into operation in the Gotthard axis: the Gotthard Base Tunnel at the end of 2016 and the Ceneri Base Tunnel in April 2021. This project created a continuous four-metre-wide corridor for rail freight traffic. In ad-

Gotthard-Basistunnel Ende 2016 und der Ceneri-Basistunnel im April 2021. Damit wurde für den Güterverkehr ein durchgängiger Vier-Meter-Korridor geschaffen. Zudem ist in Altdorf ein neuer Kantonsbahnhof entstanden. Weitere Infrastrukturausbauten für Strasse und Schiene sollen folgen. Die neuen Infrastrukturen wirken sich auf die Entwicklung des Personen- und Güterverkehrs sowie auf die Raumentwicklung aus, insbesondere in den Kantonen Tessin und Uri. Das Monitoring Gotthard-Achse (MGA) untersucht diese Auswirkungen. In einer Ex-ante-Evaluation (MGA-Phase A) wurden Daten aus der Zeit vor der Eröffnung des Gotthard-Basistunnels (GBT) analysiert sowie die Trends und die zu erwartenden Auswirkungen beider Basistunnels und der damit verbundenen Ausbauten auf die Raumentwicklung in den Kantonen Uri und Tessin abgeschätzt.

Anschliessend wurde die Analysemethodik für die Durchführung der Ex-Post-Überwachungsphasen (MGA-Phasen B und C) verfeinert. Unterdessen liegen erste Zwischenergebnisse der MGA-Phase B vor für die Zeit nach Eröffnung des GBT und vor der Eröffnung des Ceneri-Basistunnels. Im Gegensatz zu den in Kapitel 2.1 vorgestellten Studien umfasst das MGA Ex-ante- und Ex-post-Analysen, die es ermöglichen, die Auswirkungen vor, während und nach der Inbetriebnahme zu bewerten. Ziel des MGA ist es zudem, zu klären, inwiefern die räumlichen Entwicklungen den politischen Zielen von Bund und Kantonen in den Bereichen Mobilität, Wirtschaft, Umweltschutz und Raumentwicklung entsprechen. Das MGA empfiehlt ferner privaten Akteuren und Behörden Begleitmassnahmen, um räumliche und verkehrliche Ziele zu erreichen. Die beteiligten Bundesstellen und Kantone betrachten das MGA als mögliches Vorbild für künftige Analysen. Auch sollen die Ergebnisse in die Planung von Handlungsräumen einfliessen.

Die Ergebnisse der ersten Analyse zeigen nicht unerhebliche Auswirkungen nach der Eröffnung des Basistunnels durch den Gotthard 2016 (Bild 1) [11].

So nahm der Personenverkehr auf der Schiene auf der Nord-Süd-Achse bis Ende 2019 deutlich zu. Fast alle Bahnhöfe im Tessin und in Uri verzeichneten deutlich mehr Reisende. Ausnahme bilden die Bahnhöfe von Airolo und Biasca auf der alten Bergstrecke, wo der Verkehr zurückgegangen ist. Je nach räumlichem Potenzial verstärkte sich die Wachstumsdynamik im Umfeld der Bahnhöfe.

Spannend ist in diesem Zusammenhang, dass der Anstieg des Schienenpersonenverkehrs am Gotthard (plus 1400 Reisende pro Tag) hauptsächlich auf eine Verlagerung des Verkehrs von der Strasse zurückzuführen ist (minus 1000 Reisende pro Tag). Zwischen 60 und 80 % des Wachstums im Personenverkehr auf der Schiene kommen von der Strasse, der Rest ist neu entstandener Verkehr, weil die Reisezeiten abgenommen haben. Die weitere Entwicklung nach der Eröffnung des Ceneri-Basistunnels verläuft ebenfalls sehr dynamisch, obwohl sie durch die Corona-Pandemie geprägt worden ist. Verlässliche Zahlen, die auch längerfristige Entwicklungen aufzeigen, dürften ab 2025 zur Verfügung stehen.

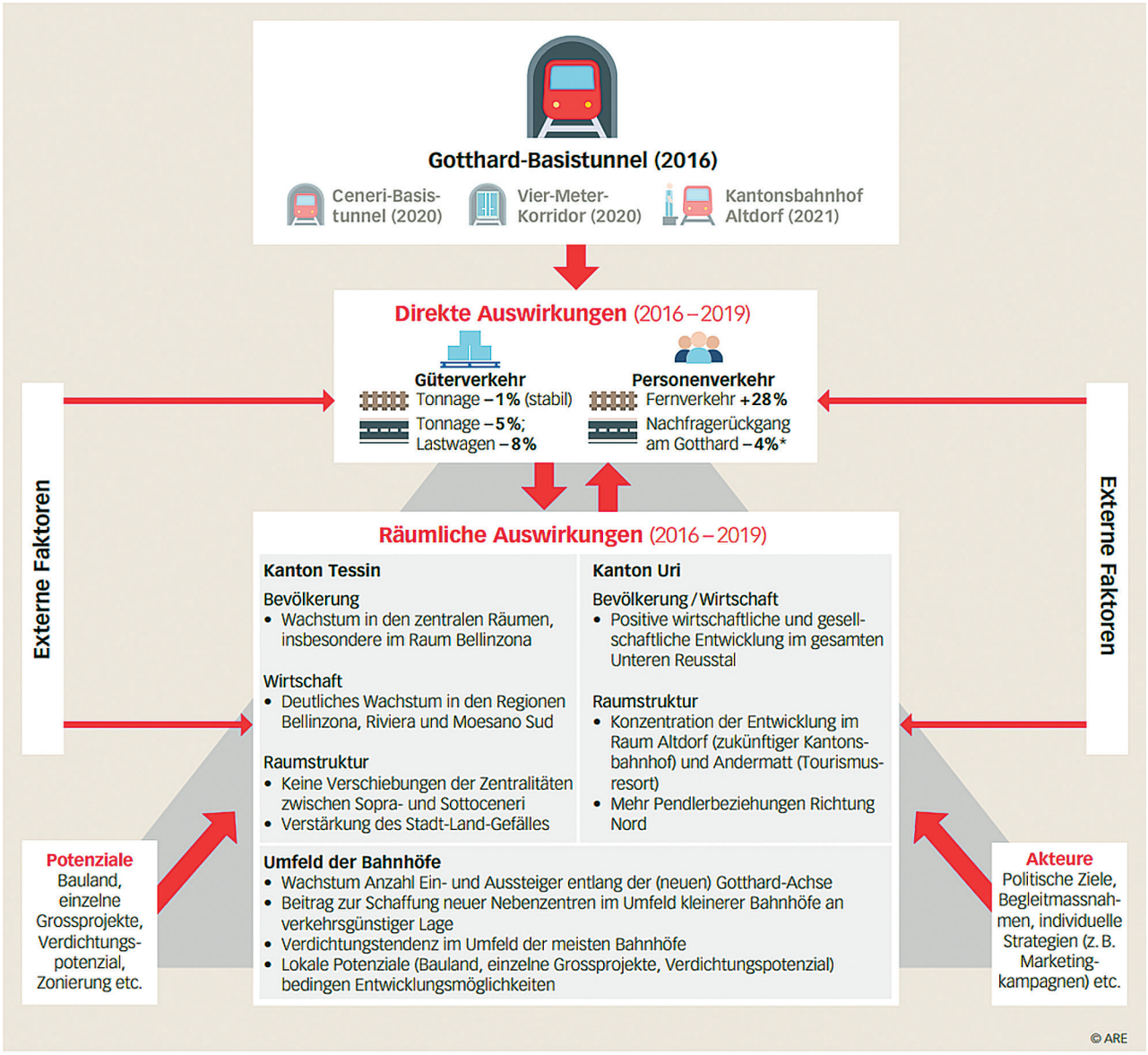
dition, a new cantonal railway station was built in Altdorf. Further infrastructure extensions for road and rail will follow. The new infrastructure projects have had an impact on the development of passenger and freight traffic, as well as on spatial development – especially in the Ticino and Uri cantons. The process of Monitoring the Gotthard Axis (MGA) is investigating these impacts. In an ex-ante evaluation (MGA phase A), data from the period before the Gotthard Base Tunnel (GBT) was opened was analysed, and the trends and expected impacts of both base tunnels and the associated effects on spatial development in the Uri and Ticino cantons were assessed.

Subsequently, the analysis methodology for the implementation of the ex-post monitoring phases (MGA phases B and C) was refined. Meanwhile, the first interim results of MGA phase B have become available for the period of time after the GBT was opened and before the opening of the Ceneri Base Tunnel. In contrast to the studies presented in Chapter 2.1, the MGA includes ex-ante and ex-post analyses that make it possible to assess the effects before, during and after commissioning. The MGA also aims to clarify to what extent the spatial developments correspond to the political goals of the federal government and the cantons in the areas of mobility, economy, environmental protection and spatial development. The MGA also recommends accompanying measures to private stakeholders and authorities in order to achieve spatial and transport objectives. The participating federal agencies and cantons regard the MGA as a possible model for future analyses. The results are also to be incorporated into planning areas of activity.

The results of the first analysis reveal considerable impacts after the Gotthard Base Tunnel opened in 2016 (Fig. 1) [11].

Thus, passenger traffic by rail on the north-south axis increased significantly by the end of 2019. Almost all stations in Ticino and Uri recorded a significant increase in passengers. The exceptions are the Airolo and Biasca stations on the old mountain route, where traffic declined. Depending on the spatial potential, the growth dynamics intensified in the vicinity of the railway stations.

In this context, it is exciting to note that the increase in rail passenger traffic at Gotthard (plus 1,400 travellers per day) is mainly due to a shift of traffic from the road (minus 1,000 travellers per day). Between 60 and 80 % of the growth in passenger rail traffic comes from travellers previously on the road, and the rest is newly created traffic because travel times have decreased. Further development after the Ceneri Base Tunnel was opened is also very dynamic, although it has been influenced by the COVID-19 pandemic. Reliable figures that also show longer-term developments should be available from 2025.



Quelle/credit: ARE 2021

1 Monitoring Gotthard Achse – Etappe B: Zwischenergebnisse der Auswirkungen des Gotthard-Basistunnels auf Raum und Verkehr
Monitoring the Gotthard Axis – Phase B: Interim results of the effects of the Gotthard Base Tunnel on spatial and transport issues

3 Grosse Würfe auch in Zukunft

Das Bauen von Verkehrsinfrastrukturen im Untergrund wird weitergehen, oft, weil es die einzige Alternative ist, oft, weil dadurch Mehrnutzen geschaffen werden kann. Neben klassischen Projekten, wie den Strassenumfahrungen von Le Locle und La Chaux-de-Fonds oder dem Brüttener- oder dem zweiten Zimmerbergtunnel für die Bahn, stehen verschiedene neuartige Projekte im Raum. Zu erwähnen sind Cargo sous terrain, mit dem auf privater Basis eine neuartige, in erster Linie unterirdische Infrastruktur für den Güterverkehr geschaffen werden soll [12], oder eher visionäre Hyperloop-Projekte für die Schweiz. Ob ein ganz grosser Wurf dabei sein wird, wie die drei Tunnelgenerationen am Gotthard, wird sich zeigen. Das Potenzial ist vorhanden. Tunnels werden für die Raum- und Verkehrsplanung von Bedeutung bleiben. Soll das

3 Big hopes for the future

The construction of underground transport infrastructure projects will continue – often because it is the only alternative to road construction, often because it can create added value. In addition to classic projects, such as the Le Locle and La Chaux-de-Fonds road bypasses or the Brütten or second Zimmerberg railway tunnels, there are various new projects on the horizon. Other things worth mentioning are the Cargo sous-terrain project, which will be carried out on a private basis and which aims to create new, primarily underground, infrastructure for freight transport on a private basis [12], or the more visionary Swiss Hyperloop projects. It remains to be seen whether there will be a big breakthrough, like the three generations Gotthard tunnels. But the potential is there. Tunnels will remain important for spatial and transport

Verkehrssystem nachhaltig weiterentwickelt werden, wie es die Mobilitätsstrategie des Bundesrats verlangt [13], werden Tunnels ohne Zweifel dazugehören. Sei es, um in urbanen Räumen eine Verlagerung auf den öffentlichen Verkehr zu erzielen, wie dies mit dem Léman Express im Raum Genf der Fall ist, oder um die vom Raumplanungsgesetz verlangte Siedlungsentwicklung nach innen voranzutreiben. Dabei stellt sich auch die Frage, ob die Raumplanung selber nicht auch viel stärker in den Untergrund gehen sollte, um die verschiedenen Ansprüche im Untergrund besser zu koordinieren und zu planen. Die Revisionsvorlage des Raumplanungsgesetzes, die im Moment vom Parlament beraten wird, sieht dies vor. Vorgesehen ist jedenfalls, dass die Daten zum Untergrund vermehrt allgemein zugänglich gemacht werden sollen. Welche Rollen die drei Staatsebenen und die privaten Akteure dabei haben werden, wird noch festzulegen sein. Ohne Zweifel wird aber die Schweiz in jedem Fall ein Tunnelland bleiben.

planning. If the transport system is to be developed sustainably, as the Federal Council's mobility strategy demands [13], tunnels will undoubtedly be part of it, whether the aim is to achieve a transport shift in urban areas, as is the case with the Léman Express in the Geneva area, or to promote inward settlement developments as required by the Spatial Planning Act. This also raises the question of whether spatial planning itself should even go further underground in order to better coordinate and plan for the various demands that come from building underground. The draft revision of the Spatial Planning Act, which is currently being discussed by parliament, provides for this issue. In any case, the current plan is that data collected from underground projects should be made more generally accessible. The roles of Switzerland's three levels of government and private parties in this process have yet to be determined. Without a doubt, however, Switzerland will remain a tunnelling country.

Literatur/References

[1] Historisches Lexikon der Schweiz
[2] Wikipedia
[3] Die Schweiz unter Tag, Jost Auf der Maur, 2017, Echtzeitverlag
[4] https://www.alptransit-portal.ch/de/uebersicht/gesellschaft/ereignisse/ereignis/immer-kuerzere-reisezeiten/true (Download am 23.12.2022)
[5] Bundesamt für Raumentwicklung, 2006, Räumliche Auswirkungen des Vereinatunnels – eine Ex-post-Analyse
[6] Bundesamt für Raumentwicklung, 2006, Räumliche Auswirkungen des Vue-des-Alpes-Tunnels – eine Ex-post-Analyse
[7] Bundesamt für Raumentwicklung, 2012, Verkehrliche und räumliche Auswirkungen des Lötschberg-Basistunnels
[8] Bundesamt für Raumentwicklung, 2014, Auswirkungen der Westumfahrung von Zürich und der A4 durch das Knonaueramt
[9] Bundesamt für Raumentwicklung, 2002, Räumliche Auswirkungen der Verkehrsinfrastrukturen, Lernen aus der Vergangenheit, Methodologische Vorstudie
[10] Bundesamt für Raumentwicklung, 2015, Räumliche Auswirkungen von Verkehrsinfrastrukturen in der Schweiz, Historischer Synthesebericht: Zusammenfassung
[11] Bundesamt für Raumentwicklung, 2021, Monitoring Gotthard-Achse, Etappe B, Zusammenfassung der Zwischenergebnisse 2021
[12] www.cst.ch
[13] Bundesamt für Raumentwicklung et al., 2021, Mobilität und Raum 2050, Sachplan Verkehr Teil Programm

Guido Biaggio, Referent, dipl. Bauingenieur ETH, Bundesamt für Strassen ASTRA, Ittigen/CH
Richard Kocherhans, Referent, dipl. Bauingenieur ETH, Bundesamt für Strassen ASTRA, Zofingen/CH
Christoph Sigrist, MSc ETH in Raumentwicklung und Infrastruktursysteme, F. Preisig AG, Zürich/CH

Gotthard-Strassentunnel

Gesamtsystem und Instandsetzung erste Röhre

Der Gotthard-Strassentunnel mit seiner Länge von fast 17 km wurde 1980 gebaut und muss nun umfassend erneuert und saniert werden. Es wird eine zweite Tunnelröhre gebaut und anschliessend der bestehende Tunnel instand gesetzt. Derzeit wird das Massnahmenkonzept für die Sanierung erstellt. Dabei werden die Standards der zweiten Röhre übernommen. Es werden ausgewählte Themen aus der Projektierung aufgezeigt.

The Gotthard Road Tunnel

Overall system and repairing the first tube

The Gotthard Road Tunnel, measuring almost 17 km in length, was built in 1980. After forty years of use, it now needs to be comprehensively repaired and renovated. Construction of a second tunnel tube will begin soon, after which the existing tunnel will be repaired. At present, renovation measures are still being drawn up, and standards used for the second tube will also be adopted in the first. The following article contains a list of select topics from the project's planning phase.

1 Gesamtsystem Gotthard-Strassentunnel

1.1 Gotthard-Strassentunnel

1.1.1 Geschichte

Die Schweizer Geschichte ist untrennbar mit dem Gotthard verbunden. Er war lange Zeit ein unüberwindbares Hindernis. Erst um das Jahr 1230 wurde das Massiv mit dem Bau der Teufelsbrücke und der Twärrenbrücke ein erstes Mal überwunden.

Weitere Ausbauschritte folgten: Bau der ersten steinernen Teufelsbrücke (1585), Bau des ersten Verkehrstunnels in den Alpen mit dem Urner Loch (1708), Bau des Eisenbahntunnels

Quelle/credit: ETH-Bibliothek Zürich

1 *2. und 3. Teufelsbrücke*
2nd and 3rd Devil's Bridge

1 The Gotthard Road Tunnel's overall system

1.1 Gotthard Road Tunnel

1.1.1 History

Switzerland's history is inextricably linked with the Gotthard Tunnel. For a long time, people thought of its construction as an insurmountable obstacle. It was only around the year 1230 that individuals managed to cross the massif for the first time – with construction of the Teufelsbrücke (Devil's Bridge) and the Twärrenbrücke (Twärren Bridge).

Quelle/credit: Raimond Spekking

2 *Gotthard Nordportal*
Gotthard North Portal

Tunnel routier du Saint-Gothard

Système global et rénovation du premier tube du tunnel

Après plus de 40 ans de service et le passage d'environ 234 millions de véhicules, le tunnel routier du Saint-Gothard doit être entièrement modernisé et rénové. Pour ce faire, un deuxième tube de tunnel est actuellement en cours de construction, ce qui permettra ensuite de rénover le premier tube sans circulation. Après l'achèvement, le système global de tunnels routiers du Gothard sera créé, dans lequel, en raison des dispositions constitutionnelles et légales, chaque tube sera exploité avec une voie et une bande d'arrêt d'urgence. Actuellement, l'Office fédéral des routes travaille sur le programme de cette rénovation.

Galleria stradale del San Gottardo

Sistema complessivo e riparazione del primo tubo

Dopo più di 40 anni di funzionamento e più di 234 milioni di veicoli transitati, la galleria stradale del San Gottardo deve essere estesamente adeguata e risanata. A tale scopo è in costruzione un secondo tubo che permetterà la riparazione del primo tubo in assenza di traffico. Al termine dei lavori risulterà il sistema complessivo della galleria stradale del San Gottardo, nel quale in base alle disposizioni costituzionali e alle norme di legge ogni condotto viene messo in funzione con una corsia di marcia ed una corsia d'emergenza. L'ufficio federale delle strade sta attualmete facendo elaborare il piano di misure per la riparazione.

(1872–1882) und schliesslich der Bau des Gotthard-Strassentunnels (1970–1980). Die Reihe ist nicht abgeschlossen: der NEAT-Tunnel (1996–2006) und nun Bau der zweiten Strassentunnelröhre (seit 2020).

Der Gotthard-Strassentunnel ist nicht nur wegen seiner Länge von 16,9 Kilometern, sondern auch wegen seiner europäischen Bedeutung ein spezielles Bauwerk.

1.1.2 Planungs- und Baugeschichte

Nach einer gründlichen Analyse mit einem breiten Variantenstudium war es so weit: Der Gotthard-Strassentunnel wurde am 25. Juni 1965 ergänzend ins Nationalstrassennetz aufgenommen. Danach ging es – für heutige Verhältnisse – in einem unglaublichen Tempo vorwärts. Bereits vier Jahre später fing man mit dem Bau des Tunnels an. In der Zwischenzeit galt es, das optimale Projekt zu finden. Dazu verpflichtete man mit Parallelaufträgen die besten geeigneten Ingenieurbüros.

Weil man sich vorerst nicht für ein Projekt entschliessen konnte, wurden gleich zwei Generelle Projekte in die Vernehmlassung geschickt und vom Bundesrat genehmigt. Es wurde mit einer Bauzeit von 6 ½ bis 8 Jahren gerechnet, bei Kosten von rund CHF 340 Mio.

Die Frage einer zweiten Röhre verläuft wie ein roter Faden durch die Beratungen der zuständigen Baukommission. Alle damaligen Verantwortlichen waren überzeugt, dass ein zweiter Tunnel relativ rasch kommen wird. Bei der Projektierung gab man sich darüber immer wieder Rechenschaft, um so den späteren Bau einer zweiten Röhre zu erleichtern oder zumindest nicht zu erschweren, ohne aber dafür grosse Vorinvestitionen zu tätigen. Einen Beschluss für eine zweite Röhre gab es aber nie.

Der Bundesrat entschied am 16. Juni 1969, dass das Strassentunnelprojekt mit vier Lüftungsschächten und einem zusätzlichen Sicherheitsstollen gebaut werden soll. Er

Further development steps followed shortly thereafter: construction of the first Devil's Bridge made of stone (1585), construction of the first transport tunnel through the Alps via the Urner Loch (1708), construction of the railway tunnel (1872–1882), and finally, construction of the Gotthard Road Tunnel (1970–1980). And the list goes on; the NRLA (New Railway Link through the Alps) tunnel network was built from 1996–2006, and construction of the Gotthard tunnel's second tube has been a work in progress since 2020.

The Gotthard Road Tunnel is a special feat of engineering – not only because of its 16.9-kilometre length, but also because of its significance for Europe.

1.1.2 Planning and construction

After a thorough analysis with a wide range of options discussed, it happened. The Gotthard Road Tunnel's concept was added to the National Road Network on 25 June 1965. After that, things moved forward at an unbelievable pace – by today's standards, in any case. After only four years, construction began. In the mean time, the challenge was to find the best possible project design. In order to do this, parallel contracts were awarded to the most suitable engineering firms.

Because it was not possible to decide on a specific project for the time being, two general projects were submitted for consultation and approved by the Federal Council. A construction period of 6 ½ to 8 years was expected, with costs of around CHF 340 million.

The question of a second tunnel runs like a red thread through the deliberations of the responsible building commission. Everyone in charge at the time was convinced that a second tunnel would be needed relatively quickly. During project planning, this idea was repeatedly taken into account in order to make it easier, or at least less difficult, to build a second tube at a later date – but without having to

beschloss einen Rahmenkredit von CHF 306 Mio. und vergab die Arbeiten an zwei Konsortien. Am 21. August 1969 begann im Baulos Nord der Bau des Sicherheitsstollens, der feierliche Start der Bauarbeiten erfolgte am 5. Mai 1970. Von Anfang an gerieten die Arbeiten in Verzug, rasch zeigte sich, dass die prognostizierten sieben Jahre Bauzeit nicht einzuhalten sind. Am Schluss dauerte der Bau des Strassentunnels elf Jahre.

Ebenfalls kam es zu einer massiven Kostenüberschreitung: Die Gesamtkosten betrugen gemäss Kostenübersicht des Bundesamts für Strassenbau bei Bauende CHF 686 Mio., was eine Überschreitung um 124 % bedeutete.

Die feierliche Eröffnung des Gotthard-Strassentunnels mit rund 1200 Eingeladenen fand am 5. September 1980 statt. In Erinnerung bleibt die Rede von Bundesrat Hans Hürlimann mit dem heute noch oft zitierten Satz „Dieser Tunnel ist kein Korridor für den Schwerverkehr. In der baulichen Gestaltung ist diese Strasse unter dem Berg nicht für den Transport von Gütern konzipiert". Ein Irrtum, wie sich bald herausstellte.

Quelle/credit: ETH-Bibliothek Zürich

3 *Eröffnungsrede Bundesrat Hürlimann*
Opening speech by Federal Councillor Hürlimann

1.1.3 Betrieb seit 1980

Für den Betrieb des Bauwerks haben die beiden betroffenen Kantone Uri und Tessin 1980 eine Verwaltungsvereinbarung unterzeichnet. Eine paritätisch zusammengesetzte Betriebskommission war für den Vollzug der Vereinbarung zuständig. Diese Kommission wurde 2008 mit der Übernahme der Nationalstrassen durch den Bund aufgehoben.

Im ersten vollen Betriebsjahr 1981 sind rund 2,9 Millionen Fahrzeuge durch den Tunnel gefahren, seit 2015 liegt die Zahl (mit Ausnahme 2020 wegen Corona) bei etwas über 6 Millionen. Der Anteil der langen Fahrzeuge liegt bei rund 20 %. Seit Betriebsbeginn bis Ende 2021 haben rund 234 Millionen Fahrzeuge den Tunnel durchquert.

In der gesamten Betriebszeit haben sich 19 380 Pannen und 991 Unfälle ereignet. Regelmässig kommt es zu

make large preliminary investments. However, a decision in favour of a second tube was never made.

On 16 June 1969, the Federal Council decided that the road tunnel project should be built with four ventilation ducts and an additional emergency tunnel. It approved funding of CHF 306 million for the tunnel's framework and awarded contracts to two tunnel consortia. On 21 August 1969, construction of the emergency tunnel began in the north section, and construction work of the main tunnel ceremoniously started on 5 May 1970. Right from the beginning, work fell behind schedule, and it quickly became apparent that the projected seven-year construction time would not be met. Ultimately, it took eleven years to complete the road tunnel.

There was also a massive cost overrun. According to the cost overview made by the Federal Office for Road Construction, the total costs at the end of construction amounted to CHF 686 million, which meant an overrun of 124 %.

Ultimately, construction was completed, and the ceremonial opening of the Gotthard Road Tunnel took place on 5 September 1980 with around 1,200 invitees. Federal Councillor Hans Hürlimann gave a speech that many still remember today. He started it with the sentence: "This tunnel is no corridor for transporting heavy goods. Structurally, this road under the mountain is not designed for the transport of goods". Quite the opposite would soon turn out to be true.

1.1.3 In operation since 1980

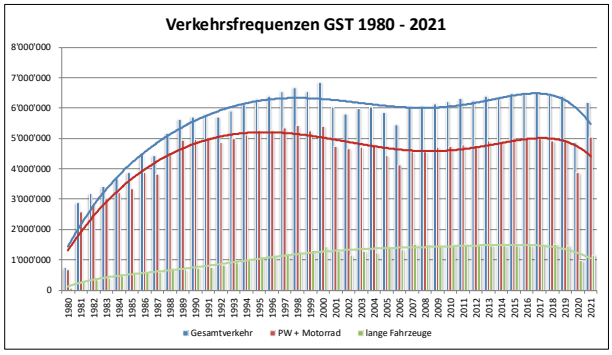
The two cantons most affected by the tunnel, Uri and Ticino, signed an administrative agreement for its operation in 1980. An operating commission with equal representation was responsible for implementing the agreement. This commission was abolished in 2008 when the national roads were taken over by the federal government.

In the first full year of operation in 1981, around 2.9 million vehicles travelled through the tunnel; since 2015, this figure has hovered at just over 6 million a year (with the exception of 2020 due to the COVID-19 pandemic). The share of longer transport vehicles is at around 20%. From the start of operation until the end of 2021, around 234 million vehicles have passed through the tunnel in total.

During the entire period of operation, 19,380 engine failures and 991 accidents have occurred. Smoke and fires are a regular occurrence, requiring the Gotthard fire brigade to be called out. Since 1992, when the data was first recorded, this has happened in 253 cases. The largest incident took place on 24 October 2011; eleven people died in the accident.

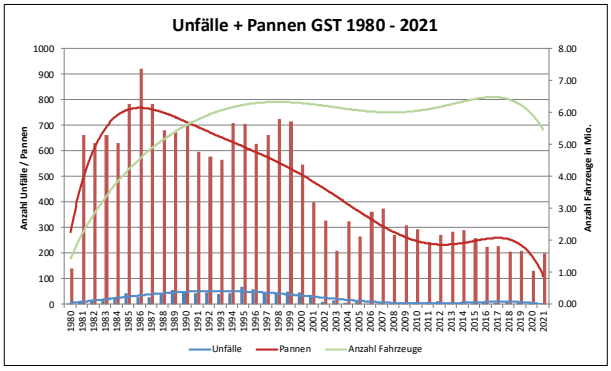
1.1.4 The tunnel's current state

Initially, maintenance and repair measures were carried out "conventionally"; that is to say with construction sites inside the tunnel with traffic lights. This soon became impossible



Quelle/credit: Amt für Betrieb Nationalstrassen

4 *Verkehrsfrequenz Gotthard-Strassentunnel 1980–2021*
Traffic volume in the Gotthard Road Tunnel 1980–2021



Quelle/credit: Amt für Betrieb Nationalstrassen

5 *Unfälle + Pannen Gotthard Strassentunnel 1980–2021*
Accidents + vehicle breakdowns in the Gotthard Road Tunnel 1980–2021

Rauchentwicklung und Bränden, bei denen die Schadenwehr Gotthard ausrücken muss. Seit der Erfassung ab 1992 geschah dies in 253 Fällen. Das grösste Ereignis fand am 24. Oktober 2011 statt; elf Menschen starben bei dem Unglück.

1.1.4 Zustand heute

Zu Beginn wurden Unterhalts- und Instandsetzungsmassnahmen „konventionell" durchgeführt; das heisst mit Baustellen im Tunnel mit Lichtsignalbetrieb. Bald einmal war dies wegen der hohen Verkehrsbelastung und der damit verbundenen Risiken nicht mehr möglich. Mit dem Konzept G2000 wurden die Arbeiten konzentriert auf Sperrnächte verteilt. Bis heute wird der Tunnel jeweils während 26 Nächten pro Jahr gesperrt und in dieser Zeit werden konzentriert alle anfallenden Inspektions-, Unterhalts- und Instandsetzungsmassnahmen durchgeführt.

Alle Bauteile werden in Intervallen von fünf bis sechs Jahren – bei kritischen sogar drei Jahren – Hauptinspektionen unterzogen. Eine beschleunigte Alterung der baulichen und elektromechanischen Anlagen wurde schon 2007 festgestellt. 1995 wurde mit dem Ersatz der Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen begonnen, um einen störungsfreien Betrieb bis zur Instandsetzung des Tunnels zu gewährleisten.

Eine Auslegeordnung für Unterhalt und Verfügbarkeit stellte fest, dass die Zunahme der Alterungsschäden mit der heutigen Erhaltungsstrategie nicht gebremst werden kann.

Fazit: Der Gotthard-Strassentunnel muss umfassend erneuert und saniert werden.

1.1.5 Sanierungsvarianten

Damit die Sanierungsarbeiten durchgeführt werden können, muss der Gotthard-Strassentunnel beidseitig für den Verkehr gesperrt werden (Vollsperrung). Im Rahmen des Erhaltungskonzeptes Gotthard wurde ein breiter Variantenfächer zu den möglichen Sanierungsvarianten geöffnet. Daraus resultierten zwei Bestvarianten.

due to heavy traffic and the associated risks. With the G2000 concept, work was concentrated during tunnel closures at night. To date, the tunnel is closed 26 nights a year, during which time all inspection, maintenance and repair work is carried out.

All components are subject to general inspections at intervals of five to six years – in the case of critical inspections, the intervals are three years apart. Workers already noticed accelerated ageing of the structural and electromechanical equipment in 2007. In 1995, replacement of operating and safety equipment started in order to ensure smooth operation until the tunnel was repaired at a later date.

A maintenance and availability assessment determined that the increase in damage due to ageing cannot be slowed down with the repair strategy currently in place.

In conclusion, the Gotthard Road Tunnel needs to be comprehensively renewed and repaired.

1.1.5 Repair options

In order for repair work to be carried out, the Gotthard Road Tunnel must be closed to traffic on both sides (full closure). As part of the maintenance concept, a wide range of possible repair options opened up. This resulted in two ideal options.

Option 1
Closing the Gotthard Road Tunnel
For private transport, rail access through the Gotthard Apex Tunnel (Göschenen-Airolo) will be offered. In addition, extra investments will be made to shorten winter road closures on the Gotthard pass road from 210 to 150 days. For heavy goods traffic, a lorry loading facility will be set up through the Gotthard Base Tunnel (Erstfeld-Bodio).

Option 2
Constructing a second tunnel tube through Gotthard
Repairing the first tunnel tube after completing and commissioning the second.

Variante 1
Sperrung des Gotthard-Strassentunnels
Für den PW-Verkehr wird ein Bahnverlad durch den Gotthard-Scheiteltunnel (G.schenen-Airolo) angeboten. Zudem soll mit zusätzlichen Investitionen auf der Gotthard-Passstrasse deren Wintersperre von 210 auf 150 Tage verkürzt werden. Für den Schwerverkehr soll ein Lkw-Verlad durch den Gotthard-Basistunnel (Erstfeld–Bodio) eingerichtet werden.

Variante 2
Bau einer zweiten Tunnelröhre durch den Gotthard
Instandsetzung der ersten Tunnelröhre nach Fertigstellung und Inbetriebnahme der zweiten.

1.1.6 Entscheid

Am 27. Juni 2012 hat sich der Bundesrat für den Bau einer zweiten Tunnelröhre mit anschliessender Sanierung der bestehenden Röhre entschieden. Das Volk und die Stände haben das Vorhaben mit der Volksabstimmung am 28. Februar 2016 angenommen.

Mit dem Bau der zweiten Röhre und anschliessender Sanierung des bestehenden Tunnels bleibt der Alpenschutzartikel gewahrt, weil auch nach Abschluss aller Arbeiten stets nur eine Fahrspur pro Richtung in Betrieb sein wird.

1.2 Gesamtsystem Gotthard-Strassentunnel (GTG)

1.2.1 Projekt Gesamtsystem

Der heutige Gotthard-Strassentunnel aus dem Jahr 1980 (GST) wird ergänzt durch eine zweite Tunnelröhre (2TG,

1.1.6 Decision

On 27 June 2012, the Federal Council decided to build a second tunnel tube before repairing the existing tube. Swiss voters and the cantons approved the project in a referendum on 28 February 2016.

With the construction of the second tube and subsequent renovation of the existing tunnel, the Alpine protection clause will be preserved, because, even after all the work has been completed, only one lane will be in operation in each direction.

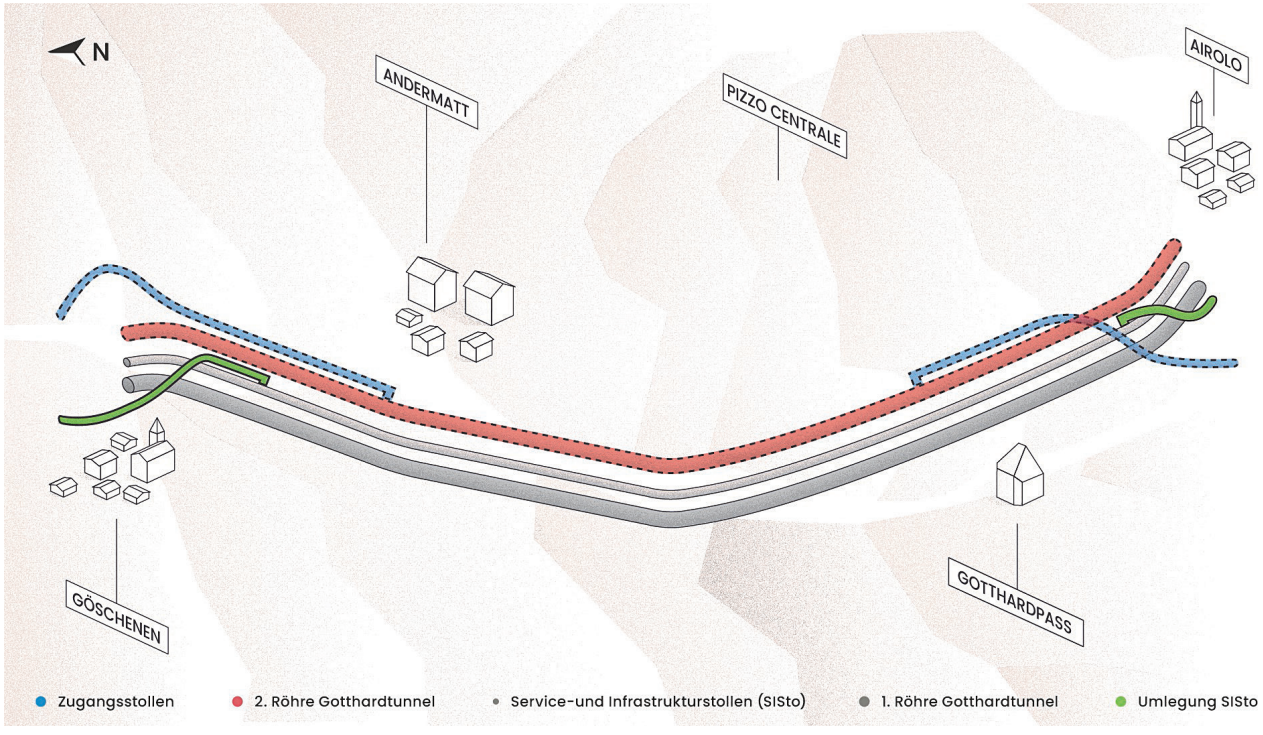
1.2 Overall Gotthard Road Tunnel System (GTS)

1.2.1 Overall system of the project

The current Gotthard Road Tunnel (GRT), built in 1980, will be complemented by a second tunnel tube (2GT, future north tube). Subsequently, the first tube (1GT, future south tube) will be repaired; in the final stage, the entire Gotthard Tunnel System (GTS) will be created. The two tunnel tubes will each be operated as single-lane tunnels with emergency lanes, but will serve as two-way tunnels for maintenance or in the event of major incidents. The GTS must guarantee all of these operating situations.

In concrete terms, this means that the second tunnel tube cannot be planned independently of the overall system as a new tunnel according to current standards and guidelines, but that the selected standards must also be implementable in the 1GT to be repaired.

In the future, the GTS will consist of the following elements:



Quelle/credit: ASTRA

6 Schema GTG
GTS scheme

zukünftig Röhre Nord). Anschliessend wird die erste Röhre (1TG, zukünftig Röhre Süd) instand gesetzt; im Endzustand entsteht das Gesamtsystem Gotthard-Strassentunnel (GTG). Die beiden Tunnelröhren werden je einstreifig mit Pannenstreifen betrieben, dienen aber für Unterhalt oder bei grösseren Ereignissen als Gegenverkehrstunnel. Alle diese Betriebsfälle muss das GTG gewährleisten.

Konkret heisst dies, dass die zweite Tunnelröhre nicht unabhängig vom Gesamtsystem als Neubautunnel gemäss den aktuellen Normen und Richtlinien geplant werden kann, sondern dass die gewählten Standards auch in der zu sanierenden 1TG umsetzbar sein müssen.

Das GTG besteht künftig aus folgenden Elementen:
- Zwei Tunnelröhren (Neubau 2TG und Instandsetzung 1TG)
- Einem dazwischen liegenden Sicherheitsstollen (neu Service- und Infrastrukturstollen SISto)
- Den Lüftungszentralen (die für die zweite Röhre ergänzt werden müssen)
- Den bisherigen, neu gemeinsam genutzten Lüftungsschächten
- Den Werkhöfen Airolo und Göschenen. Diese müssen auf der Basis des Betriebskonzeptes und der Anforderungen aller Stakeholder neu geplant und gebaut/ergänzt werden.

1.2.2 Bau

Baulich lassen sich die Massnahmen für den Bau von 2TG und die Instandsetzung klar trennen. Ein entsprechendes Schnittstellenpapier wurde erstellt und ist für beide Projekte verbindlich.

- Two tunnel tubes (the newly constructed 2GT and the repaired 1GT)
- An intermediate emergency tunnel (new service and infrastructure tunnel, SISto)
- Ventilation control units (which must be supplemented for the second tube)
- The previous, newly used ventilation shafts
- The Airolo and Göschenen road service and maintenance depot. These have to be re-planned and built/extended according to the operational concept and the requirements of all stakeholders.

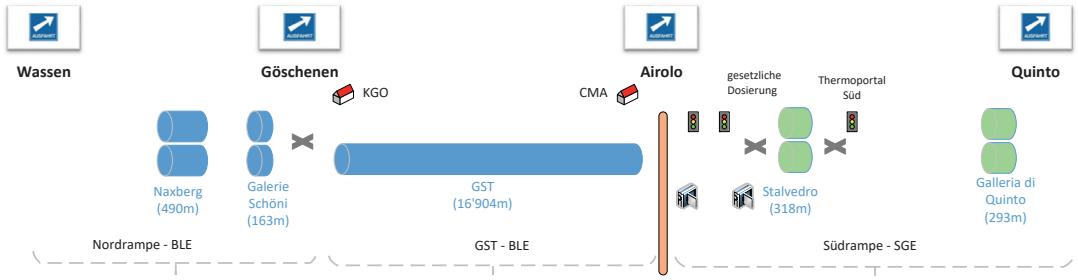
1.2.2 Construction

Structurally, measures for constructing 2GT and repairing 1GT can be separated. A corresponding interface document was drawn up and is binding for both projects.

Experts are currently examining how synergies can be utilised during construction. It may make sense for measures to be implemented in advance of the work on 2GT or for 2GT measures to be postponed and carried out within the framework of 1GT.

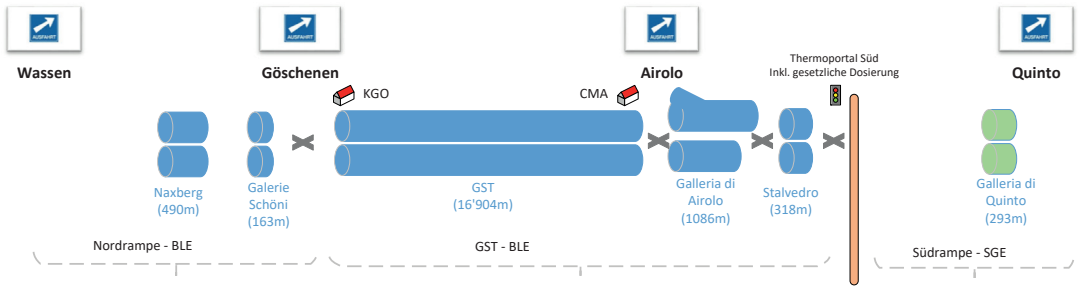
1.2.3 Operations and Safety Systems (BSA)

All of the parties involved in operations (Office for the Operation of National Roads, Gotthard emergency services, Uri cantonal police, Ticino cantonal police, Tre Valli Soccorso, etc.) were involved in preparing the GTS operation concept. Based on this concept, the southern system boundary will be relocated from the current location (GTS Airolo portal) to



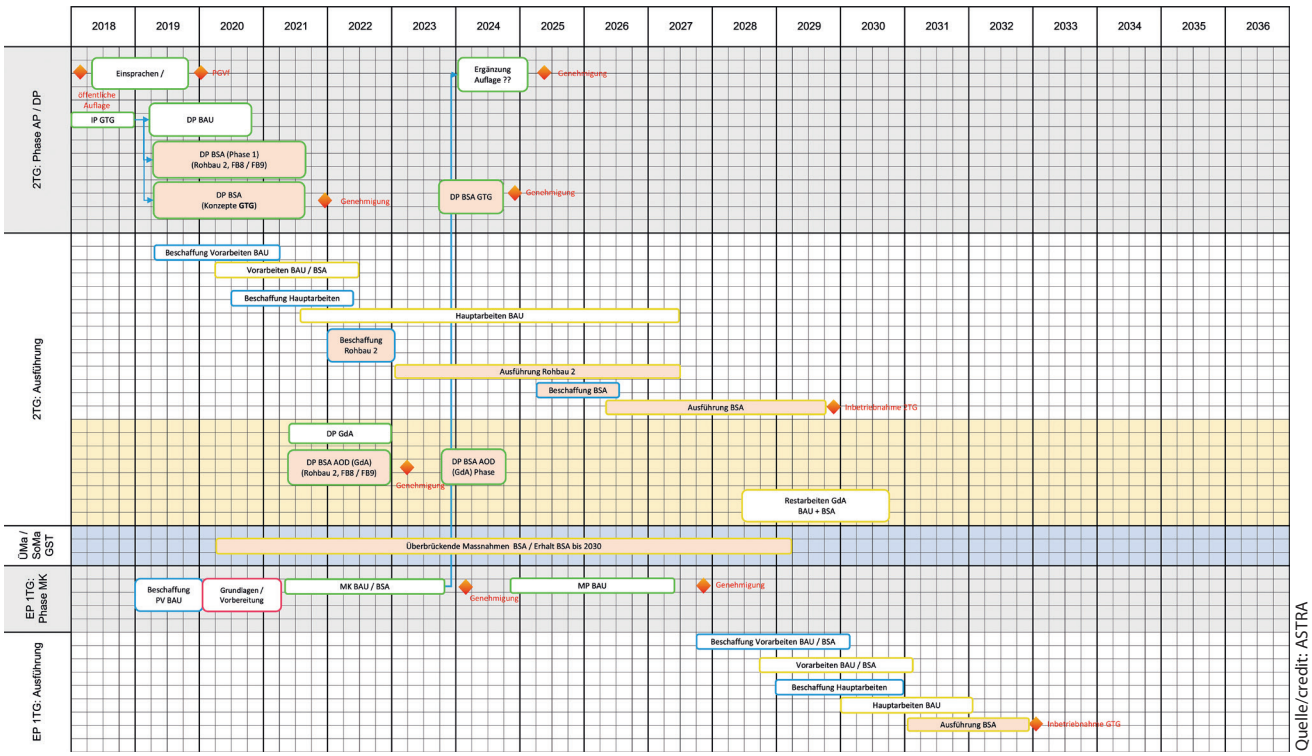
Quelle/credit: ASTRA

7 *Systemgrenze BSA heute*
Current BSA system boundary



Quelle/credit: ASTRA

8 *Systemgrenze BSA künftig*
Future BSA system boundary



Quelle/credit: ASTRA

9 *Zeitplan Realisierung GTG*
Schedule for the realisation of the GTS

Derzeit wird geprüft, wie Synergien bei den Bauarbeiten genutzt werden können. Es kann Sinn machen, dass Massnahmen bereits im Schatten der Arbeiten 2TG vorgezogen umgesetzt werden oder Massnahmen 2TG rückgestellt und im Rahmen 1TG ausgeführt werden.

1.2.3 Betriebs- und Sicherheitsausrüstung (Erweiterung Systemgrenzen)

Das Betriebskonzept GTG wurde unter Einbezug aller operativ Beteiligten (Amt für Betrieb Nationalstrassen, Schadenwehr Gotthard, Kantonspolizei Uri, Kantonspolizei Tessin, Tre Valli Soccorso …) erstellt. Gestützt auf die Ergebnisse des Betriebskonzeptes wird die südliche Systemgrenze von heute (Portal GST Airolo) neu zum Portal Süd des Tunnels Stalvedro verlegt. Mit dem Bau der neuen Galleria di Airolo entfällt der Stauraum auf offener Strecke in Fahrtrichtung Nord zwischen dem Tunnel Stalvedro und dem Gotthard Strassentunnel, was zu einer zwingenden Verschiebung der Dosierung südlich des Tunnels führt. Aus Sicherheitsüberlegungen sollen alle Systeme unter einer einheitlichen Organisation betreut werden, somit müssen die Zuständigkeiten und damit auch die Systemgrenze BSA entsprechend angepasst werden. Dies betrifft auch die übergeordneten Systeme.

1.2.4 Zeitplan

Der aktuelle Zeitplan präsentiert sich wie folgt: Die Röhre Nord des GTG soll gemäss aktueller Planung im Jahr 2029 in Betrieb genommen werden. Unmittelbar anschliessend folgt die Instandsetzung der Röhre Süd, wobei das Bauprogramm

the Stalvedro tunnel's south portal. With construction of the new Galleria di Airolo, congestion space on the open route in the northbound direction between the Stalvedro tunnel and the Gotthard road tunnel will be eliminated, which will lead to mandatory metering shifts to the south of the tunnel. For safety reasons, all systems are to be managed under a uniform organisation; so, both the responsible jurisdictions and the BSA system boundary must be adjusted accordingly. This also affects the higher-level systems involved.

1.2.4 Schedule

The current schedule is as follows: According to current planning, the GTS' north tube should be put into operation in 2029. This will be immediately followed by repair work on the south tube, whereby the construction programme for the necessary work will only be available once the implementation plan has been completed.

2 Repairing the first tube (1GT)

2.1 Objective

The objective of the 1GT Repair Project (RP) is to repair the south tube immediately after commissioning the new north tube. Repair includes the structural renewal of all existing system components. In addition to the tunnel itself, this includes the Göschenen pre-tunnel, the ventilation control units, the safety and infrastructure tunnel (SISto), the ventilation shafts and the Airolo and Göschenen road service and maintenance depot. The Göschenen preliminary zone (utility tunnel) is also part of the project. The measures are planned

für die dazu notwendigen Arbeiten erst nach Abschluss des Massnahmenkonzeptes vorliegt.

2 Instandsetzung 1. Röhre (1TG)

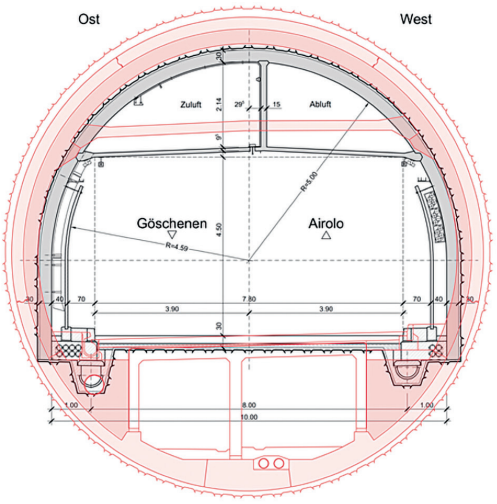
2.1 Zielsetzung

Die Zielsetzung des Erhaltungsprojektes EP 1TG ist die Instandsetzung der Röhre Süd unmittelbar nach der Inbetriebnahme der neuen Röhre Nord. Die Instandsetzung umfasst die bauliche Erneuerung aller heute bestehenden Anlagenteile. Dies sind neben der Tunnelröhre selbst der Vortunnel Göschenen, die Lüftungszentralen, der Sicherheits- und Infrastrukturstollen (SISto), die Lüftungsschächte und die Werkhöfe Airolo und Göschenen. Ferner ist auch die Vorzone (Anschluss) Göschenen Bestandteil des Projektes. Die Massnahmen sind so zu planen, dass anschliessend für weitere 40 Jahre ein interventionsfreier Betrieb der Röhre Süd gewährleistet ist.

Eine zentrale Vorgabe seitens Bauherrschaft ist dabei die möglichst vollständige Übernahme der technischen Standards aus dem Projekt 2TG, das heisst dem Bau der zweiten Röhre (vgl. dazu Kap. 1.2). Neben den üblicherweise immer aufzuzeigenden Normabweichungen der betrachteten Sanierungsmassnahmen/-varianten ist im vorliegenden Projekt auch das Aufzeigen der Abweichungen von den Standards 2TG eine elementare Aufgabe des Planers EP 1TG.

2.2 Stand Projekt

Die Erarbeitung des Massnahmenkonzeptes wurde im Frühling 2021 gestartet. Vorgängig wurden die zahlreichen Archivunterlagen aufgearbeitet, digitalisiert und strukturiert zusammengestellt. Im Sommer 2022 wurden umfangreiche Zustandsaufnahmen durchgeführt, welche die regelmässig seitens des Betreibers stattfindenden Inspektionen ergänzen. Ziel ist, dass das Massnahmenkonzept Ende 2023 vorliegt.



Quelle/credit: IG GottardoUno

11 *Überlagerung Normalprofile Röhren Nord (Stand DP) und Süd (Bestand)*

Overlapping of standard cross sections for the north tubes (DP status) and the south tubes (existing)

Quelle/credit: INGE UNO

10 *Blick in die Röhre Süd*

View inside the south tube

in such a way that intervention-free operation of the south tube is guaranteed for another 40 years.

A central requirement on the part of the contractor is that the technical standards from the 2GT project, i.e., construction of the second tube, be adopted as completely as possible (cf. section 1.2). In addition to the standard deviations of the renovation measures/options considered, which usually have to be shown, it is also an elementary task of the 1GT RP planner to show the deviations from the 2GT standards in the present project.

2.2 Project status

Development of the implementation plan started in spring 2021. Prior to that, numerous archive documents were processed, digitised and compiled in a structured manner. In the summer of 2022, extensive site surveys were carried out to complement the regular inspections carried out by the operator. The goal is to have the implementation plan ready by the end of 2023.

2.3 Featured topics, status of the implementation concept

The following statements summarise the current project planning status regarding certain topics.

2.3.1 Replacing the suspended ceiling

How the suspended ceiling is dealt with has a major influence on the freedom of action when examining and defining maintenance measures, in particular for optimising and aligning the clearance profile of the traffic space with that of the north tube (cf. section 2.3.2). For this reason, dealing with the suspended ceiling was analysed as one of the first planning steps.

2.3 Ausgesuchte Themen Stand Massnahmenkonzept

Die nachfolgenden Ausführungen fassen den aktuellen Stand der Projektierung zu ausgewählten Themen zusammen.

2.3.1 Ersatz Zwischendecke

Der Umgang mit der Zwischendecke hat einen grossen Einfluss auf den Handlungsspielraum bei der Prüfung und Definition von Instandsetzungsmassnahmen, insbesondere auch für die Optimierung und Angleichung des Lichtraumprofils des Fahrraums an jenes der Röhre Nord (vgl. Kap. 2.3.2). Aus diesem Grund wurde als einer der ersten Planungsschritte der Umgang mit der Zwischendecke untersucht.

Die Zwischendecke besteht aus bewehrtem Ortbeton. Sie ist seitlich in Aussparungen in der Tunnelauskleidung abgestützt und mit Zugstangen im unbewehrten Tunnelgewölbe aufgehängt. Die Zugstangen befinden sich in der Trennwand aus bewehrtem Ortbeton. Die Trennwand trennt den Raum oberhalb der Zwischendecke in einen Zuluft- und einen Abluftkanal.

Die Zwischendecke befindet sich über das gesamte Bauteil, betrachtet zum Beurteilungszeitpunkt, in einem „schadhaften" Zustand. Aufgrund des lokalen Zustands müssen die Zwischendeckenelemente auf einer Länge von rund 8900 m zwingend ersetzt werden; insbesondere auch in Portalnähe.

Im Gesamtsystem Gotthard-Strassentunnel (GTG) wird das Lüftungskonzept angepasst: Der Zuluftkanal oberhalb der Zwischendecke wird aufgehoben und die bisher durch die Trennwand getrennten Zuluft- und Abluftkanäle werden im zukünftigen GTG als reiner Abluftkanal betrieben.

Bei einem Erhalt beziehungsweise einer Instandsetzung der Zwischendecke hätte unter anderem aus statischen Gründen die Trennwand beibehalten werden müssen. Im Bereich der Abluftklappen hätte die Zwischendecke inklusive Zwischenwand dennoch abgebrochen und ersetzt werden müssen. Dies betrifft eine Länge von rund 1500 m. Ein Ersatz wäre auf weiteren 800 m Länge aufgrund des zukünftigen Lüftungskonzeptes infolge der Überfirstungen für die Strahlventilatoren erforderlich gewesen.

Ein Neubau der Zwischendecke hingegen ermöglicht neben dem Einhalten der heutigen Vorgaben an die Konstruktion auch die „Homogenisierung" des ganzen Bauteils. Weiter ermöglicht der Neubau das Anordnen der Zwischendecke an leicht angepasster Lage und vergrössert so den Handlungsspielraum für die Optimierung des Lichtraumprofils. Selbsterklärend ist der Neubau mit einem etwas höheren Ressourcenverbrauch verbunden. Aufgrund des grossen Anteils der ohnehin zu ersetzenden Elemente der Zwischendecke ist der Unterschied zur Variante „Erhalt" jedoch von untergeordneter Bedeutung. Die Kosten betref-

The suspended ceiling is made of reinforced in-situ concrete. It is supported laterally in cut-out pockets in the tunnel lining and suspended with tie rods in the unreinforced tunnel arch. The tie rods are located in the partition wall, which is made of reinforced in-situ concrete. The partition wall separates the space above the suspended ceiling into a ventilation duct and an exhaust duct.

The suspended ceiling is in a "defective" condition throughout the entire structure, which was observed at the time of the assessment. Due to its current condition, the suspended ceiling elements must be replaced over a length of approximately 8,900 m, especially in the vicinity of the portal.

In the overall Gotthard Tunnel System (GTS), the ventilation concept needs to be adapted. The ventilation duct above the suspended ceiling will be removed and the ventilation and exhaust ducts, which were previously separated by the partition wall, will only be operated in the future GTS as an exhaust duct.

Maintaining or repairing the suspended ceiling would have meant that the partition wall would have had to be retained for structural reasons, among others. However, around the exhaust duct valves, the suspended ceiling including the partition wall would have had to be demolished and replaced. This affects a length of about 1,500 m. A replacement would have been necessary for a further 800 m length due to the future ventilation concept as a result of the jet fans in the overhanging tunnel roof.

A newly constructed suspended ceiling, on the other hand, makes it possible not only to comply with the current construction specifications, but also to "homogenise" the entire construction element. Furthermore, the new construction process makes it possible to arrange the suspended ceiling in a slightly adjusted position and thus increases room for manoeuvre to optimise the clearance profile. The new construction process requires a slightly higher consumption of resources. However, due to the large proportion of suspended ceiling elements that have to be replaced anyway, the difference from the "maintenance" option is of minor importance. In terms of costs, the "maintenance" option is better; however, it would make optimisation in the cross-section (traffic space clearance profile) considerably more difficult and thus trigger additional costs in other places.

After the overall assessment, the contractor decided in favour of replacing the suspended ceiling.

2.3.2 Traffic space clearance profile

The traffic space clearance profile in the south tube is currently 4.5 m high (minimum usable traffic space or distance between the road surface and the lower edge of the suspended ceiling).

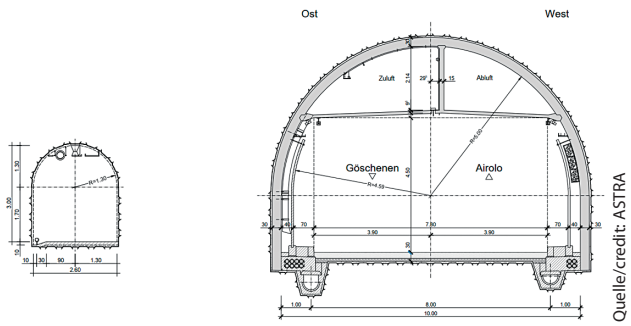
fend schneidet die Variante „Erhalt“ besser ab; sie würde jedoch Optimierungen im Querschnitt (Lichtraumprofil Fahrraum) deutlich erschweren und so an anderen Stellen Mehrkosten auslösen.

In der Gesamtabwägung hat sich die Bauherrschaft für den Ersatz der Zwischendecke entschieden.

2.3.2 Lichtraumprofil Fahrraum

Der Fahrraum der Röhre Süd ist aktuell 4,5 m hoch (minimaler verkehrstechnischer Nutzraum beziehungsweise Abstand zwischen Fahrbahnoberfläche und Unterkante Zwischendecke).

In der Röhre Nord ist gemäss dem Detailprojekt 2TG ein verkehrstechnischer Nutzraum von 5 m Höhe x 8 m Breite projektiert. Die Höhe ergibt sich aus dem 4,5 m hohen Lichtraumprofil für grosse Fahrzeuge gemäss den Normvorgaben, 20 cm für Betriebs- und Sicherheitsausrüstung und 30 cm



12 *Normalprofil Bestand (Röhre Süd), südlicher Abschnitt*
Standard cross section of the existing structure (south tube), southern section

Sicherheitsabstand dazwischen. Die Breite ergibt sich aus zwei Fahrstreifen à 4 m Breite. Diese Standards gilt es auf die Röhre Süd anzuwenden.

Im nördlichen Abschnitt der Röhre Süd ist das bestehende Profil niedriger als im Süden (verschiedene Lose beim Bau). Damit die geforderte Fahrraumhöhe von 5 m umgesetzt werden kann, muss die Fahrbahn im nördlichen Abschnitt 25 cm abgesenkt werden. Im südlichen Abschnitt ist aufgrund des deutlich höheren Profils keine besondere bauliche Massnahme erforderlich.

Die Bauherrschaft hat sich für die Fahrbahnabsenkung im nördlichen Abschnitt der Röhre Süd und damit die Umsetzung der durchgehenden Fahrraumhöhe von 5 m entschieden. Damit können in beiden Röhren einheitliche Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen installiert werden.

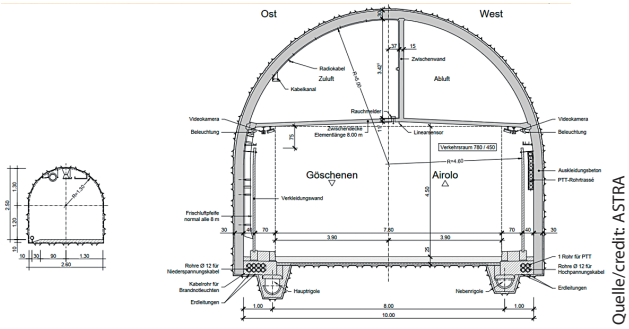
2.3.3 Führung Werkleitungen

Folgende Varianten wurden für die Anordnung der BSA-Werkleitungen im Querschnitt vertieft untersucht:

According to the “Detailed 2GT Project”, a traffic-related usable space of 5 m in height x 8 m in width is projected in the north tube. The height results from the 4.5 m high clearance profile for large vehicles according to the standard specifications, 20 cm for operating and safety equipment and 30 cm safety clearance in between. The width results from two lanes, each 4 m wide. These standards must be applied to the south tube.

In the northern section of the south tube, the existing profile is lower than in the south (different lots during construction). In order to be able to implement the required traffic space height of 5 m, the roadway must be lowered 25 cm in the northern section. In the southern section, no special construction measure is required due to its significantly higher profile.

The contractor decided to lower the carriageway in the northern section of the south tube and thus to implement a continuous clearance height of 5 m.



13 *Normalprofil Bestand (Röhre Süd), nördlicher Abschnitt*
Standard cross section of existing structure (south tube), northern section

This will allow uniform operating and safety equipment to be installed in both tubes.

2.3.3 Utility duct management

The following options were investigated in depth for the cross-sectional layout of the BSA utility ducts:

- Utility duct (in accordance with the specifications of the FEDRO [Federal Roads Office] technical manual)
- Expanding the SISto
- Building a new utility duct tunnel
- Placing a cable conduit block in the traffic space (hard shoulder)

According to the overriding principle decisions regarding the dimensions of the traffic space (cf. section 2.3.2), there is too little space left in the hard shoulders to lay the number of pipes required by the BSA. Around six cable protection conduits would still have had to be laid in the SISto in the “placing cable conduit blocks in the traffic space (hard shoulder)” option. For ventilation reasons, however, the cross-section of the SISto must not be restricted any further; if this had been

- Werkleitungskanal (gemäss Vorgaben des Fachhandbuchs ASTRA)
- Aufweitung des SISto
- Bau eines neuen Werkleitungsstollens
- Anordnung Kabelrohrblock im Fahrraum (Bankette)

Nach den übergeordneten Grundsatzentscheiden zu den Abmessungen des Fahrraums (vgl. Kap. 2.3.2) verbleibt in den Banketten zu wenig Platz, um die seitens BSA erforderliche Anzahl der Rohre zu verlegen. Rund sechs Kabelschutzrohre hätten bei der Variante „Anordnung Kabelrohrblock im Fahrraum (Bankette)" dennoch im SISto verlegt werden müssen. Aus lüftungstechnischen Gründen darf der Querschnitt des SISto jedoch nicht weiter eingeschränkt werden, sodass eine ergänzende Aufweitung des SISto erforderlich gewesen wäre. Entsprechend hätte die Variante „Anordnung Kabelrohrblock im Fahrraum (Bankette)" keinen erkennbaren Vorteil zur Variante „Aufweitung SISto" mehr ausgewiesen. Sie wurde daher verworfen. Ebenfalls wurde der Bau eines neuen, mit rund 30 m Abstand westlich zur Röhre Süd geführten Werkleitungsstollens verworfen. Ausschlaggebend waren die Mehrkosten von rund CHF 200 Mio. und der zusätzliche Aufwand im Rahmen des Betriebs und Unterhalts für dieses zusätzliche Bauwerk. Folglich verblieben die „Standardlösung Werkleitungskanal" und die „Aufweitung SISto" in der engeren Auswahl. Der Werkleitungskanal hätte einen Ausbruchquerschnitt von rund 12 m² bedingt. Die Aufweitung des SISto verursacht im Vergleich dazu im nördlichen Abschnitt einen Ausbruchquerschnitt von nur rund 3,9 m² und im südlichen Abschnitt rund 3,3 m². Der Werkleitungskanal führt als zusätzliches Bauteil zu zusätzlichem Aufwand im Betrieb.

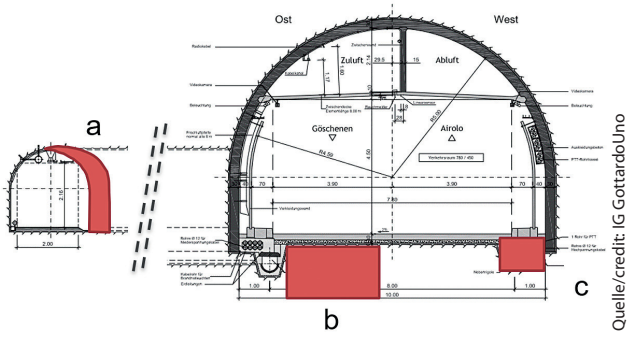
Die Variante „Aufweitung SISto" wurde als gleichwertig zur Variante „Werkleitungskanal" beurteilt. Durch die „Aufweitung SISto" wird die Zugänglichkeit und damit auch die Verfügbarkeit erhöht. Zudem wirkt sich die Vergrösserung des Querschnitts positiv auf die Frischluftversorgung aus. In der Gesamtabwägung hat sich die Bauherrschaft für die Variante „Aufweitung SISto" entschieden.

2.3.4 Erweiterung Lüftungszentralen

Die beiden Röhren Süd und Nord sind grundsätzlich unabhängig voneinander zu betreiben. Für die Röhre Nord werden entsprechend neue, separate Zentralen erstellt. Die bestehenden bergmännischen Lüftungszentralen Hospental, Guspisbach und Motto di Dentro werden für die Röhre Süd weiterverwendet; die Lüftungszentrale Bäzberg hingegen wird nicht mehr für die Fahrraumlüftung verwendet. Für die Weiterverwendung der drei Lüftungszentralen für die Fahrraumlüftung werden derzeit die erforderlichen Anpassungen und Ergänzungsbauten untersucht.

2.4 Ausblick

Mit den erläuterten, gewählten technischen Lösungen wurden die massgebenden Randbedingungen für die Instand-



Quelle/credit: IG GottardoUno

14 *Varianten Anordnung BSA-Werkleitungen (a. Aufweitung SISto, b. Werkleitungskanal, c. Anordnung im Bankett)*
Options for designing the BSA utility ducts (a. SISto reaming, b. utility duct, c. hard shoulder design)

the case, the SISto would have had to be widened. Accordingly, the "placing the cable conduit block in the traffic space (hard shoulder)" option would no longer have had any recognisable advantage over the "SISto widening" option. It was therefore rejected. The construction of a new service tunnel at a distance of about 30 m to the west of the southern tube was also rejected. The decisive factors were the additional costs of around CHF 200 million and the additional expenditure in the context of operation and maintenance for this additional structure. Consequently, the "standard solution for the utility duct" and the "SISto widening" options remained shortlisted. The utility duct would have required an excavated cross-section of around 12 m². In comparison, widening the SISto causes an excavated cross-section of only around 3.9 m² in the northern section and around 3.3 m² in the southern section. As an additional component, the utility duct leads to additional expenditure in operation.

The "SISto widening" option was judged to be equivalent to the "utility duct" option. The "SISto widening" option increases accessibility and thus also availability. In addition, enlarging the cross-section has a positive effect on the supply of fresh air. In the overall assessment, the contractor decided in favour of the "SISto widening" option.

2.3.4 Extending the central ventilation control units

The north and south tubes are to be operated independently of each other. New, separate control units will be built for the north tube. The below-ground existing ventilation control units in Hospental, Guspisbach and Motto di Dentro will continue to be used for the south tube; the Bäzberg ventilation control unit, on the other hand, will no longer be used for traffic space ventilation. Experts are currently investigating the necessary adaptations and additional structures for the continued use of the three ventilation control units for traffic space ventilation.

2.4 Outlook

The selected technical solutions described above defined the decisive constraints for the repair and future design of the south tube. Due to the great length of the tunnel, the

setzung beziehungsweise zukünftige Ausgestaltung der Röhre Süd definiert. Aufgrund der grossen Länge des Tunnels, der zu minimierenden Bauzeit und des Umstands, dass einzelnen Anlagenteilen der Röhre Süd (u. a. SISto und Lüftungsschächte) auch für den Betrieb der Röhre Nord zentrale Funktionen für die Gewährleistung der Sicherheit zukommen, sind bereits im Massnahmenkonzept umfassende Abklärungen zum Bauablauf erforderlich. Unter anderem wird der Einfluss von elektrisch betriebenen Lastwagen für die Bauarbeiten auf die Bauzeit untersucht, da solche die Leistung/Kapazität der Baulüftung weniger „belasten". Weiter wird auch untersucht, welche üblicherweise seitens Bauunternehmen zu erstellenden Installationen zur Minimierung der Bauzeit durch die Bauherrschaft zur Verfügung gestellt werden sollen (beispielsweise teilweise Weiternutzung gewisser Bestands-BSA und von Bauinstallationen der Baustelle „Röhre Nord").

need for construction time to be minimised and the fact that individual system parts of the south tube (including the SISto and ventilation shafts) also have central functions for ensuring safety for the operation of the north tube, comprehensive clarifications of the construction sequence are already required in the implementation plan. Among other things, the influence of electrically powered lorries for the construction work that needs to be done during the construction period is being investigated, as these types of vehicles place less of a burden on the performance/capacity of the construction ventilation system. Furthermore, investigations will also be carried out to determine which installations usually provided by construction companies should be made available by the contractor to minimise construction time (for example, partial continued use of certain existing BSA and construction installations from the "North Tube" construction site).

Literatur/References

[1] Alexander Grass; Durchschlag am Gotthard, der Bau des Strassentunnels; Verlag Hier und Jetzt

Thomas Reber, Dipl. Bau.-Ing. FH, Lombardi SA, 6512 Bellinzona-Giubiasco/CH
Alessandro Ferrari, Dipl. Bau-Ing. ETH/SIA, Executive MBA HSG, B+S AG, 3000 Bern 16/CH
Sebastian Böheim, Dipl. Bau-Ing. FH, ILF Beratende Ingenieure AG, 8048 Zürich/CH
Markus Inniger, Dipl. Bau-Ing. ETH/SIA, Emch + Berger AG Bern, 3001 Bern/CH

Zweite Röhre Gotthard-Strassentunnel

Vollendung der alten Projektidee

Aktuell wird an der zweiten Röhre des Gotthard-Strassentunnels gebaut, diese kommt parallel zum bestehenden, seit mehr als 40 Jahren in Betrieb stehenden Tunnel zu liegen. Die Bauzeit dauert bis zur Inbetriebnahme rund neun Jahre. Die Investitionskosten Bau/BSA betragen ca. CHF 2.14 Milliarden.

The Gotthard Road Tunnel's second tube

A long thought-of project comes to realization

The Gotthard Road Tunnel's second tube, which will run parallel to the existing Gotthard Road Tunnel, is currently under construction. After a construction phase of about nine years, the second tube can be set into operation. Today, the existing tunnel has been in operation for more than 40 years. The investment costs for construction, operating and safety equipment, amount to approximately CHF 2.14 billion.

1 Einleitung

Der Gotthard-Strassentunnel der Autobahn N02 ist eine der wichtigsten Strassenverbindungen in Europa. Mit einer Gesamtlänge von 16.9 km verbindet der Tunnel zwischen der deutschsprachigen Schweiz und dem Kanton Tessin Nord- und Südeuropa über die Alpen hinweg. Nach mehr als 40 Jahren Betrieb muss der bestehende Tunnel wegen sicherheitstechnischer Aspekte und des schadhaften Bauzustands umfassend instand gesetzt werden. Aufgrund des Sanierungsumfangs ist eine Vollsperrung zwingend. Das schweizerische Stimmvolk entschied sich für den Bau einer zweiten Röhre mit anschliessender Sanierung der bestehenden Röhre, ohne Kapazitätserweiterung. Das Generelle Projekt wurde bis 2016 erarbeitet. Die Erarbeitung des Ausführungsprojektes erfolgte bis Ende 2017, die Plangenehmigungsverfügung wurde am 10. Dezember 2019 erteilt. Nach Vollendung der Sanierung der ersten Röhre im Anschluss zum Bau der zweiten Röhre wird der Verkehr über die zwei Röhren des Gesamtsystems Gotthard-Strassentunnel richtungsgetrennt mit einer Fahrspur und einem Pannenstreifen pro Röhre geführt und somit ohne Kapazitätserweiterung gegenüber dem heutigen Zustand.

2 Gotthard-Strassentunnel – Vollendung der alten Projektidee

In den 1960er-Jahren wurde der heutige Gotthard-Strassentunnel geplant. Zu dieser Zeit gab es nur wenige Vorschriften oder Empfehlungen für die Projektierung von Nationalstrassen-Tunnels, kaum Erfahrungen aus dem Bau von neuzeitlichen Tunnels oder in der Auslegung von komplexen Lüftungsanlagen.

1 Introduction

The Gotthard Road Tunnel along the N02 motorway is one of the most important road routes in Europe. With a total length of 16.9 km, the tunnel connects northern and southern Europe across the Alps between German-speaking Switzerland and the canton of Ticino. After more than 40 years in operation, the existing tunnel tube needs to be comprehensively repaired due to safety aspects and the damaged structural condition of the existing tunnel tube. Due to the extent of the renovation, full closure of the tunnel tube is mandatory. Swiss voters decided in favour of building a second tube with subsequent repair of the existing tube, without increasing capacity. The general project was developed and finished in 2016. The implementation project was drawn up by the end of 2017, and the planning approval order was issued on 10 December 2019. After renovation of the first tube, which follows the construction of the second tube, has been completed, traffic will be routed through the two tubes of the entire Gotthard Road Tunnel System in separate directions – with one lane and one emergency lane per tube – and thus without a capacity increase compared to the current situation.

2 The Gotthard Road Tunnel – A long thought-of project idea comes to realization

The existing Gotthard Road Tunnel was planned in the 1960s. At that time, there were few regulations or recommendations for the design of national road tunnels and hardly any experience in the construction of modern tunnels or the design of complex ventilation systems.

Le deuxième tube du tunnel routier du Saint-Gothard

Réalisation de l'idée initiale du projet

L'actuel tunnel routier du Saint-Gothard sur l'autoroute N02 doit être remis en état. Le 27 juin 2012, le Conseil fédéral suisse s'est prononcé en faveur de l'option « percement d'un deuxième tube et réfection ultérieure du tunnel existant (sans accroissement de capacité de trafic) ». Dans son état final, le système complet du tunnel routier du Saint-Gothard se composera de deux tubes parallèles à une seule voie dans chaque sens de circulation, avec au milieu une galerie de service et d'infrastructures. La longueur du tunnel est d'environ 16,9 km. Deux tunneliers à bouclier simple d'un diamètre d'excavation de 12,3 m seront utilisés pour la plus grande partie des travaux d'excavation.

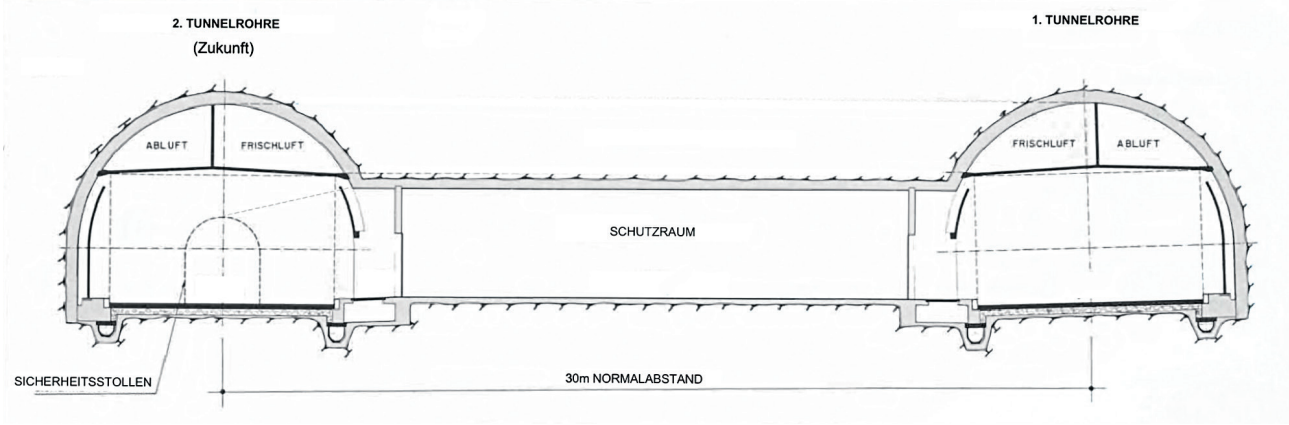
Secondo tubo della Galleria stradale del San Gottardo

Completamento dell'idea di progetto iniziale

L'attuale galleria stradale del San Gottardo dell'autostrada N02 deve essere risanata. Il 27 giugno 2012 il Consiglio federale svizzero si è pronunciato a favore della variante «costruzione di un secondo tubo con successivo risanamento del tubo esistente (senza aumento della capacità di circolazione)». Al termine dei lavori la galleria stradale del San Gottardo nel suo complesso sarà composta da due canne parallele a una corsia per direzione di marcia, con un cunicolo infrastrutturale e di sicurezza situato nel mezzo. La galleria ha una lunghezza di circa 16,9 km. Per gli avanzamenti principali vengono impiegate essenzialmente due frese meccaniche TBM-S a scudo singolo con un diametro di scavo di 12,3 m.

Bei den damaligen Projektüberlegungen wurde bereits in Erwägung gezogen, dass der Verkehr nach 10 bis 20 Jahren auf der Gotthard-Transversale so stark zugenommen haben könnte, dass der Bau einer zweiten Röhre ins Auge gefasst werden muss. Daraus entstand die Projektidee, später den parallel verlaufenden Sicherheitsstollen für die zweite Röhre ausweiten zu können. Es wurden auch bereits Vorinvestitionen in den späteren Bau eines Nachbartunnels getätigt, etwa in die Auslegung der Lüftungsanlage für einen künftigen doppelspurigen Richtungsbetrieb, in die Bemessung der Zu- und Abluftschächte für die Lüftung der zweiten Tunnelröhre, in die Gestaltung der Portalbauwerke für eine doppelspurige Ein- und Ausfahrt. 50 Jahre später zeigt sich, dass viele der damals ergriffenen Vorinvestitionen dem heutigen Projekt zugutekommen.

Back then, during the first project steps, the possibility was already taken into account that, after 10 to 20 years, traffic could reach such a high level on the Gotthard transversal that the construction of a second tube should be considered. This gave rise to the idea of later extending the parallel safety and infrastructure tunnel as a second tube. Preliminary investments were also made in the subsequent construction of a neighbouring tunnel, for example in designing the ventilation system for a future double-lane tunnel, in calculating the supply and exhaust air shafts for the ventilation of a second tunnel tube, and in designing the portal structures for a double-lane entrance and exit. Fifty years later, we can see that many of the preliminary investments made at that time were beneficial for today's project.



Quelle/credit: Archiv Lombardi SA

1 Normalquerschnitt mit zwei Tunnelröhren und Querschlag, Projektidee 1970
Normal cross-section with two tunnel tubes and cross-passage, project idea from 1970

3 Projekt zweite Röhre

3.1 Systembeschrieb

Die zweite Röhre wird parallel zur bestehenden ersten Röhre östlich des bestehenden Sicherheits- und Infrastrukturstollen (SISto) verlaufen und rund alle 250 m mittels neuer Querverbindungen mit diesem verbunden sein. Die heutigen Portale in Göschenen und Airolo unterstehen dem Denkmalschutz, sie bleiben unverändert erhalten.

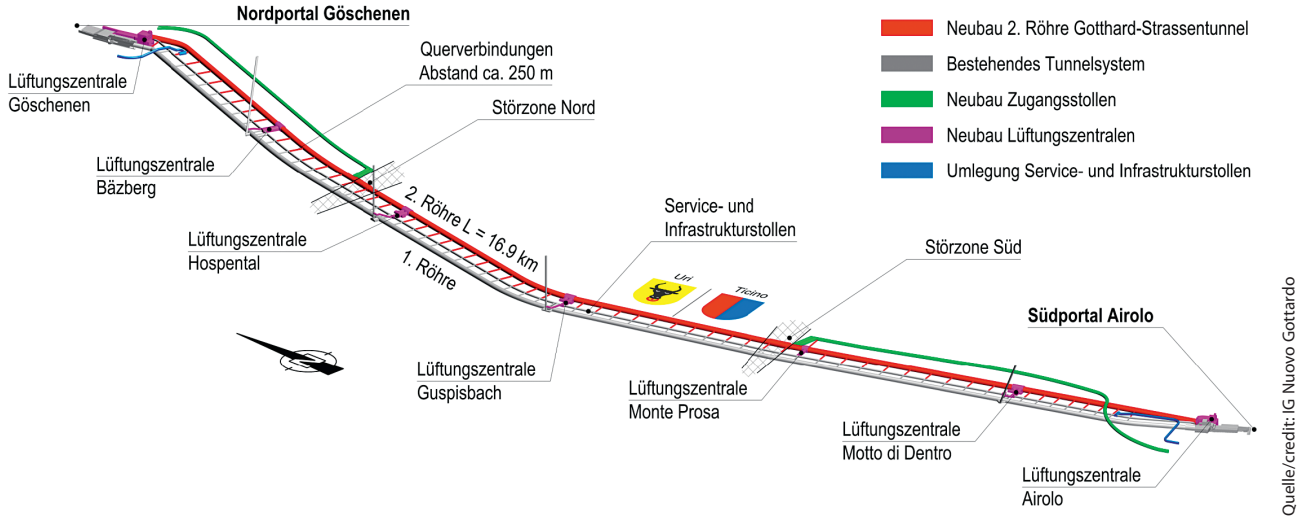
Das Lüftungssystem der zweiten Röhre funktioniert als Längslüftung mit einer punktuellen Frischluftzufuhr im Bereich der neuen unterirdischen Lüftungszentralen Hospental, Guspisbach und Motto di Dentro. Dafür können die bestehenden Lüftungsschächte benutzt werden. Zur Unterstützung der Längslüftung werden in regelmässigem Abstand Strahlventilatoren-Gruppen oberhalb der Fahrbahn platziert. Die Tunnelabluft und allfällige Brandgase können über regelmässig angeordnete Klappen in der Zwischendecke abgesogen und über die bestehenden Lüftungsschächte oder über die neuen Portalzentralen Göschenen und Airolo abgeführt werden.

3 Second tube project

3.1 System description

The second tube will run parallel to the first tube, east of the existing safety and infrastructure tunnel (SISto) with which it will be connected every 250 m via new cross-passages. The current portals in Göschenen and Airolo are protected historical monuments and will remain unchanged.

The second tube's ventilation system functions as longitudinal ventilation with a selective supply of fresh air in the new underground ventilation stations Hospental, Guspisbach and Motto di Dentro. The existing ventilation shafts can be used for this purpose. To support the longitudinal ventilation, groups of jet fans are placed at regular intervals above the roadway. The exhaust air from the new tube and any fumes can be extracted via regularly arranged flaps in the suspended ceiling and discharged via the existing ventilation shafts or via the new portal control centres in Göschenen and Airolo.



Quelle/credit: IG Nuovo Gottardo

2 Gesamtsystem Gotthard-Strassentunnel nach Bau der 2. Röhre
Gotthard Road Tunnel system as a whole after construction of the 2nd tube

3.2 Geologische und hydrogeologische Verhältnisse

Die geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse im Bereich der zweiten Röhre sind aufgrund der diversen Gotthard-Durchstiche gut bekannt und dokumentiert.

Der Nordabschnitt durchquert das Aar-Massiv (Aare-Granit, südliche Gneiszone) und die Urseren-Zone mit einer maximalen Überlagerung von rund 700 m. Am Übergang vom Mesozoikum zum Permokarbon in der Urseren-Zone wird die rund 300 m lange „Störzone Nord" mit teils stark kakiritisiertem, druckhaftem Gebirge erwartet.

Der südliche Abschnitt durchörtert das Gotthard-Massiv (Gamsboden-Granitgneis, Fibbia-Granitgneis und Tremola-Serie) mit Überlagerungen von mehr als 1000 m. In der Guspis-Zone befindet sich die 300 m lange „Störzone Süd".

3.2 Geological and hydrogeological conditions

The geological and hydrogeological conditions in the vicinity of the second tube are well documented due to the various tunnels in the Gotthard region.

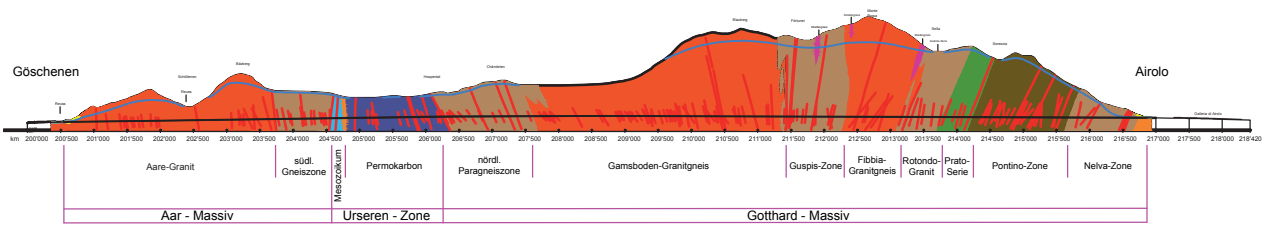
The northern section crosses the Aar Massif (Aare granite, southern gneiss zone) and the Urseren Zone – with a maximum overburden of about 700 m. The approximately 300 m long "northern fault zone" which partly contains highly noncohesive fault gouge and squeezing rock is expected at the geological transition from the Mesozoic rocks to the Permo-Carboniferous rocks in the Urseren Zone. The southern section crosses the Gotthard Massif (Gamsboden granite gneiss, Fibbia granite gneiss and Tremola series) with an overburden of more than 1,000 m. The 300 m long "southern fault zone" is expected to be in the Guspis zone. Here, the partially

Hier wird sich der teilweise stark tektonisch gestörte und verlehmte Fels gebräch und druckhaft verhalten.

Generell muss entlang der zweiten Röhre von einem hohen Bergwasserspiegel ausgegangen werden, welcher sich grob an der überlagernden Topografie orientiert. Die lokale Durchlässigkeit ist massgeblich von Trennflächen bestimmt, die höchsten lokalen Bergwasserzuflüsse sind vor allem im Südabschnitt mit initialen Schüttungen von bis zu 150 l/s vorausgesagt.

strong tectonically disturbed and clayey rock are assumed to behave in a brittle and squeezing manner.

In general, a high alpine groundwater level must be assumed along the second tube, which roughly follows the overlaying topography. The local permeability is largely determined by discontinuities/faults; the highest local alpine groundwater inflows are predicted with initial discharges of up to 150 l/s, especially in the southern section.



Quelle/credit: CSD Ingenieure AG

3 *Geologisches Längenprofil längs 2. Röhre*
Geological longitudinal profile along 2nd tube

3.3 Linienführung und Vortriebskonzepte

Die horizontale Linienführung der zweiten Röhre folgt grundsätzlich der bestehenden ersten Röhre und dem SISto und ist auch durch die Lage der vorhandenen Portalbauwerke und Tagbaustrecken in Göschenen und Airolo vorgegeben. Die neue Röhre verläuft in einem Regelabstand von 30 m zum SISto, einzig in den Portalbereichen muss der SISto vorgängig umgelegt werden. Um die Einbindung in das bestehende System zu ermöglichen, richtet sich auch die vertikale Linienführung der zweiten Röhre nach der des bestehenden Strassentunnels. Einen weiteren Fixpunkt bildet die Unterquerung des SBB-Scheiteltunnels von 1882 in einem Abstand von ca. 5 m, etwas mehr als 1 km vom Nordportal entfernt.

Die neue Tunnelröhre wird hauptsächlich maschinell mittels zwei Schild-Tunnelbohrmaschinen (TBM-S) von circa 12.3 m Bohrdurchmesser ab dem Nord- respektive Südportal ausgebrochen und mit Tübbingen gesichert. Die Startstrecken im Portalbereich werden mit maschinenunterstütztem Vortrieb (MUL oder MUF) und anschliessend im Sprengverfahren (SPV) ausgebrochen, bevor die vormontierten TBM-S den Vortrieb übernehmen. Auch der Ausbruch der bergmännischen Lüftungszentralen und der Tunnel-Nebenbauwerke, wie Querverbindungen, Ausstellbuchten, Überfirstungen, Nischen etc., erfolgt im Sprengvortrieb im rückwärtigen Bereich.

Die beiden bekannten druckhaften Störzonen „Nord" und „Süd" werden ebenfalls konventionell im Vollausbruch durchörtert und mit spezieller, nachgiebiger Ausbruchsicherung eingebaut. Um die Störzonen unabhängig und vorgängig von den TBM-Hauptvortriebsarbeiten zu erreichen, entstehen zwei separate Zugangsstollen von Göschenen und Airolo aus. Die baulogistischen und terminlichen Vorteile dieser Vorgehensweise liegen auf der Hand: Bevor die Hauptvortriebe mit den TBM-S die bautechnisch sehr

3.3 Alignment and excavation concepts

The horizontal alignment of the second tube basically follows the existing first tube and the SISto. It is also determined by the position of the existing portal structures and cut-and-cover stretches in Göschenen and Airolo. The new tube runs at a standard distance of 30 m from the SISto, only in the portal areas the SISto needs to be rerouted in advance. To enable integration into the existing system, the vertical alignment of the second tube follows that of the existing road tunnel. Another vertical fix point is the old SBB crest tunnel, built in 1882, which will be undercrossed with a distance of approx. 5 m at approximately 1 km from the north portal of the second tube.

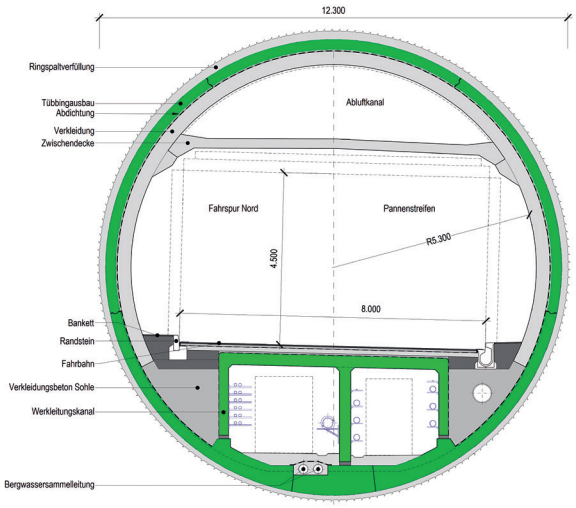
The new tunnel will be mostly mechanically excavated, using two approximately 12.3 m diameter shielded tunnel boring machines (TBM) which will start from the north and south portals, respectively. The excavation will be secured with segmental lining. The launching section for the TBM in the portal areas will be excavated using machine-assisted tunnelling methods (for compact hard and lose ground) and with drill and blast (D&B) in hard rock. Excavation of the subsurface ventilation control centres and the ancillary tunnel structures, such as cross-passages, service bays, raising of tunnel roof, niches, etc., will also be carried out by drill and blast in the back of the main tunnel excavation.

The two well-known "northern" and "southern" squeezing fault zones will also be conventionally full-face excavated and lined with special, flexible tunnel support structures. In order to reach the fault zones independently and in advance of the TBM's main excavation work, two separate access tunnels are currently being constructed from Göschenen and Airolo, respectively. The advantages of this approach in terms of construction logistics and scheduling are clear:

anspruchsvollen Störzonen erreichen, werden diese schon ausgebrochen und gesichert sein. Die TBM-S können somit durch diese bereits ausgebrochenen Bereiche verschoben werden und anschliessend die zweite Vortriebsstrecke bis zum Durchschlagspunkt in etwa in der Tunnelmitte in Angriff nehmen.

3.4 Haupttunnel, Tunnelzentralen und Nebenbauwerke

Das kreisförmige Normalprofil der zweiten Röhre weist einen zweischaligen Ausbau mit einer Regenschirmabdichtung auf. Es ist auf eine Fahrbahnbreite von 2 x 4 m (1 Fahrspur + 1 Pannenstreifen) sowie auf eine lichte Höhe von 5 m ausgelegt. Darüber trennt eine Zwischendecke den Fahrraum vom Abluftkanal der Tunnellüftung ab. Unter der Fahrbahn befinden sich zwei Werkleitungskanäle (WELK), von denen einer der Versorgung der Tunnel-Betriebs- und Sicherheitsausrüstung (BSA) dient. Der zweite WELK wird der Swissgrid zur Verfügung gestellt, die darin eine 220 kV-Höchstspannungsleitung verlegen will, wie es in der Schweiz zum ersten Mal in Kombination mit einem Strassentunnel zur Ausführung kommt. In der Folge soll die heutige Transit-Freilandleitung über den Gotthardpass rückgebaut werden.



Quelle/credit: IG Nuovo Gottardo

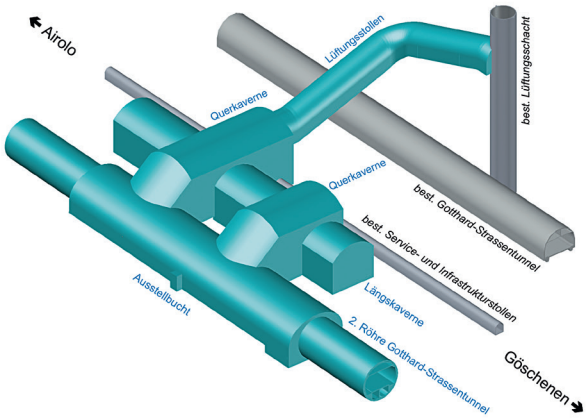
4 Normalprofil 2. Röhre (TBM-Strecke)
Normal profile of the 2nd tube (TBM route)

Für den Lüftungsbetrieb der zweiten Röhre sind gesamthaft sieben neue Zentralen erforderlich, zwei liegen bei den Portalen Göschenen und Airolo und werden klassisch im Tagbau innerhalb der Voreinschnitte erstellt, fünf werden bergmännisch realisiert. Diese stimmen in der Lage praktisch mit den vorhandenen Lüftungszentralen längs der bestehenden Röhre überein und sind in etwa baugleich: Sie werden zwischen der neuen Tunnelröhre und dem bestehenden SISto ausgebrochen. Als Erschliessung der Zentrale wird dort die zweite Röhre auf einer Länge von 70 respektive 90 m mit beidseitigen Ausstellbuchten ausgeweitet. Die Räume für die elektromechanischen Installationen, für die Zu- und Abluftventilatoren sowie die erforderlichen Lüftungskanäle finden

Before the TBM's main excavation work reaches the technically very demanding fault zones, the latter will already have been excavated and secured. The TBM can therefore be moved through these previously excavated areas and then tackle the second excavation section up to the breakthrough point – at about the middle of the tunnel.

3.4 The main tunnel, tunnel control centres and adjoining structures

The second tunnel's circular standard profile comprises a double-shell inner lining with a waterproof membrane. It is designed for a 2 x 4 m wide traffic lane (1 lane + 1 emergency lane) and a clearance height of 5 m. A suspended tunnel roof separates the traffic space from the ventilation duct in the tunnel. Two utility ducts (UD) are located underneath the traffic lanes, one of which will be used for the tunnel operating and safety equipment (BSA). The second UD will be made available to Swissgrid, which plans to place a high-voltage power cable along it, as it is being implemented in Switzerland for the first time in combination with a road tunnel. As a result, the current transit overland line across the Gotthard Pass will be dismantled.



Quelle/credit: IG Nuovo Gottardo

5 Tunnelzentrale Hospental – Illustration Projekt/Bestand
Hospental Tunnel Centre - Illustration of project/existing structure

A total of seven new control stations are required for ventilation operation in the second tube; two are located at the portals in Göschenen and Airolo and will be built with a classic open-cut and cover construction method, while five will be excavated underground. These are practically identical in location to the existing ventilation control centres along the existing tube and are of roughly the same design. They will be excavated between the new tunnel tube and the existing SISto. To provide access to the control centre, the second tube will be extended over a length of 70 m, respectively 90 m, with access bays on both sides. The rooms required for the electromechanical equipment, for the air supply and exhaust fans and the necessary ventilation ducts will be located in multi-storey underground chambers at right angles to and alongside the tunnel.

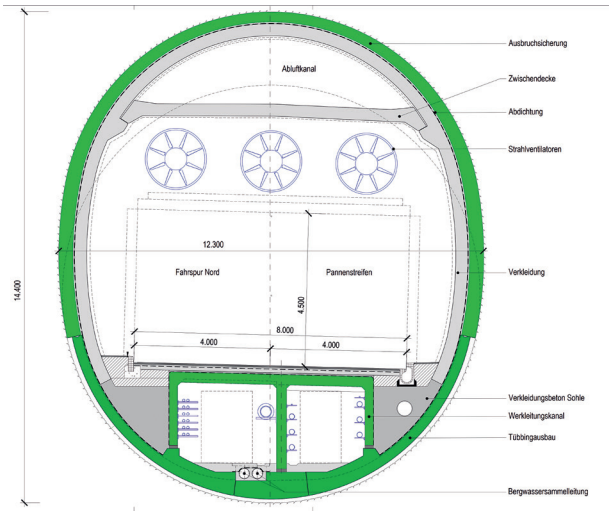
in mehrgeschossigen Kavernen Platz, welche quer und längs zum Tunnel liegen.

Der Bau ist eine logistische Herausforderung für den Unternehmer in Bezug auf die Erschliessung der Teilausbrüche auf unterschiedlichen Niveaus, die anspruchsvolle Schalungsgeometrien sowie die verschiedensten Betonieretappen von Gewölbe, Wänden, Decken und Sohlen.

Die neue Tunnelröhre wird mit diversen Nebenbauwerken auf den aktuellen Stand der Anforderungen und in Anlehnung an das ASTRA-Fachhandbuch ausgerüstet.

Es werden kombinierte SOS-/Hydrantennischen mit 150 m Regelabstand sowie total 67 Querverbindungen an den bestehenden SISto realisiert.

Damit die Strahlventilatoren im Fahrraum Platz finden, ist die Zwischendecke respektive das Tunnelprofil an 20 Stellen über eine Länge von 38 m um bis zu 2.10 m zu erhöhen. Jeweils zwei Überfirstungen liegen nahe zueinander und werden von zehn Unterstationen aus elektrisch erschlossen. Die Unterstationen sind mit den neuen Querverbindungen als seitlich angehängte Kavernen kombiniert.



Quelle/credit: IG Nuovo Gottardo

6 *Normalprofil 2. Röhre mit Überfirstung*
Normal profile of the 2nd tube with roof ridge

3.5 Zugangsstollen

Der Zugangsstollen Nord weist lediglich eine temporäre, baulogistische Funktion für den Bau der zweiten Röhre als Zugang für das Auffahren der Störzone Nord auf und hat im Endzustand keine weitere Verwendung mehr. Die Hauptbaustelle im Portalbereich Göschenen befindet sich in einer exponierten Zone mit hohem Risiko für Schneelawinen und Steinschlag. Um eine zuverlässige und wintersichere Ver- und Entsorgung von Material für den Hauptvortrieb der zweiten Röhre zu gewährleisten, wurde entschieden, einen Teil der Baustelleneinrichtungen unter Tage zu installieren. Zu diesem Zweck werden zusätzlich zum Zugangsstollen

The construction is a logistical challenge for the contractor in terms of accessing the partial excavations at different levels, the demanding formwork geometries and the various concrete pouring stages for vaults, walls, ceilings and bases.

The new tunnel tube will be equipped with various adjoining structures to meet current requirements and to be in accordance with the FEDRO technical manual.

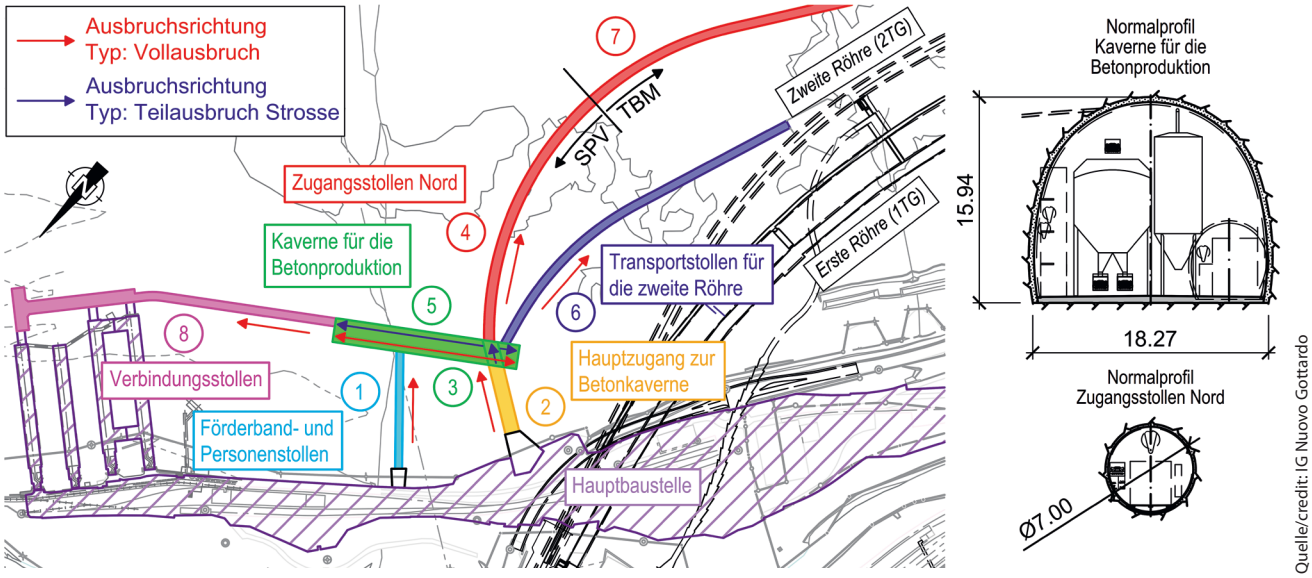
The project involves constructing SOS/hydrant niches with 150 m standard spacing as well as a total of 67 cross-passages to the existing SISto.

In order to make room for the jet fans in the traffic space, the suspended roof or respectively the tunnel profile has to be raised by up to 2.10 m at 20 points over a length of 38 m. Two raised tunnel roof sections are located close to each other and are used to electrically connect to ten substations. The substations are combined with the new cross-passages as laterally attached underground chambers.

3.5 Access tunnels

The north access tunnel only has a temporary structural function for the construction of the second tube, as it provides access to the northern fault zone and will have no further use in its final state. The main construction site at the Göschenen portal area is located in an exposed zone with a high risk of avalanches and rockfalls. In order to ensure a reliable and winter-safe supply and disposal of materials for the main drive of the second tube, it was decided to install part of the site installation equipment underground. In addition to the north access tunnel, several underground construction chambers and tunnels will be built, including a large underground chamber to house the future concrete production plant. Apart from the sections in loose rock near the portal, the north access tunnel and the logistics excavations are located in the Aare granite, which is favourable from a construction point of view. The approx. 4.1 km long north access tunnel will be mainly mechanically excavated using a Gripper TBM with an excavation diameter of 7.03 m, and the tunnel secured with a single shell lining comprising reinforcement mesh and shotcrete.

The south access tunnel has a total length of approx. 5 km. In the current state of construction, it serves as a logistical access point to excavate the southern fault zone; in the final stage, it will be integrated into the overall tunnel system and serve as fresh air supply to the Monte Prosa ventilation control centre, which ventilates the new UD underneath the traffic space. The south access tunnel begins in Airolo to the west of the existing tunnel portal and crosses above the existing Gotthard Road Tunnel after approx. 450 m. The first approx. 80 m were excavated conventionally using a full-face excavation method. The remaining section leads through the Gotthard massif and will be excavated using a TBM with a bore diameter of 7.38 m and a single-shell segmental lining.



7 Zugangsstollen Nord – Übersicht baulogistische Kavernen und Stollen
Access tunnel north – Overview of construction caverns and tunnels

Nord mehrere baulogistische Kavernen und Stollen realisiert, darunter eine grosse Kaverne für die zukünftige Betonproduktionsanlage. Abgesehen von den portalnahen Abschnitten in Lockergestein liegen der Zugangsstollen und die Logistikausbrüche Nord im bautechnisch günstigen Aare-Granit. Der ca. 4.1 km lange Zugangsstollen Nord wird mehrheitlich maschinell mittels einer Gripper-TBM mit einem Ausbruchdurchmesser von 7.03 m aufgefahren und einschalig mit Bewehrungsnetzen und Spritzbeton gesichert.

Der Zugangsstollen Süd weist eine Gesamtlänge von ca. 5 km auf. Im Bauzustand dient er als baulogistischer Zugang für den Vortrieb der Störzone Süd; im Endzustand wird dieser in das Tunnelgesamtsystem integriert und dient der Frischluftzufuhr zur Lüftungszentrale Monte Prosa, welche den neuen WELK unterhalb der Fahrbahn belüftet. Der Zugangsstollen Süd beginnt in Airolo westlich des bestehenden Tunnelportals und überquert den bestehenden Gotthard-Strassentunnel nach ca. 450 m. Die ersten ca. 80 m werden konventionell im Vollausbruch aufgefahren. Die restliche Strecke führt durch das Gotthard-Massiv und wird mittels einer Schild-TBM mit einem Bohrdurchmesser von 7.38 m ausgebrochen und mit einschaligem Tübbingausbau gesichert.

3.6 SISto-Umlegungen

Parallel zum bestehenden Strassentunnel verläuft der SISto, der die vorhandenen Schutzräume mit Frischluft versorgt und als Notausgang dient. Die beim Bau der ersten Röhre erstellten Portalbauwerke und Tagbautunnel in Göschenen und Airolo werden, wie auch im ursprünglichen Projekt vorgesehen, für die zweite Röhre wiederverwendet. In den beiden Portalbereichen verläuft die neue Tunnelachse in der Lage des bestehenden SISto. Der SISto sowie die darin verlaufenden Leitungen und Lüftung stehen somit geometrisch in Konflikt mit der Trasse der zweiten Röhre und müssen in den Portalbereichen vorgängig zum Bau der zweiten Röhre umgelegt werden.

3.6 SISto rerouting

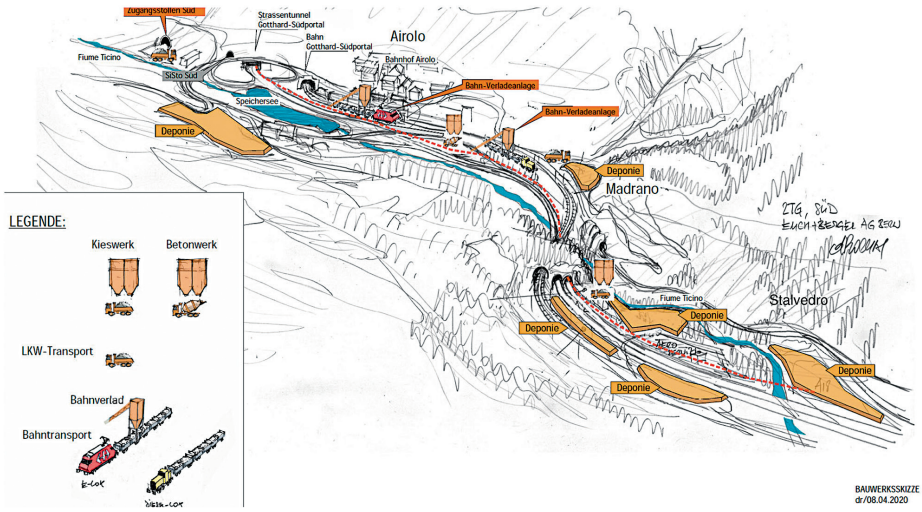
The SISto runs parallel to the existing road tunnel and supplies the existing emergency shelters with fresh air and serves as an emergency exit. The portal structures and cut-and-cover tunnels in Göschenen and Airolo built during the construction of the first tube will be reused for the second tube, as planned in the original project. In both portal areas, the new tunnel axis runs along the existing SISto's axis. The SISto, as well as the pipes and ventilation running through it, are therefore geometrically in conflict with the second tube's route and must be relocated in the portal areas in advance of the second tube's construction.

The normal profile for the north and south SISto rerouting process is identical. A single-shell shotcrete lining with an in-situ concrete base is planned. The north SISto reroute has a length of approx. 430 m, while the south reroute is around 300 m long. New portal control centres for the ventilation and electrical supply for the SISto are being built at the new exits of the rerouted SISto in the portal areas of Airolo and Göschenen.

4 Materials management

Approximately 7.4 million t of excavated material will be produced from the construction work. The project includes the sustainable utilization of this material. With the planned Stalvedro material processing plant south of Airolo, 1.8 million t of aggregates for concrete will be extracted from the excavated material, which will be used in the project for excavation support and for the tunnel's inner lining. The redesign of the entire Airolo connection with motorway overlay and landscaping upgrades in the Airolo-Stalvedro area will require 1.9 million t of filling materials. Another 3.5 million t of material will be transported by railroad to Flüelen, which will be used to create a new shallow water zone in the Reuss delta as part of the nature and landscape project in the canton of Uri.

Das Normalprofil für die SISto-Umlegung Nord und Süd wird identisch ausgebildet. Es ist ein einschaliger Spritzbetonausbau mit Ortbetonsohle vorgesehen. Die SISto-Umlegung Nord weist eine Länge von ca. 430 m auf, jene im Süden misst rund 300 m. Bei den neuen Ausgängen der umgelegten SISto in den Portalbereichen Airolo und Göschenen entstehen auch neue Portalzentralen für die Lüftung und elektrische Versorgung des SISto.



Quelle/credit: IG Nuovo Gottardo

***8** Materialbewirtschaftung – Illustration Portalbereich Airolo bis Stalvedro*
Material management – Illustration of the portal area from Airolo to Stalvedro

4 Materialbewirtschaftung

Aus den Arbeiten fallen etwa 7.4 Mio. t Ausbruch- und Aushubmaterial an. Das Projekt sieht dessen nachhaltige Verwertung vor: Mit der vorgesehenen Materialaufbereitungsanlage Stalvedro südlich von Airolo werden 1.8 Mio. t Gesteinskörnungen für Beton aus dem Ausbruchmaterial gewonnen, die im Projekt für Ausbruchsicherungen und für die Tunnelinnenschale eingesetzt werden. Die Umgestaltung des gesamten Anschlusses Airolo mit Autobahnüberdeckung und landschaftsgestalterischen Aufwertungen im Raum Airolo-Stalvedro erfordert 1.9 Mio. t Schüttmaterialien. Weitere 3.5 Mio. t werden per Bahn nach Flüelen gebracht, wo sie im Rahmen des Natur- und Landschaftsprojektes des Kantons Uri im Reussdelta zur Schaffung einer neuen Flachwasserzone eingesetzt werden.

Der Materialtransport zwischen Airolo, Göschenen und Flüelen erfolgt per Bahn. Für die internen Transporte auf den Baustellen Göschenen und Airolo-Stalvedro werden umfangreiche Zwischenlager, Förder- und Umschlagsanlagen erstellt, welche den hohen Leistungsanforderungen zur Abnahme des Ausbruchmaterials ab den TBM-Vortrieben genügen müssen.

5 Bauprogramm und Termine

Die ersten Bauarbeiten wurden im Frühjahr 2020 in Angriff genommen. In den Jahren 2020 bis 2023 finden Vorbereitungsarbeiten in den Vorportalbereichen Göschenen und Airolo statt, die Umlegung des SISto, der Vortrieb des Zugangsstollens Nord respektive Süd sowie die Montage- und Installationsarbeiten der Anlagen der Materialbewirtschaftung.

Im Oktober 2022 konnte auch der Baubeginn der Hauptlose Nord und Süd erfolgen. Als Erstes sind die Arbeiten im Bereich der Installationsplätze auszuführen, gleichzeitig werden die Voreinschnitte Göschenen und Airolo ausgehoben und die Startstrecken im Portalbereich konventionell vorgetrieben. Während

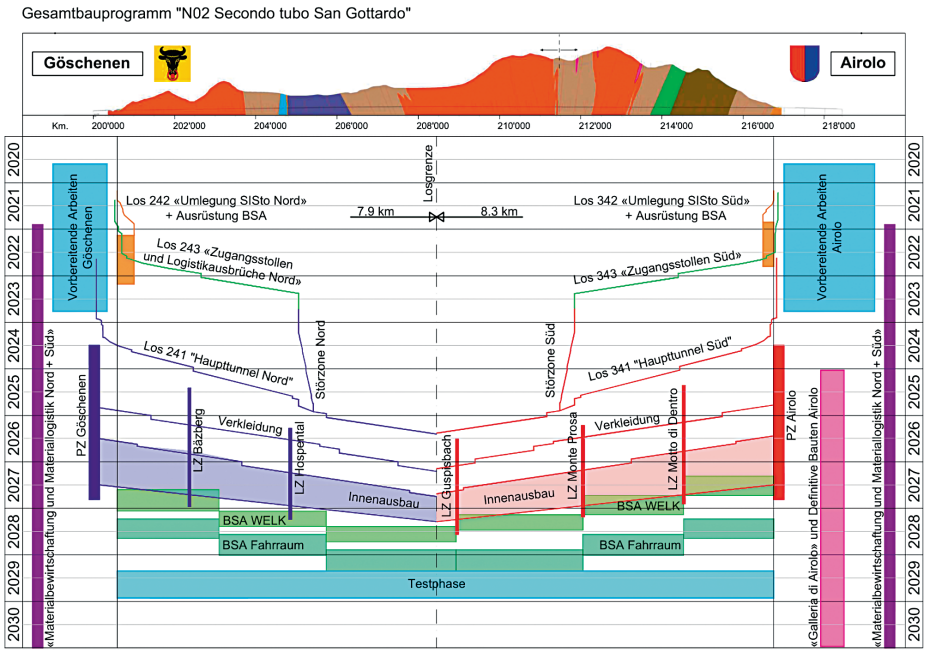
Material will be transported between Airolo, Göschenen and Flüelen by railroad. For internal transport at the Göschenen and Airolo-Stalvedro construction sites, extensive interim storage, conveying and handling facilities are being built, which must meet the high performance requirements for the acceptance of the excavated material from the TBM excavations.

5 Construction programme and dates

Construction started in spring 2020. From 2020 to 2023, preparatory works are being carried out in the areas in front of the Göschenen and Airolo portals, SISto rerouting, excavating the north and south access tunnels and the assembly and installation works for the material management systems.

In October 2022, construction of the main north and south lots began. The first work process to be carried out is in the installation sites; at the same time, the Göschenen and Airolo preliminary cuts will be excavated and the starting sections in the portal area will be driven conventionally. In 2024 and 2025, the northern and southern fault zones will be excavated. As soon as the preliminary works at the portals are completed, excavation using the TBM for the two main drives will start. The time allowed to finish both tunnels up to the lot boundary is estimated at around two years – until 2026. The excavation, installation of supports/reinforcement and final lining of all central and ancillary structures, as well as placing of the tunnel lining, including the installation of the suspended tunnel roof, will be carried out in parallel behind of the advancing TBMs. According to the overall construction programme, these structural works will be completed in 2028. Equipping the UD will begin in 2027. The progress of the BSA installations in the exhaust air duct, in the tunnel traffic envelope and in the control centres will take a total of about 2.5 years. In the last six months before the planned opening, the second tube will be prepared for operation and

den Jahren 2024 und 2025 steht die Durchörterung der beiden Störzonen Nord und Süd an. Sobald die Vorarbeiten bei den Portalen abgeschlossen sind, starten die TBM-S der beiden Hauptvortriebe. Die Vortriebszeit bis zur Losgrenze ist mit rund zwei Jahren veranschlagt, bis 2026. Parallel zum TBM-Vortrieb erfolgen im rückwärtigen Bereich der Ausbruch, die Sicherung und Verkleidung sämtlicher Zentralen sowie Nebenbauwerke und die Ausführung der Tunnelverkleidung samt Zwischendecke. Der Abschluss der Rohbauarbeiten ergibt sich gemäss Gesamtbauprogramm im Jahr 2028. Im Jahr 2027 beginnen die Ausrüstungen im WELK. Der Fortgang der Installationen BSA im Abluftkanal, im Tunnelfahrraum sowie in den Zentralen dauert gesamthaft etwa 2.5 Jahre. Im letzten halben Jahr vor der geplanten Inbetriebnahme wird die zweite Röhre für den Betrieb vorbereitet und bleiben die integralen Tests durchzuführen. Die Eröffnung ist nach aktueller Planung Ende 2029 prognostiziert.



Quelle/credit: IG Nuovo Gottardo

9 *Gesamtbauprogramm 2. Röhre (Stand 2022)*
Total construction project, 2nd tube (status 2022)

6 Stand der Arbeiten und bisherige Erfahrungen

6.1 Im Norden

Die Vorbereitungsarbeiten in Göschenen sind per Januar 2023 weit vorangeschritten. Unter anderem konnten die verschiedenen baulogistischen Ausbrüche inklusive Kaverne für die Betonanlage vollständig gebaut werden.

Der Stollen der SISto-Umlegung wurde im Januar 2023 für die Montage der BSA übergeben, die Inbetriebnahme der neuen SISto-Zentrale ist im Juni 2023 geplant.

Die Vorbereitungsarbeiten für die gleisgebundene Ver- und Entsorgung sind abgeschlossen. Weiterhin wurden die Baugrundertüchtigungsarbeiten in der Lockergesteinsstrecke und die Bohrpfähle für den Voreinschnitt, inklusive Aushubarbeiten und Betonage des Pfahlkopfriegels, als Vorausmassnahme des Hauptloses ausgeführt.

Eine der grössten Herausforderungen bei den bisherigen Vortrieben war die Durchquerung des sehr locker gelagerten, setzungsempfindlichen Deponiematerials mit der SISto-Umlegung. Der Ausbruch erfolgte mithilfe von Rohrschirm, langen GFK-Brustankern und Drainagebohrungen. Nach dem Auftreten eines unerwarteten grösseren Niederbruchs am Anfang der Strecke wurde der Abstand zwischen den Stahlrohren auf ein konstruktives Minimum von 30 cm

the integral tests will to be carried out. According to current planning, the second tube is expected to open at the end of 2029.

6 Construction status and experience so far

6.1 In the north

The preparatory work in Göschenen is well advanced as of January 2023. Among other things, the various construction excavations, including the cavern for the concrete plant, have been completely built.

The SISto relocation gallery was handed over for BSA assembly in January 2023 and the new SISto headquarters is scheduled to be commissioned in June 2023.

The preparatory work for rail-bound supply and disposal has been completed. Furthermore, the foundation reinforcement work in the loose rock section and the bored piles for the preliminary cut, including excavation work and concreting of the vertical bore pile capping beam, were carried out as advance measures in the main lot.

One of the biggest challenges in previous excavations was crossing the very loosely bedded, settlement-sensitive landfill material with the SISto relocation. Excavation was carried out with the aid of a pipe roofing umbrella, long GRP anchors and drainage boreholes. After an unexpected major collapse at the beginning of the section, the distance between the steel pipes was reduced to a design minimum of 30 cm and the grout-mix injected into the pipe roofing umbrella was optimised, i.e., made more viscous. Furthermore, the injection quantity was increased and grout injection lances were systematically installed be-

reduziert und die Injektionen des Rohrschirms wurden optimiert, sprich zähflüssiger gemacht. Im Weiteren wurden auch die Injektionsmenge erhöht sowie mit Mörtel ausinjizierte Spiesse zwischen den Rohrschirmrohren systematisch eingebaut. Die durchschnittliche Vortriebsleistung betrug in diesem Abschnitt ca. 0.5 m/AT (Arbeitstag) bei einem 2-Schicht-Betrieb.

Der TBM-Vortrieb des Zugangsstollens steht bei rund 55 % der Gesamtlänge. Der bislang durchfahrene Aare-Granit zeigt sich sehr kompakt und standfest, dementsprechend konnte die Felssicherung optimiert werden.

6.2 Im Süden

Im Süden kann die SISto-Umlegung per Ende Februar 2023 in Betrieb genommen werden. Die Felsverhältnisse erwiesen sich meist als schwierig. Schliesslich wurde der SISto in einer Kombination von SPV und MUF aufgefahren und praktisch über die ganze Länge mit Stahleinbau gesichert. Besonders herausfordernd war die Überquerung des bestehenden Gotthard-Strassentunnels in einem Abstand von lediglich 5 m. Zur Minimierung der Auswirkungen von Sprengerschütterungen konnte in diesem Bereich nur nachts mit kurzen Abschlägen ausgebrochen werden, während kurzem Anhalten des Verkehrs und sofortiger Inspektion der Lüftungskanäle beziehungsweise des Fahrraums des bestehenden Tunnels.

Der Zugangsstollen Süd ist per Januar 2023 zu rund 35 % vorgetrieben. Sehr anspruchsvoll haben sich hier der Aushub des Voreinschnitts und der Vortrieb der ca. 80 m langen bergmännischen Startstrecke in der Trias erwiesen, wo stark zersetzter Fels (Rauwacke) mit Lockergesteinscharakter anzutreffen war. Während der letzten Aushubphase für den Voreinschnitt erwiesen sich die geotechnischen Eigenschaften und das Verhalten der Trias als wesentlich ungünstiger als prognostiziert: Die Standzeit betrug nur wenige Minuten, der Zerfall unter mechanischer Beanspruchung traf bereits beim Aufbringen des Spritzbetons ein. Eine Anpassung der ursprünglich geplanten Bauhilfsmassnahmen für die anfängliche Vortriebsstrecke wurde unumgänglich. Schliesslich wurde das Jet-Grouting-Verfahren als Ersatz von Rohrschirm und GFK-Brustanker gewählt.

tween the pipe screen tubes. The average excavation rate in this section was approx. 0.5 m per workday in a two-shift operation.

The TBM excavation of the access tunnel is at about 55 % of the total length. The Aare granite that has been excavated so far is very compact and stable, so the rock support has been optimised accordingly.

6.2 In the south

In the south, the SISto rerouting process can be put into operation by the end of February 2023. The rock conditions proved to be difficult most of the time. Finally, the SISto was excavated with a combination of D&B and NAT and secured with steel lining over practically its entire length. The existing Gotthard Road Tunnel crossing at a distance of only 5 m was particularly challenging. To minimise the effects of blasting vibrations, excavation in this area could only be carried out at night with short bursts, while traffic was briefly stopped and the ventilation ducts or traffic space of the existing tunnel were immediately inspected.

As of January 2023, around 35 % of the south access tunnel had been excavated. The excavation of the preliminary cut and the excavation of the approx. 80 m long tunnelled section in the Triassic rocks, where highly decomposed rock with loose rock character was encountered, proved to be very challenging. During the final excavation phase for the preliminary cut, the geotechnical properties and behaviour of the Triassic rocks proved to be much less favourable than predicted. Service life only lasted a few minutes, and disintegration under mechanical stress already occurred during the application of wet shotcrete. An adjustment of the originally planned construction support measures for the initial tunnelling section became unavoidable. Finally, a jet-grouting method was chosen to replace the pipe roofing umbrella and the GRP anchors. With the help of the sub-horizontal jet

Quelle/credit: ASTRA Bellinzona

10 *Portalzone Nord – Übersicht Bauaktivitäten in Göschenen*

North portal zone – Overview of construction activities in Göschenen

Quelle/credit: ASTRA Bellinzona

11 *Portalzone Süd – Übersicht Installationsplatz Zugangsstollen Süd in Airolo*

South portal zone – Overview of the south access tunnel site in Airolo

Damit konnte mithilfe der subhorizontalen Jetting-Säulen eine durchgehende Bodenverbesserung entlang des Ausbruchsprofils sowie eine Sicherung der Ortsbrust erreicht werden, was sich als zuverlässige Lösung erwies.

7 Ausblick

Nächster Meilenstein ist die Bestellung der beiden TBM-S für die Hauptlose Nord und Süd. Ihre Montage im Vorportalbereich setzt voraus, dass die Voreinschnitte bei den Portalen termingerecht abgeschlossen werden und die Startstrecken für den TBM-Einschub zur Verfügung stehen.

Weiterer Schlüsseltermin ist der Abschluss der beiden Vorlose Zugangsstollen Nord und Süd noch im laufenden Jahr. In der Folge werden die Vorbereitungsarbeiten zur Durchörterung der äusserst anspruchsvollen Störzonen in Angriff genommen.

Ebenfalls im Verlaufe des Jahrs 2023 beginnt die Montage der ersten Anlagen der übergeordneten Materialbewirtschaftung. Erst deren termingerechte Inbetriebnahme wird es ermöglichen, die Baustellen mit den benötigten Gesteinskörnungen für die Betonproduktion zu versorgen beziehungsweise das Ausbruchmaterial abzunehmen, damit jene Leistungen erbracht werden können, die es in Zukunft täglich braucht, um das ambitiöse Gesamtbauprogramm erfüllen zu können.

columns, it was thus possible to achieve continuous ground improvement along the excavation profile as well as securing the tunnel face, which proved to be a reliable solution.

7 Overview

The next milestone is ordering the two TBM for the main north and south lots. Their assembly in the pre-portal area requires that the preliminary cuts at the portals are completed on schedule and that the launching sections for the TBM are available.

Another key deadline is the completion of the two north and south access tunnels before the end of 2023. Subsequently, the preparatory work for the excavation of the extremely challenging northern and southern fault zones will be tackled.

Likewise over the course of 2023, installation of the first systems for higher-level materials handling will begin. It is only when these are commissioned on schedule that it will be possible to supply the construction sites with the required aggregates for the concrete production or to transport the excavated material so that the services can be provided that will be needed on a daily basis to fulfil the ambitious overall construction programme.

PROJEKTDATEN

Region
Gotthard, Airolo-Göschenen, Schweiz

Bauherr, Projekt- und Oberbauleitung
Bundesamt für Strassen ASTRA, Filiale Bellinzona

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

PROJECT DATA

Region
Gotthard, Airolo-Göschenen, Switzerland

Client, project management and senior site management
Federal Office for Roads FEDRO, Bellinzona Branch

Planning and site management
- Planning and technical construction management of the tunnel: IG Nuovo Gottardo, c/o Lombardi SA, Bellinzona-Giubiasco; B+S AG, Bern; ILF Beratende Ingenieure AG, Zürich; Emch+Berger AG, Bern
- Contractor support: IG Duo, c/o EBP Schweiz AG, Zürich; Filippini & Partner Ingegneria SA, Biasca; Neuenschwander Consulting Engineers, Bellinzona; Bachofner & Partner AG, Zürich
- North regional construction management: IG 2G-BN, c/o IUB Engineering AG, Bern; Basler & Hofmann AG, Esslingen; Gähler und Partner AG, Ennetbaden; IM Maggia Engineering SA, Locarno; Studio Ingegneria Sciarini SA, Gambarogno
- South regional construction management: Consorzio DL-Bedrina, c/o Pini Group SA, Lugano; Renzo Tarchini Cantieri & Contratti SA, Lugano; Afry Schweiz AG, Zürich

PROJEKTDATEN

- Umweltbaubegleitung: Consorzio ENV2TG, c/o IFEC Ingegneria SA, Rivera; Afry Schweiz AG, Zürich
- Projektgeologe: CSD Ingenieure AG, Altdorf

Ausführung

- Los 111 Materialbewirtschaftung und -logistik Nord + Süd: Consorzio Sasso Gottardo, c/o Otto Scerri SA, Arbedo-Castione; Marti Technik AG, Moosseedorf; Simatec Maschinenbau AG, Horw; Mancini & Marti SA, Bellinzona; Arnold & Co. AG, Flüelen
- Los 241 Haupttunnel Nord: ARGE secondo tubo, c/o Implenia Schweiz AG, Wallisellen; Frutiger AG, Thun
- Los 242 Umlegung SISto Nord: Implenia Schweiz AG, Wallisellen
- Los 243 Zugangsstollen und Logistikausbrüche Nord: ARGE secondo tubo, c/o Implenia Schweiz AG, Wallisellen; webuild S.p.A, I-Milano; CSC Costruzioni SA, Lugano; Frutiger AG, Thun
- Lotto 341 Galleria principale Sud: Consorzio Marti 2TG Lotto 341, c/o Marti Tunnel AG, Moosseedorf; Mancini & Marti SA, Bellinzona; Ennio Ferrari SA, Lodrino
- Lotto 342 Spostamento SISto sud: Consorzio Albinengo, c/o Matteo Muttoni Costruzioni SA, Bellinzona; Impresa Costruzioni Pervangher SA, Airolo
- Lotto 343 Cunicolo di accesso Sud: Consorzio Cunicolo Gottardo, c/o Marti Tunnel AG, Moosseedorf; Mancini & Marti SA, Bellinzona; Ennio Ferrari SA, Lodrino

Kenndaten

Bauzeit:	ca. 9 Jahre
Inbetriebnahme:	Ende 2029
Baukosten Tunnel:	ca. CHF 2.14 Mio.
Gesamtlänge:	rd. 16.9 km
Ausbruchquerschnitt:	TBM D = 12.3 m

Besondere Merkmale

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

PROJECT DATA

- Environmental construction supervision: Consorzio ENV2TG, c/o IFEC Ingegneria SA, Rivera; Afry Schweiz AG, Zürich
- Project geologist: CSD Ingenieure AG, Altdorf

Implementation

- Lot 111: Materials management and logistics, north + south: Consorzio Sasso Gottardo, c/o Otto Scerri SA, Arbedo-Castione; Marti Technik AG, Moosseedorf; Simatec Maschinenbau AG, Horw; Mancini & Marti SA, Bellinzona; Arnold & Co. AG, Flüelen
- Lot 241: Main tunnel, north: ARGE secondo tubo, c/o Implenia Schweiz AG, Wallisellen; Frutiger AG, Thun
- Lot 242: SISto north relocation: Implenia Schweiz AG, Wallisellen
- Lot 243: Access galleries and logistic excavations, north: ARGE secondo tubo, c/o Implenia Schweiz AG, Wallisellen; webuild S.p.A, I-Milano; CSC Costruzioni SA, Lugano; Frutiger AG, Thun
- Lot 341: Main tunnel, south: Consorzio Marti 2TG Lotto 341, c/o Marti Tunnel AG, Moosseedorf; Mancini & Marti SA, Bellinzona; Ennio Ferrari SA, Lodrino
- Lot 342: SISto relocation, south: Consorzio Albinengo, c/o Matteo Muttoni Costruzioni SA, Bellinzona; Impresa Costruzioni Pervangher SA, Airolo
- Lot 343: South access tunnel: Consorzio Cunicolo Gottardo, c/o Marti Tunnel AG, Moosseedorf; Mancini & Marti SA, Bellinzona; Ennio Ferrari SA, Lodrino

Key data

Construction time:	approx. 9 years
Commissioning:	end: 2029
Tunnel construction costs:	approx. CHF 2.14 mill.
Total length:	16.9 km
Cross-section excavation:	TBM-D = 12.3 m

Special features

The Gotthard Road Tunnel's second tube, with a total length of 16.9 km, including seven new operation and ventilation control centres and 67 new cross-connections (partly with additional underground stations) to the existing SISto; two access tunnels (north L=4.1 km, south L=5 km) for preliminary and independent access to the conventional tunnels through the pressurised fault zones – north and south; rerouting the existing SISto in both portal areas, including two new ventilation control centres.

Reto Tschabold, Elektrotechniker HF, EMBA Generalmanagement, Leiter Region Oberland, BLS Netz AG, Frutigen

16 Jahre Lötschberg-Basistunnel

Ein Erfahrungsbericht

Der Lötschberg-Basistunnel ist seit Juni 2007 in Betrieb. Das komplexe Bauwerk birgt täglich neue Herausforderungen. In den letzten 10 Jahren wurden diverse Optimierungsmassnahmen umgesetzt, um die Wirtschaftlichkeit der Instandhaltung zu verbessern und gleichzeitig die Verfügbarkeit und Sicherheit auf einem hohen Niveau zu halten.

Sixteen years of the Lötschberg Base Tunnel

A field report

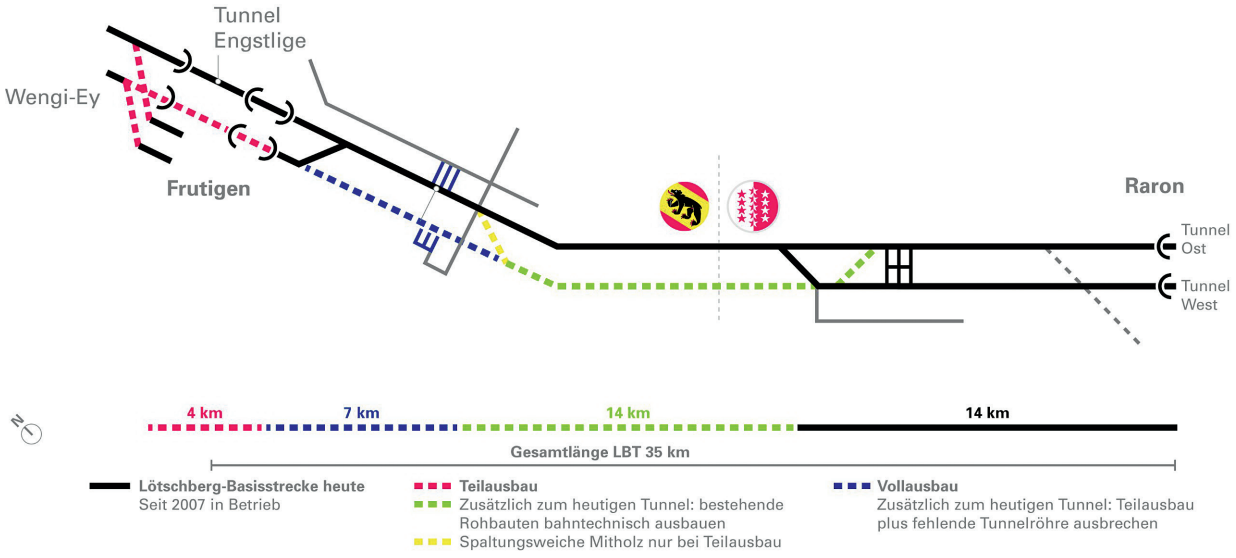
The Lötschberg Base Tunnel has been in operation since June 2007. Its complex structure presents new challenges on a daily basis. Over the past 10 years, various improvement measures have been implemented to optimise the cost-effectiveness of maintenance while keeping operational availability and safety a priority.

1 Einleitung

Der Lötschberg-Basistunnel ist Teil der NEAT (Neue Eisenbahn-Alpentransversale) und wurde im Juni 2007 eröffnet. Mit seinen 34.6 km Länge ist er aktuell der fünftlängste Eisenbahntunnel der Welt. Die Baukosten lagen bei rund 4.3 Milliarden Schweizer Franken. Speziell ist der 21 km lange Einspurabschnitt auf der Nordseite des Tunnels. 14 km davon sind bahntechnisch nicht ausgebaut und lassen sich mittels Pkw und Lkw befahren.

1 Introduction

The Lötschberg Base Tunnel is part of the NRLA (New Rail Link through the Alps) and was opened in June 2007. At 34.6 km long, it is currently the fifth longest railway tunnel in the world. The construction costs totalled around 4.3 billion Swiss francs. The 21-km-long single-track section on the north side of the tunnel is special. There are 14 km of this section that have not been upgraded for railway purposes and can be used by cars and lorries.



Quelle/credit: presseportal.ch

1 Schematische Darstellung Lötschberg-Basistunnel (Soltermann, 2020)
Schematic diagram of the Lötschberg Base Tunnel (Soltermann, 2020)

Les seize ans du tunnel de base du Lötschberg

Un rapport d'expérience

Les coûts d'accessibilité des installations du tunnel de base du Lötschberg constituent aujourd'hui le plus grand défi du projet. Cette situation sera encore aggravée par l'aménagement du tunnel de base du Lötschberg, car une partie supplémentaire des installations ne sera accessible que par le rail. Le levier principal pour une exploitation rentable du tunnel réside dans sa conception. À la fin de sa durée de vie, les coûts de rénovation et d'entretien du tunnel du Lötschberg seront environ 1,5 fois plus élevés que les coûts de construction.

16 anni della galleria di base del Lötschberg

Un resoconto

La complessa accessibilità degli impianti rappresenta oggi la più grande sfida, che verrà ulteriormente aggravata dall'ampliamento della galleria di base del Lötschberg, in quanto una parte aggiuntiva degli impianti sarà raggiungibile soltanto su rotaie. La chiave di volta per un funzionamento economico della galleria sta nella progettazione della stessa. I costi per il rinnovo e la manutenzione del Lötschberg saranno fino alla fine ca. 1,5 volte superiori alle spese di costruzione.

Tabelle 1 *Installierte Anlagen und Geräte im Lötschberg-Basistunnel (Alptransit, 2016)*

Table 1 *Installed systems and equipment in the Lötschberg Base Tunnel (Alptransit, 2016)*

Anzahl/Menge · Number/Amount	Anlagentyp · Type of system
57 km	Gleisanlage · Track system
60 km	Montierte Fahrleitung · Installed overhead wire
1500	Tragwerke für die Fahrleitung · Supporting structures for the overhead wire
173	Schiebetore zu den Querschlägen · Sliding gates leading to the cross passages
21	Trafostationen 16/0,4kV, 50 Hz · Transformer stations 16/0.4kV, 50 Hz
10	Schaltposten 15 kV, 16 2/3 Hz · Switching post 15 kV, 16 2/3 Hz
1450	Elektroschränke in den Querschlägen · Electrical cabinets in the cross passages
136	Steuerungscontainer in den Betriebszentralen · Control cabinets in the operations centres
1390 km	Verlegte Kabel · Laid cables
133	Videokameras für die Überwachung · Video cameras for surveillance
2	Stellwerke · Signal boxes
1	Radio Block Center · Radio block centre
3200	Detektionseinheiten zur Brandmeldung · Fire detection units
20	Brandmeldezentralen · Fire alarm control panels
420	Handfeuerlöscher mit Entnahmekontrolle · Hand-held fire extinguisher with extraction controller
110	Räume mit automatischer Feuerlöscheinrichtung · Rooms with automatic fire extinguishing equipment
230	Mechanische Lüftungsöffnungen · Mechanical ventilation openings
2500	Notleuchten im Bahntunnel · Emergency lights in the railway tunnel
56 km	Handlauf · Handrails
437	Telefonapparate · Telephones
16	Telefonzentralen · Telephone centres
5000 m^3	Verlegter Doppelboden in technischen Räumen · Installed raised floors in technical rooms
3000	Schilder für Verkehrswege, Hinweise etc. · Signs for traffic routes, indications, etc.
3	Lüftungszentralen · Ventilation centres
6	Lüftungsventilatoren (Durchmesser 2,5–2,8 m) · Ventilation fans (diameter 2.5-2.8 m)

Quelle/credit: BLS Netz AG

Betrieben wird die Lötschberg-Basisstrecke durch die BLS Netz AG mit Sitz in Bern. Bis heute sind über 500 000 Güter- und Personenzüge (www.bls.ch, 2022) durch den Tunnel gefahren.

The Lötschberg base route is operated by BLS Netz AG, based in Bern. To date, over 500,000 freight and passenger trains (www.bls.ch, 2022) have travelled through the tunnel.

1.1 Instandhaltungsprozesse und Organisation

Die Instandhaltung des Lötschberg-Basistunnels erfolgt ab dem Erhaltungszentrum der BLS Netz AG beim Nordportal in Frutigen, welches gleichzeitig Hauptsitz der Region Oberland von Bau & Unterhalt ist. Die Region Oberland beschäftigt aktuell rund 172 Mitarbeiter in den Bereichen Fahrbahn, Automation, Energie, Mechanik, Tunneltechnik, Forst und Logistik. Nördlich von Thun ist die Region Mittelland für Instandhaltung des BLS-Netzes zuständig.

Circa 50 % der jährlich wiederkehrenden Instandhaltungsarbeiten im Lötschberg-Basistunnel werden aktuell unter laufendem Zugbetrieb gemacht und die Anlagen können mittels Strassenfahrzeugen erreicht werden. Die anderen 50 % der Instandhaltungsarbeiten finden in fixen Unterhaltssperrungen in den Nächten Sonntag auf Montag und Montag auf Dienstag statt. Diese erfolgen schienengebunden mittels Erhaltungskompositionen, welche sich je nach Bedarf formieren lassen.

Die Planung und Koordination der Instandhaltungsmassnahmen erfolgt fachbereichsübergreifend durch den sogenannten Bau- und Unterhaltskoordinator. Er bestimmt Ort und Zeitpunkt der Arbeitsstellen, stellt die nötige Logistik zur Verfügung, definiert die entsprechenden Tunnelzustände wie Lüftungsszenarien und ist der Sicherheitsverantwortliche der Unterhaltsschicht.

2 Herausforderungen im Betrieb

Der Lötschberg-Basistunnel stellt uns als Instandhaltungsorganisation immer wieder vor neue Herausforderungen. Wir sind täglich gefordert, diese zu meistern. Auf einige wesentliche Herausforderungen wird nachgehend detaillierter eingegangen.

2.1 Zugang zu den Anlagen

Ein grosser Teil der Anlagen ist nur schienengebunden erreichbar oder kann während des Bahnbetriebs aus Sicherheitsgründen nicht instand gehalten werden. Dies führt dazu, dass dieser Teil der Anlagen nur nachts in einem der Unterhaltsfenster von 8 Stunden (ohne Bahnbetrieb) instand gehalten werden kann. Die Anfahrtswege dauern je nach Arbeitsort bis zu 45 Minuten und so gehen 20 bis 25 % der potenziell produktiven Arbeitszeit durch die An- und Rückreise zum Arbeitsort verloren. Hinzu kommt, dass die Schienenfahrzeuge mit Bedienung ein grosser Kostenposten sind. Sie machen rund 15 % der Instandhaltungskosten aus.

2.2 Breite fachliche Ausbildung der Mitarbeiter

Wie im vorhergehenden Kapitel 2.1 erwähnt, ist der Zugang zu den Anlagen teilweise sehr umständlich und aufwendig. Daher liegt der Fokus darin, dass die Unterhaltsequipen an ihrem Arbeitsort möglichst viele Tätigkeiten ausführen können. Um dies sicherzustellen, benötigte es breite Anlagekenntnisse in den verschiedenen Fachbereichen. Damit dieses Fähigkeitslevel erreicht werden kann, benötigt es ent-

1.1 Maintenance processes and Organisation

Maintenance work on the Lötschberg Base Tunnel is carried out by BLS Netz AG's maintenance centre at the north portal in Frutigen, which is also home to BLS Construction & Maintenance's head office in the Oberland region. This region currently employs around 172 people in the fields of railway track, automation, energy, mechanics, tunnel technology, and forestry and logistics. North of Thun, the Mittelland region is responsible for maintenance of the BLS network.

Approximately 50% of the annually recurring maintenance work in the Lötschberg Base Tunnel is currently carried out while trains are in operation and the systems can be reached by road vehicles. The other 50% of the maintenance work takes place in fixed maintenance closures during the night from Sunday to Monday and Monday to Tuesday. This work is carried out by rail using maintenance vehicles that can be arranged as required.

Planning and coordination of the maintenance measures are carried out across all departments by the construction and maintenance coordinator. This person determines where and when the work is to be carried out, arranges the necessary logistics, defines relevant tunnel conditions such as ventilation scenarios, and is responsible for the safety of the maintenance shifts.

2 Challenges in operation

As a maintenance operation, the Lötschberg Base Tunnel presents us with new challenges time and time again. We have to overcome these challenges on a daily basis. Some of the main challenges will be discussed in more detail below.

2.1 Access to the systems

A large part of the systems can only be reached by rail or are not able to be maintained during rail operations for safety reasons. As a result, these systems can only be maintained at night in one of the eight-hour maintenance windows (without railway operation). The journeys take up to 45 minutes, depending on the place of work, and thus 20 to 25% of potentially productive working time is lost due to the journey to and from the place of work. In addition, rail vehicles and their operation are a major cost factor. They account for around 15% of maintenance costs.

2.2 Extensive professional training for staff

As mentioned in section 2.1, access to the systems is sometimes very difficult and time-consuming. Therefore, our focus is on ensuring that maintenance crews can carry out as many activities as possible at their place of work. To ensure this goal, broad knowledge of the systems in various specialist areas is required. In order to achieve this level of skill, it requires appropriate system training and solid basic education. We therefore rely on "specialised generalists". This pays off monetarily overall. The current shortage of skilled workers makes the recruitment of suitable candidates even more

sprechende Anlageschulungen und eine solide Grundausbildung. Wir setzen daher auf „spezialisierte Generalisten". Dies zahlt sich insgesamt monetär aus. Der aktuelle Fachkräftemangel erschwert die Rekrutierung geeigneter Kandidaten zusätzlich. Zudem kommt die regelmässige Nachtarbeit hinzu, zu welcher immer weniger Arbeitnehmer bereit sind.

2.3 Versinterung Tunnelentwässerung

Eine weitere Herausforderung ist die Versinterung der Tunnelentwässerung. Jährlich werden zwischen 45 bis 55 Schichten benötigt, um die Leitungen zu spülen. Durchschnittlich wird jede Leitung alle 1.5 Jahre gespült.

Entgegen den ursprünglichen Erwartungen hat die Versinterung seit Betriebsbeginn im Jahr 2007 nur unwesentlich abgenommen. Problematisch sind dabei die Kleinwasserleitungen, wie sie zum Bespiel für die Kältemaschinen eingesetzt werden. Diese lassen sich im Gegensatz zur Gewölbeentwässerung nicht spülen und müssen so regelmässig ersetzt werden. Aktuell prüfen wir, die wassergekühlten Kältemaschinen durch luftgekühlte zu ersetzen.

Im ganzen Lötschberg-Basistunnel sind keine Entkalkungs- und Enthärtungsanlagen eingebaut. Versuche mit Enthärtungsmitteln sind gescheitert, da die Ablösung der Ablagerungen Stauungen ausgelöst hat. Der Grund liegt darin, dass im Tunnel die Fliessgeschwindigkeit des Wassers zu langsam ist.

2.4 Anlagekühlung mittels Bergwasser

Die gesamten Anlagen im Lötschberg-Basistunnel sind mit dem Bergwasser gekühlt. Im Gegensatz zu den restlichen Anlagen gibt es bei der Wasserversorgung der Kühlsysteme keine Redundanz. Es gibt jeweils nur eine Zuleitung pro Anlage. Gibt es ein Problem mit dem Wasser, steht die Lötschberg-Basisstrecke innerhalb von circa 90 Minuten still. Um dieses Risiko zu beherrschen, beschäftigt man eigens einen Klärmeister und mehrere Heizung-Lüftung-Klima-Spezialisten.

Der Berg ist in den letzten 16 Jahren immer mehr ausgetrocknet. Heute sind wir in niederschlagsarmen Phasen bereits darauf angewiesen, dass in gewissen Bereichen zusätzliches Wasser für die Kühlung ins Tunnelbauwerk eingespeist werden muss. Dies ist ein weiterer Grund, weshalb die BLS punktuell auf luftgekühlte Kältegeräte umstellen will.

2.5 Anlagestandards beibehalten

Um ein Bauwerk wie den Lötschberg-Basistunnel zuverlässig zu betreiben, benötigt es übergeordnete Anlagestandards und Sicherheitsvorgaben. Die bestehenden Anlagen werden laufend erneuert und es ist eine nicht zu unterschätzende Herausforderung, dass alle Projektleiter und Technologiemanager die Standards kennen und auch einhalten. So kann es beispielsweise vorkommen, dass Anlagen mit falschen Brandschutzklassen projektiert werden. Um dies zu verhindern, wurde die Rolle „Lead Compliance Manager"

difficult. This is exacerbated by regular work at night, which fewer and fewer employees are willing to do.

2.3 Calcification of the tunnel drainage

Another challenge involves calcification of the tunnel drainage. Between 45 and 55 shifts are needed annually to flush the pipes. On average, each pipe is flushed every 1.5 years. Contrary to original expectations, calcification has only slightly decreased since the start of operation in 2007. The small water pipes, such as those used for the refrigeration machines, are problematic. Unlike the vault drainage, these cannot be flushed and must therefore be replaced regularly. We are currently looking into replacing the water-cooled refrigeration machines with machines that are air-cooled.

No decalcification and softening systems have been installed in the entire Lötschberg Base Tunnel. Attempts to use softening agents have failed because the loosening of the deposits has triggered backups. The reason for this issue is that the flow rate of the water in the tunnel is too slow.

2.4 System cooling by means of groundwater

All the systems in the Lötschberg Base Tunnel are cooled with groundwater. Unlike the rest of the systems, there is no redundancy in the water supply for the cooling systems. There is only one supply line per system. If there is a problem with the water, the Lötschberg base route comes to a standstill within about 90 minutes. In order to control this risk, the facility employs its own water treatment engineer and several heating, ventilation and air-conditioning specialists.

The mountain has been drying out more and more over the last 16 years. At present, during periods of low precipitation, we already have to rely on more water being fed into the tunnel structure for cooling in certain areas. This is another reason why BLS wants to switch to air-cooled refrigeration units in certain areas.

2.5 Maintaining system standards

In order to reliably operate a structure such as the Lötschberg Base Tunnel, it requires superordinate system standards and safety specifications. The existing facilities are constantly being renovated and ensuring that all project managers and technology managers know and comply with the standards is a challenge that should not be underestimated. For example, it is possible that systems could be designed with the wrong fire protection classes. To prevent this, the role of "Lead Compliance Manager" was created. This person reviews all renovation and expansion projects and ensures that the projects are realised according to the defined and specified standards. He is our "Lötschberg police officer".

3 Optimisation measures implemented so far

Over the past 16 years, various optimisation measures have been implemented in the Lötschberg Base Tunnel. The aim has always been to ensure availability and maximise safety

geschaffen. Dieser prüft sämtliche Erneuerungs- und Erweiterungsprojekte und stellt sicher, dass die Projekte nach den definierten und vorgegebenen Standards realisiert werden. Er ist unser „Lötschberg-Polizist".

3 Umgesetzte Optimierungsmassnahmen bisher

In den letzten 16 Jahren wurden diverse Optimierungsmassnahmen im Lötschberg-Basistunnel umgesetzt. Immer mit dem Ziel, die Verfügbarkeit sicherzustellen, die Sicherheit zu maximieren bei möglichst tiefen wiederkehrenden Instandhaltungskosten. Einige wichtige Optimierungen werden nachfolgend vorgestellt.

3.1 Rückbau Überwachungssensoren

Nach dreijähriger Betriebserfahrung wurde 2010 eine umfassende Analyse zu Optimierungsmassnahmen im Bereich Anlageüberwachung und Wartungsintervalle durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass es mehrere Hundert Detektionseinheiten wie Feuchtigkeitsmelder, Brandmelder, Gasmelder etc. nicht mehr benötigt und diese rückgebaut werden können, ohne die Anlagesicherheit oder Verfügbarkeit zu beeinträchtigen.

3.2 Ersatz Steuerungs- und Leittechnik

Die Anlagen im Lötschberg-Basistunnel wurden nach verschiedenen Gewerken ausgeschrieben und beschafft. Jedes Gewerk, wie zum Beispiel die Gebäudelüftungsanlagen, verfügte somit über seine eigene SPS (speicherprogrammierbare Steuerung). Dies machte die Instandhaltung anspruchsvoll und aufwendig. Zwischen 2010 und 2013 wurde die Steuerungslogik mit dem Projekt Neue Steuerungs- und Leittechnik LBT korrigiert. Die Zahl der lokalen Steuerungen konnte von 1161 auf 505 SPS reduziert werden, jene der unterschiedlichen Hersteller von sechs auf einen. (Stadelmann, 2009)

Diese Massnahme erhöhte die Verfügbarkeit des Systems signifikant und senkte die jährlichen Betriebskosten im Leittechnikbereich um rund die Hälfte.

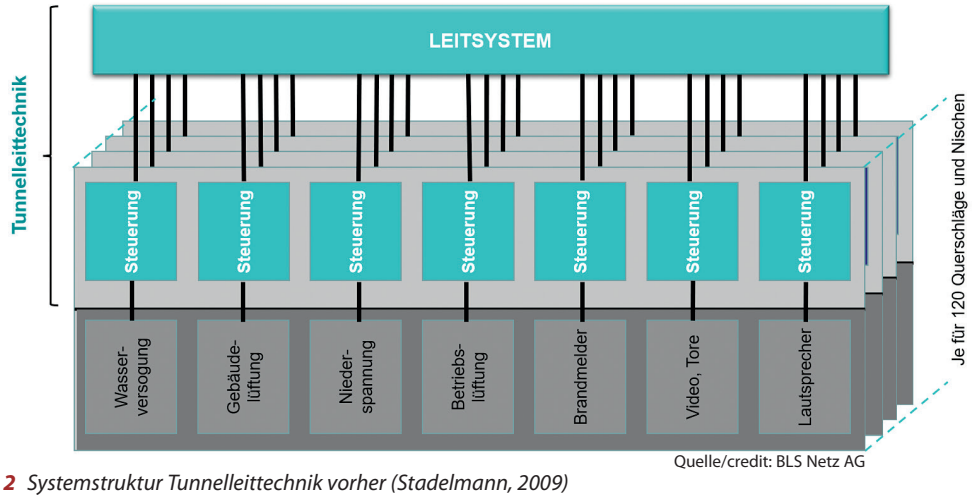
while keeping recurring maintenance costs as low as possible. Some important optimisation measures are presented below.

3.1 Dismantling monitoring sensors

After three years of operational experience, a comprehensive analysis was carried out in 2010 on optimisation measures in the area of system monitoring and maintenance intervals. This analysis showed that several hundred detection units, such as moisture detectors, fire detectors, gas detectors, etc., were no longer needed and could be dismantled without compromising system safety or operational availability.

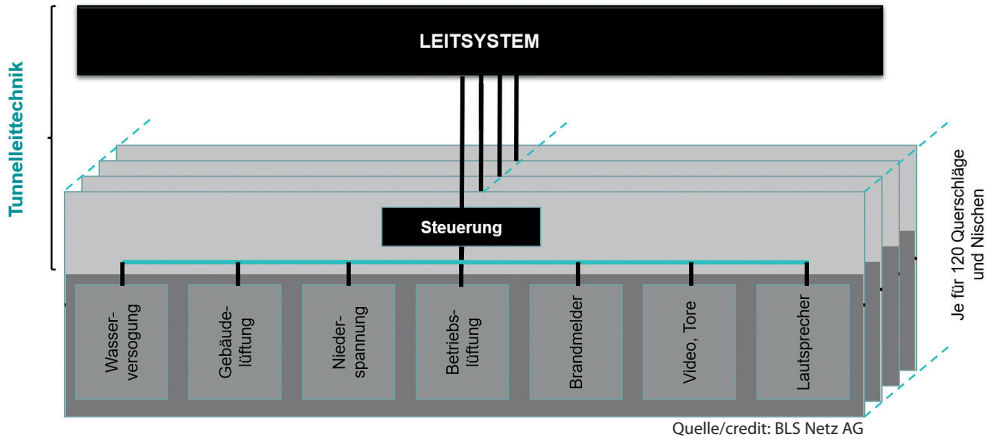
3.2 Replacing control and instrumentation technology

The systems in the Lötschberg Base Tunnel were put out to tender and procured according to different trades. Each trade, such as building ventilation systems, thus had its own PLC (programmable logic controller). This made maintenance challenging and costly. Between 2010 and 2013, control logistics were corrected with the New Control and Instrumentation Technology LBT project. The number of local



Quelle/credit: BLS Netz AG

2 *Systemstruktur Tunnelleittechnik vorher (Stadelmann, 2009)*
System structure for tunnel control technology, before (Stadelmann, 2009)



Quelle/credit: BLS Netz AG

3 *Systemstruktur Tunnelleittechnik nachher (Stadelmann, 2009)*
System structure for tunnel control technology, after (Stadelmann, 2009)

Quelle/credit: BLS Netz AG

4 Reinigungsarbeiten im Querschlag
Cleaning work in the cross passage

3.3 Massnahmen gegen Staub und Kälte

Eine der grössten Herausforderungen im Lötschberg-Basistunnel ist die Verschmutzung, welche durch den Rad-, Fahrdraht und Schienenabrieb verursacht wird. Die ursprünglich verbaute Lüftungsöffnung in den Querschlägen, welche sich alle 333 m befinden, wurde durch eine Druck-Rückschlagklappe und ein Filtersystem ergänzt. So konnte der Schmutzeintrag um rund 70 % reduziert werden und das Reinigungsintervall von halbjährlich auf zweijährlich angehoben werden.

Die Zufahrtsstollen werden im aktuellen Rettungskonzept im Notfall befahren. Um dies ganzjährig sicherzustellen, musste eine Eisbildung in den Wintermonaten verhindert werden. Dazu wurde im Portalbereich des Zugangsstollens Ferden eine Portalheizanlage eingebaut, welche mit Heizöl betrieben wurde. Durch Anpassung der Betriebslüftungssteuerung, welche im Dienststollensystem für einen Überdruck sorgt, konnte die Luftströmungsrichtung geändert werden. Neu wird die Luft in Mitholz anstelle von Goppenstein angesogen. Da es in Mitholz in den Wintermonaten im Durchschnitt rund 2 Grad (www.meteoschweiz.admin.ch, 2023) wärmer ist als in Goppenstein und dort der Zugangsstollen abgedichtet ist, kann so auf die Portalheizanlage verzichtet werden. Dies führt zu einer jährlichen Einsparung von rund 100 000 Litern Heizöl.

controls was reduced from 1161 to 505 PLCs, and the number of different manufacturers from six to one (Stadelmann, 2009).

This measure significantly increased system availability and reduced the annual operating costs in the area of control technology by about half.

3.3 Measures against dust and cold

One of the biggest challenges in the Lötschberg Base Tunnel is the pollution caused by wheels, catenary and rail abrasion. The ventilation openings originally installed in the cross passages, which are located every 333 m, was supplemented by a pressure check valve and a filter system. This made it possible to reduce the amount of dirt entering the system by around 70% and to increase the cleaning interval from every six months to every two years.

In the current emergency rescue concept, the access tunnels are used in case of emergency. To ensure they can be used all year round, ice formation had to be prevented in the winter months. For this purpose, a heating system was installed in the portal area of the Ferden access gallery, which was operated with heating oil. By adapting

Quelle/credit: BLS Netz AG

5 Realisierte Filteranlage im Querschlag
Implemented filter system in the cross passage

3.4 Effizienzsteigerungen im Logistikprozess

Die schienengebundenen Logistikprozesse sind teuer und teilweise auch zeitaufwendig, was wiederum zulasten der Produktivität geht. Um dem entgegenzuwirken, konnten in den letzten Jahren bei der schienengebundenen Logistik verschiedene Massnahmen umgesetzt werden. Durch die Ertüchtigung der Unterhaltsfahrzeuge mit einer sogenannten Vielfachsteuerung ist es möglich, dass ein Lokführer mehrere Triebfahrzeuge steuert und so die Lokführer-Einsätze reduziert werden können. Zudem werden kurze Strecken durch das Unterhaltspersonal teilweise mit Akku-Trottinett auf dem Bankett zurückgelegt. So können die eingesetzten Schienenfahrzeuge reduziert und Kosten eingespart werden. Aktuell forschen wir zusammen mit dem Forschungszentrum für Informatik in Karlsruhe an einem autonom fahrenden Transportroboter. Dadurch wollen wir ab 2024 bis zu 200 kg Material und Werkzeug mitführen und dabei vermehrt autonom von Schienenfahrzeugen sein.

3.5 Insourcing von Instandhaltungstätigkeiten

Im Lötschberg-Basistunnel werden diverse Instandhaltungsleistungen durch Drittunternehmer erbracht, welche über einen entsprechenden Rahmenvertrag mit der BLS Netz AG verfügen. In den vergangenen Jahren konnte das Know-how der BLS-Mitarbeiter laufend ausgebaut werden. So wurde es möglich, strategisch relevante Anlagen selbstständig instand zu halten. Insbesondere der Verzicht auf Pikett- und Vorhalteleistungen durch Drittunternehmer hat sich dabei positiv auf die Kosten ausgewirkt.

3.6 Wirkung der getroffenen Massnahmen

Die bis heute getroffenen Optimierungsmassnahmen haben ihre Wirkung nicht verfehlt. In den letzten zehn Jahren konnte der Mittelbedarf für die jährliche Instandhaltung um 6.5 Millionen Schweizer Franken gesenkt werden, was rund 50 % entspricht.

Mit dem Ausbau des Lötschberg-Basistunnels wird dieser Trend aber gestoppt werden. Dadurch, dass ein Grossteil der Anlagen nur noch schienengebunden und in der Nacht zugänglich sein wird, steigen die Kosten wieder an.

4 Erkenntnisse nach 16 Jahren Betrieb

Obwohl ein so komplexes Bauwerk wie der Lötschberg-Basistunnel immer wieder neue Herausforderungen bereithält, können durch die richtigen Optimierungsmassnahmen nachhaltige Einsparungen im Betrieb realisiert werden. Der regelmässige Erfahrungsaustausch mit den Verantwortlichen des Gotthard-Basistunnels der SBB- Infrastruktur stellt sicher, dass wir beide von den jeweiligen Erfahrungen und auch Optimierungsmassnahmen des anderen profitieren können.

In einem Thema sind wir uns widerspruchslos einig: Der Haupthebel im Bereich Wirtschaftlichkeit und Verfügbarkeit

the operational ventilation system, which ensures excess pressure in the service gallery system, the air flow direction was changed. The air is now drawn in from Mitholz instead of Goppenstein. As it is around 2 degrees warmer on average in Mitholz in the winter months (www.meteoschweiz.admin.ch, 2023) than in Goppenstein and the access gallery there is sealed, the portal heating system can thus be dispensed with. This has led to an annual saving of around 100,000 litres of heating oil.

3.4 Efficiency improvements in the logistics process

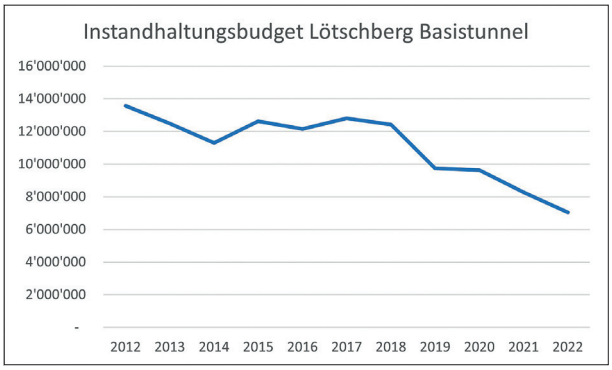
Rail-bound logistics processes are expensive and, in some cases, time-consuming, which in turn has a negative impact on productivity. To counteract this issue, various measures have been implemented in rail-bound logistics in recent years. By upgrading the maintenance vehicles with a multiple control system, it is possible for one locomotive driver to control several traction units, thus reducing the number of locomotive driver deployments. In addition, short distances are partly covered by maintenance staff with battery-operated scooters. Thus, the number of rail vehicles used can be reduced and costs saved. We are currently researching an autonomous transport robot together with the Computer Science Research Centre in Karlsruhe. This will enable us to carry up to 200 kg of material and tools from 2024 onwards and to be increasingly independent of rail vehicles.

3.5 Insourcing maintenance activities

In the Lötschberg Base Tunnel, various maintenance services are provided by third-party contractors who have a framework agreement with BLS Netz AG. In recent years, BLS employees' know-how has been continuously expanded. This has made it possible to maintain strategically relevant installations independently. In particular, the elimination of on-call and standby services by third-party contractors has had a positive impact on costs.

3.6 Impact as a result of the measures taken

The optimisation measures implemented to date have not failed to make an impact. Over the last ten years, the funds



Quelle/credit: BLS Netz AG

6 *Entwicklung der jährlichen Instandhaltungskosten LBT (Eichelberger, 2023)*

Annual maintenance costs for the LBT (Eichelberger, 2023)

der Kapazität liegt im Tunneldesign. Es geht darum, dass möglichst viele Anlagen, welche nicht im Bahntunnel sind, strassenmässig, unter Bahnbetrieb und am Tag erreicht und instand gehalten werden können.

Bis zum Lebensende des Tunnels, wenn man von einer Lebensdauer von 100 Jahren ausgeht, werden rund 6 Milliarden Schweizer Franken in die Erneuerung der Anlagen und die jährliche Instandhaltung fliessen. Dies entspricht dem Anderthalbfachen des Bauvolumens. (Hostettler, 2023)

Literatur/References

[1] Alptransit, B. (2016). Vademecum Lötschberg-Basistunnel. Bern: BLS Netz AG
[2] Eichelberger, F. (2023). Unterhaltsbudget_Strecke 3. Bern: BLS Netz AG
[3] Hostettler, A. (2023). Anlagebuchhaltung LBT. Bern: BLS Netz AG
[4] Soltermann, H. (11. 08 2020). Presseportal. Von https://www.presseportal.ch/de/pm/100001848/100853345 abgerufen
[5] Stadelmann, H. (2009). Fact Sheet Anpassung der Leit- und Steuerungstechnik LBT. Bern: BLS Netz AG
[6] www.bls.ch. (13.02.2022). Von https://www.bls.ch/de/unternehmen/projekte-und-hintergruende/neat abgerufen
[7] www.meteoschweiz.admin.ch. (05.03.2023). Von https://www.meteoschweiz.admin.ch/lokalprognose/goppenstein/3917.html#forecast-tab=detail-view abgerufen

required for annual maintenance have been reduced by 6.5 million Swiss francs, which corresponds to around 50%.

With the expansion of the Lötschberg Base Tunnel, however, this trend will be brought to a halt. Because a large part of the systems will only be rail-bound and accessible at night, the costs will rise again.

4 Findings after 16 years of operation

Although a structure as complex as the Lötschberg Base Tunnel always presents new challenges, sustainable savings in operation can be realised through the right optimisation measures. The regular exchange of experience with those responsible for the Gotthard Base Tunnel run by SBB Infrastructure ensures that we can both benefit from each other's experience and optimisation measures.

There is one issue on which we are in unanimous agreement: The main leverage factor in the field of economic efficiency and capacity availability lies in tunnel design. The aim is to ensure that as many systems as possible, which are not in the railway tunnel, can be reached and maintained by road, during railway operation and during the day.

By the end of the tunnel's life, assuming a service life of 100 years, around 6 billion Swiss francs will have flowed into renewing the systems within annual maintenance. This corresponds to one and a half times the construction volume (Hostettler, 2023).

François Pignat, dipl. civil engineer. EPFL SIA, CEO: Tunnel du Grand-Saint-Bernard SA

Tunnel du Grand-Saint-Bernard

Remplacement complet de la dalle intermédiaire

Le Tunnel du Grand-Saint-Bernard, d'une longueur de 6 km, date de 1964. Dans cet ouvrage, le trafic est séparé de la gaine de ventilation supérieure par une dalle. Cette dalle nécessite actuellement une rénovation lourde sur toute sa longueur. Un projet de démolition et de remplacement de cette partie de l'ouvrage en gardant le tunnel en exploitation a abouti et le chantier débutera en automne 2023.

Great St Bernard Tunnel

Completely replacing the smoke duct slab

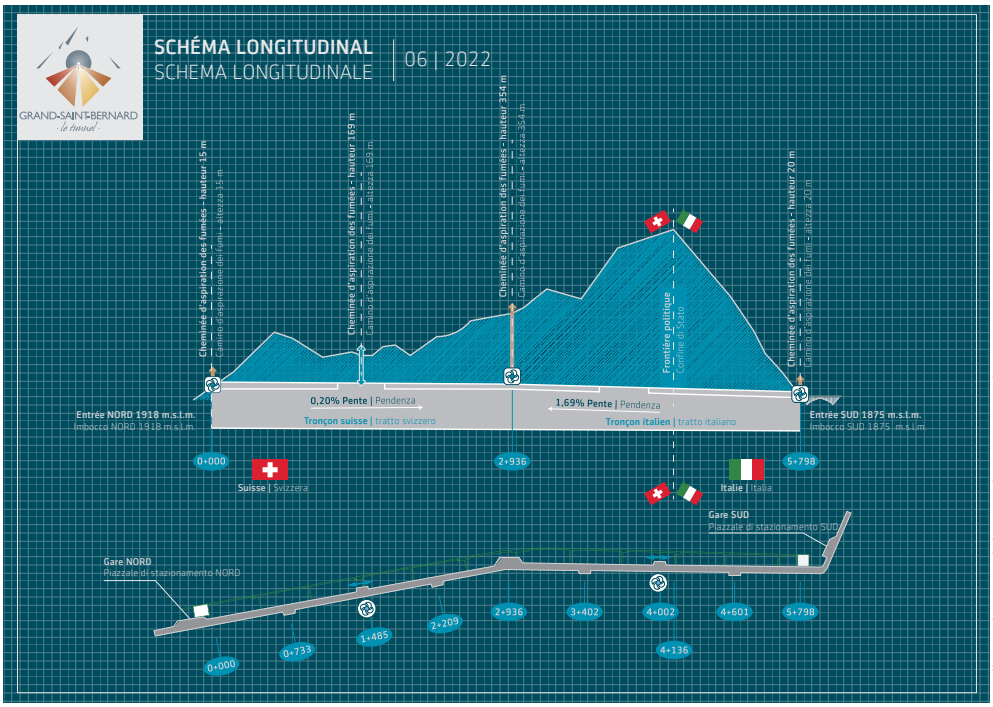
The Great St Bernard Tunnel is 6 km long and dates back to 1964. In this tunnel, traffic is separated from the upper ventilation duct by a concrete slab. This slab is currently in need of major renovation along its entire length. A project to demolish and replace this part of the structure, while keeping the tunnel in operation, has been finalised; work will start in autumn 2023.

1 Contexte de l'ouvrage

Le tunnel routier du Grand-Saint-Bernard relie la Suisse à l'Italie. Ouvert au trafic en 1964, bidirectionnel, monotube, sa longueur est de 5 798 m. Au fil des ans, le trafic à travers cet ouvrage s'est développé, pour culminer à 850 000 véhicules en 2022. Il s'agit de trafic essentiellement touristique de Suisse vers l'Italie, mais aussi commercial de par son importance frontalière. De plus, il permet le délestage partiel de l'axe du Tunnel du Mont-Blanc. La société Tunnel du Grand-Saint-Bernard SA (TGSB) est concessionnaire de la moitié de l'ouvrage côté suisse, tandis que la société italienne Sitrasb S.p.A. jouit de la concession de l'autre moitié, côté italien. La société SISEX SA assure l'exploitation et la gestion unique du tunnel, selon la directive européenne 2004/54/CE. Le capital-actions de cette dernière société est détenu à parts égales entre TGSB SA et Sitrasb S.p.A.

1 Context of the project

The Great St Bernard road tunnel connects Switzerland to Italy. Opened to traffic in 1964, it is a two-way, single-tube tunnel with a length of 5,798 m. Over the years, traffic through the tunnel has increased, reaching a peak of 850,000 vehicles in 2022. This traffic is mainly tourist traffic from Switzerland to Italy, but also commercial traffic due to its impor-



Quelle/credit: Tunnel du Grand-Saint-Bernard SA

1 Coupe et plan de l'ouvrage actuel
Section and plan of the current structure

Grosser St. Bernhard-Tunnel

Vollständige Sanierung der Zwischendecke des Tunnels

Der Strassentunnel des Grossen St. Bernhard ist 6 km lang und wurde im Jahr 1964 eröffnet. Der Verkehr wird vom Lüftungskanal durch eine Zwischendecke getrennt, welche auf ihrer gesamten Länge ersetzt werden muss. Ein Projekt zur Sanierung dieser Zwischendecke ohne Unterbruch des Tunnelbetriebs wurde erarbeitet und die Bauarbeiten werden Ende 2023 beginnen. Für den Ersatz von 14 m langen Abschnitten der Zwischendecke werden fahrbare Lehrgerüste eingesetzt, während der Verkehr durch die Baustelle aufrechterhalten wird. Die Lehrgerüste werden jeden Tag vom Tunnel herausgefahren, damit der Schwerverkehr durchfahren kann.

Il traforo del Gran San Bernardo

Rinnovamento completo della soletta mediana della galleria

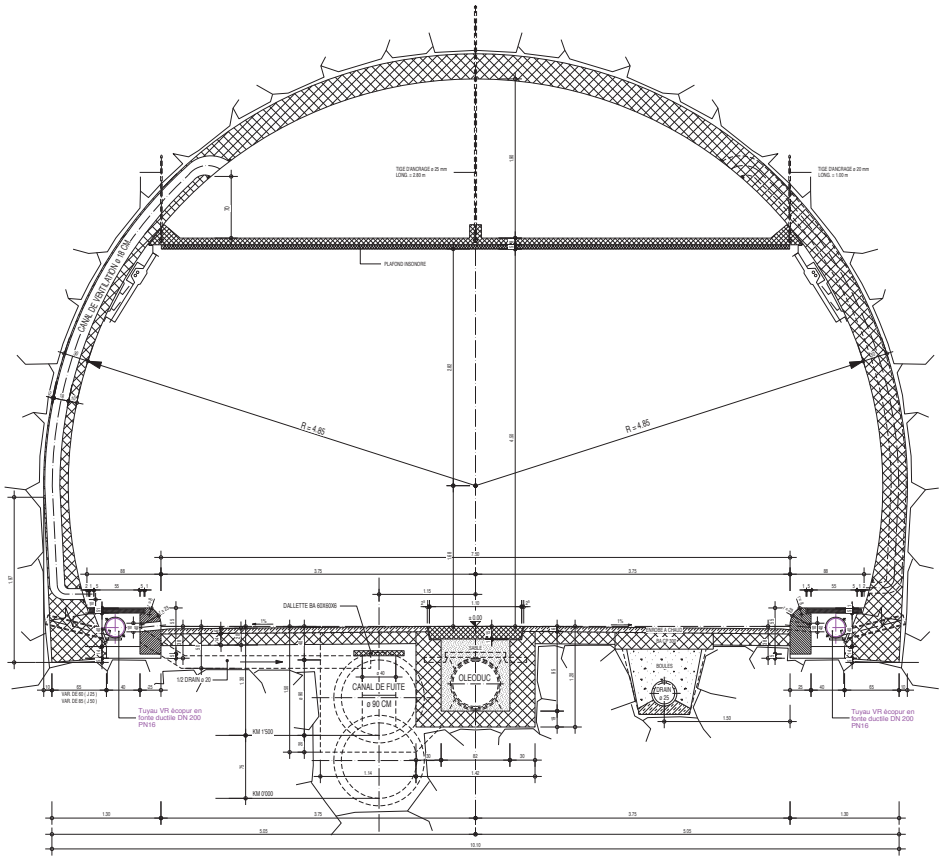
Il traforo del Gran San Bernardo è lungo 6 km e risale al 1964. In questo tunnel lo spazio traffico è separato dal canale di ventilazione superiore tramite una soletta, la quale necessita lavori di rinnovamento per tutta la sua lunghezza. Ha avuto inizio un progetto per il rinnovo di questa parte della costruzione mantenendo operativo il tunnel, e i lavori inizieranno alla fine del 2023. Per la sostituzione di porzioni della soletta lunghe 14 m verranno impiegati dei portali mobili, consentendo il transito del traffico leggero attraverso il cantiere. Questi portali mobili vengono rimossi ogni giorno per consentire il transito di automezzi pesanti.

2 Données techniques

2.1 Ouvrage principal

Le tunnel du Grand-Saint-Bernard a été excavé à l'explosif. Son revêtement est constitué d'un anneau de béton d'une épaisseur variant de 30 à 50 cm, sans système d'étanchéité.

La roche encaissante est constituée en grande partie de gneiss massif, à l'exception d'une zone Carbonifère près du portail sud.



Quelle/credit: Tunnel du Grand-Saint-Bernard SA

2 Coupe-type section Suisse
Standard section Switzerland

tance on the border. In addition, it allows partial relief of the Mont Blanc Tunnel axis. The company Great St Bernard Tunnel SA (TGSB) holds a licence for half of the tunnel on the Swiss side, while the Italian company Sitrasb S.p.A. holds a licence for the other half on the Italian side. SISEX SA is the sole operator and manager of the tunnel, in accordance with European Directive 2004/54/EC. The share capital of the latter company is held in equal parts by TGSB SA and Sitrasb S.p.A.

2 Technical data

2.1 Primary work

The Great St Bernard tunnel was excavated by drill and blast. The tunnel lining consists of a 30- to 50-cm-thick concrete ring without a sealing system.

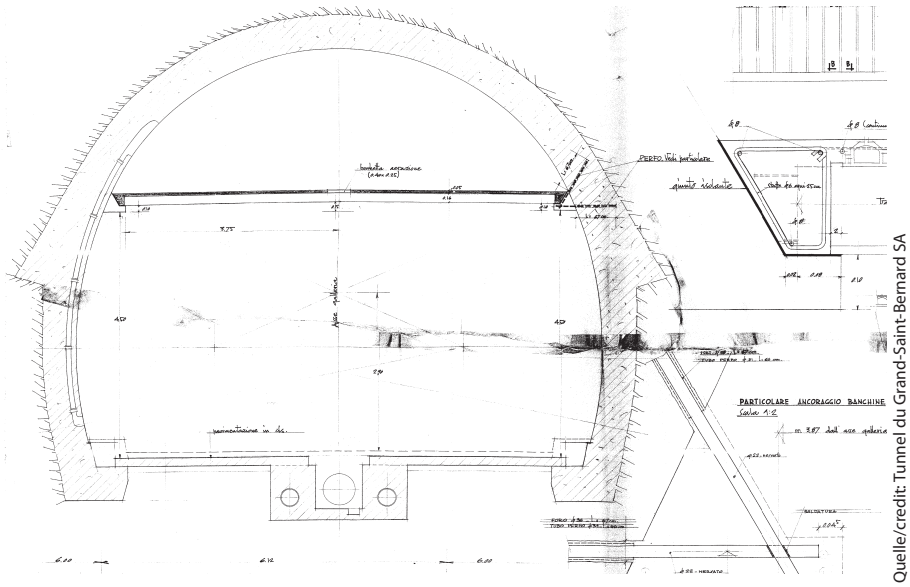
The surrounding rock is largely solid gneiss, with the exception of a Carboniferous Zone near the south portal.

2.2 Ventilation and smoke extraction

The transverse ventilation is characterised by a smoke extraction duct in the crown, and 83 smoke extraction hatches that manage suction between the tunnel and the duct. This shaft is made up of a reinforced concrete separation slab 12 to 16 cm thick on the Swiss side, and of pre-

2.2 Ventilation-désenfumage

La ventilation, de type transversal, est caractérisée par une gaine d'extraction des fumées en calotte, et de 83 trappes de désenfumage pouvant gérer l'aspiration entre le tunnel et la gaine. Cette gaine est constituée d'une dalle de séparation en béton armé de 12 à 16 cm d'épaisseur pour le côté suisse, et en poutrelles béton précontraintes et hourdis côté italien. Dans la zone Carbonifère, sujette à quelques mouvements, cette deuxième partie a été remplacée ultérieurement par une dalle mixte. Les 3 centrales d'aspiration des fumées se situent à chaque portail et au milieu du tunnel. Deux batteries d'accélérateurs permettent la ventilation du tunnel en exploitation. Elles donnent également la possibilité de gérer le bouchon de fumées en cas d'incendie.



Quelle/credit: Tunnel du Grand-Saint-Bernard SA

3 *Coupe-type section Italie*
Standard section Italy

2.3 Ouvrages annexes

En 2020, une galerie de sécurité parallèle au tunnel a été mise en service. En cas d'événement majeur, cette galerie offre une voie de fuite aux usagers à travers 11 couloirs de liaison avec le tube principal, disposés à une interdistance de 500 m. Cette galerie de sécurité est en surpression permanente, afin d'éviter une éventuelle pénétration de fumées en cas d'incendie dans le tunnel. Une centrale hydroélectrique d'une puissance de 1 400 kW est installée dans une caverne adjacente au tunnel. Elle couvre la consommation nécessaire à l'exploitation de l'ouvrage et de ses installations annexes. Cette centrale est alimentée par un barrage de 14 000 m^3 qui sert également de réserve pour la défense incendie.

3 Problématique

Le 21 septembre 2017, une poutrelle précontrainte constituant la dalle intermédiaire du tunnel s'est subitement rompue, conduisant à la fermeture du tunnel. Des inspections approfondies ont montré une probabilité de rupture fragile de ces éléments. Bien que ne participant pas à la structure même du tunnel, ces poutrelles, situées au-dessus de la chaussée, ont dû être sécurisées provisoirement par des éléments métalliques soutenus par des tirants. Ces travaux ont permis la réouverture du tunnel au trafic après 3 mois. Par suite de cet événement, un projet de renouvellement de la dalle intermédiaire a été initié. En effet, la partie en béton armé présente également des signes de vieillissement. De plus, la totalité de la dalle intermédiaire ne répond pas aux normes actuelles de résistance au feu pour un tel ouvrage (EI 120 dans notre cas).

stressed concrete beams and slabs on the Italian side. In the Carboniferous Zone, which is subject to some movement, this latter part was later replaced by a mixed slab. The three smoke extraction units are located at each portal and in the middle of the tunnel. Two sets of air fans allow ventilation of the tunnel during regular operation. They also allow the control of smoke inside the smoke duct in the event of a fire.

2.3 Ancillary work

In 2020, a safety tunnel parallel to the main tunnel was put into operation. In the event of a major incident, this tunnel provides an escape route for drivers through 11 cross-passages connected to the main tunnel, spaced at 500 m intervals. This safety tunnel is under permanent overpressure to prevent smoke and/or fumes from entering the tunnel in the event of a fire. A 1,400 kW hydroelectric power station is installed in a cavern adjacent to the tunnel. It covers the consumption necessary for the operation of the tunnel and its ancillary facilities. This power station is fed by a 14,000 m^3 water dam which also serves as a fire-fighting reserve.

3 Issues

On 21 September 2017, a prestressed girder constituting the false roof slab of the tunnel suddenly failed, leading to the tunnel's closure. Extensive inspections showed the probability of brittle failure of these components. Although they are not part of the tunnel structure itself, these beams, located above the roadway, had to be temporarily secured by metal elements supported by tie rods. This work allowed the tunnel to be reopened to traffic after three months. Following this event, a project to renew the smoke duct slab was initiated. Indeed, the reinforced concrete part also shows signs of ageing. In addition, the entire smoke duct slab does not meet the current fire resistance standards for such a structure (EI 120 in our case).

4 Étude de variantes

En 2019, une étude de variantes a été lancée. Le concept total de ventilation/désenfumage de l'ouvrage a été remis en question, ainsi que les systèmes d'extinction, ceci en se référant aux dernières technologies. À ce stade, 4 variantes ont été étudiées et évaluées :

- démolition de la dalle et extraction massive des fumées ;
- démolition de la dalle, extraction massive des fumées et doublement des voies d'évacuation vers la galerie de sécurité ;
- démolition de la dalle, extraction massive des fumées et système d'aspersion d'eau (watermist) ;
- substitution et remplacement de la dalle actuelle.

Quelle/credit: Tunnel du Grand-Saint-Bernard SA

4 Tirants provisoires de maintien des poutres préfabriquées
Temporary tie rods to support precast beams

Ces 4 variantes ont fait l'objet d'une analyse multicritère détaillée, tenant compte notamment de la sécurité finale, de la technique, de la réalisation et du coût, ces facteurs étant pondérés de manière différente.

Cette analyse a conclu que le système d'extraction de fumées mis en service en 2017 fonctionne parfaitement mais l'extraction massive ne répond pas aux critères de sécurité dans notre cas. Le nécessaire doublement des voies de fuite est complexe du point de vue de la stabilité du massif et la solution de l'aspersion présente des coûts élevés en altitude. La solution retenue a donc été la substitution et le remplacement de la dalle actuelle.

5 Avant-projet et projet définitif

5.1 Exigences du Maître d'ouvrage

Les exigences suivantes ont été posées pour l'exécution :

- conservation de la section de gaine de ventilation actuelle ;
- respect du gabarit routier actuel (h = 4,30 m) ;
- pas d'interruption de trafic ;
- nouvelle dalle répondant aux exigences de résistance au feu élevées (EI120), calculées selon les courbes de feu ISO 834, HC (hydrocarbures), HCM (hydrocarbures modifiée) et RWS ;
- classe de béton XC2-XD1 ;
- intégration d'un système d'étanchéité permettant la récolte des eaux provenant de la calotte ;
- travail en période de faible trafic, soit d'octobre à mars.

5.2 Mandats

Le bureau d'ingénieurs FABER, Aosta (IT) a été mandaté pour l'élaboration de l'avant-projet et du projet définitif. S'agissant d'un ouvrage binational, soumis à la normative la

4 Studying the options

In 2019, a study of the possible options was launched. The total ventilation/smoke extraction concept of the building was reviewed, as well as the fire extinguishing systems, with reference to the latest technology. At this stage, four variants were studied and evaluated:

- demolishing the slab and very high smoke extraction;
- demolishing the slab, very strong smoke extraction and doubling the escape routes to the safety tunnel;
- demolishing the slab, very strong smoke extraction and using a water-mist system;
- substituting and replacing the current slab.

These four options were subjected to a detailed multi-criteria analysis, including ultimate safety, technology, implementation and cost factors, which were weighted differently.

This analysis showed that the smoke extraction system put into operation in 2017 works perfectly, but in this case does not meet today's safety criteria for maximum smoke extraction. The necessary doubling of the escape routes is complex from the point of view of the stability of the structure and the water-mist solution presents high costs at this altitude. The solution chosen was therefore to replace the current slab.

5 Preliminary and final design

5.1 Contractor's requirements

The following requirements have been set for implementation:

- retaining the existing ventilation duct cross-section;
- compliance with the current road gauge (h = 4.30 m);
- no interruption of traffic;

plus restrictive, le bureau FABER a été appuyé par le bureau PRA, Sion, afin d'assurer la compatibilité des normes des deux pays. Il est à noter que le bureau FABER a rapidement trouvé des solutions originales, permettant le respect des contraintes restrictives fixées.

5.3 Nouvelle structure

Afin de respecter les nouvelles exigences mentionnées ci-dessus, une dalle de 25 cm est proposée. Le niveau de la sous-face de la dalle étant imposé par le gabarit routier, la surépaisseur par rapport à la dalle existante a dû se faire au détriment de la section de la gaine de ventilation. Un contrôle aéraulique de la section résiduelle de la gaine de ventilation a été nécessaire afin de garantir le respect des conditions d'aspiration. Le système de fixation de la dalle est réalisé par des ancrages dans l'anneau existant. Des barres inox scellées assurent la reprise des efforts et permettent à la dalle de travailler en poutre simple transversalement.

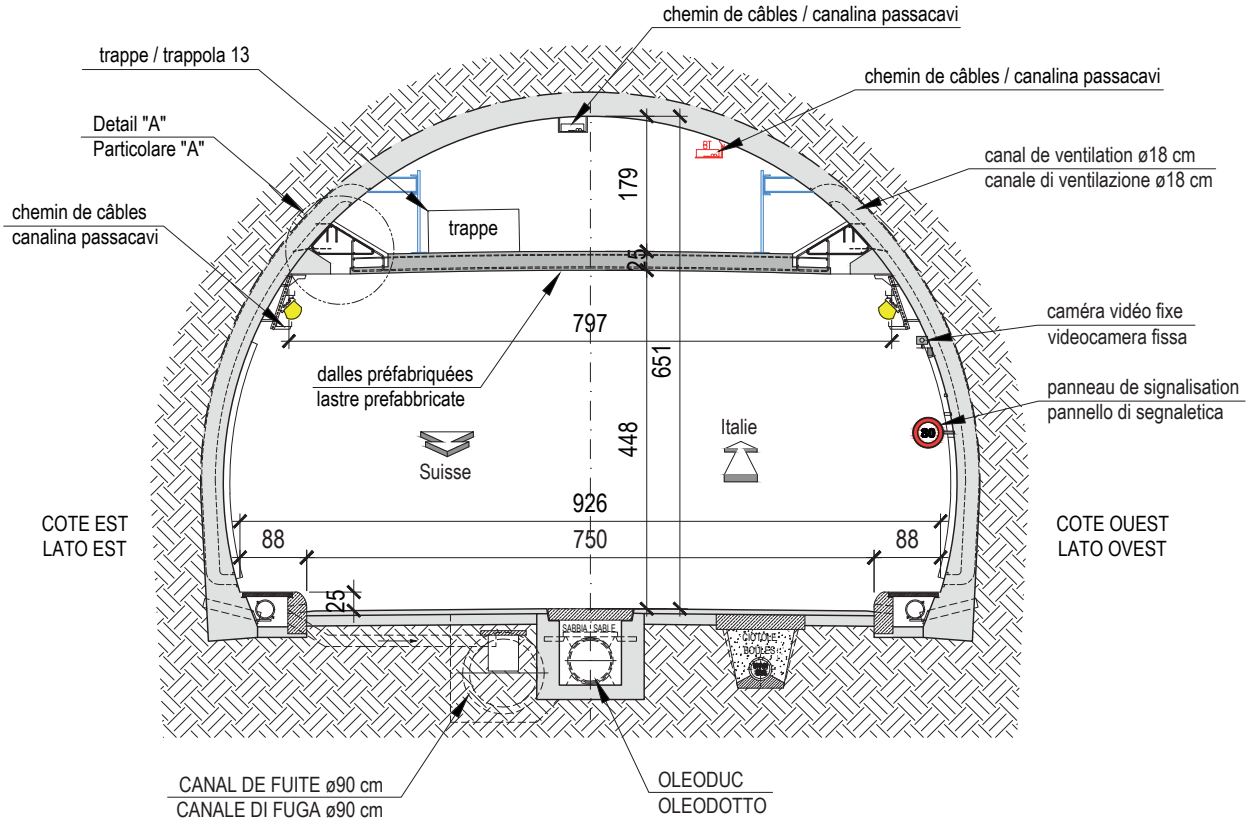
- new slab with high fire resistance requirements (EI120), calculated according to ISO 834, HC (hydrocarbons), HCM fire curves (modified oil) and RWS;
- concrete class XC2-XD1;
- integration of a sealing system to collect water from the crown;
- work during the low-traffic period from October to March.

5.2 Mandates

The engineering firm FABER, from Aosta (Italy), was commissioned to draw up the preliminary and final projects. As this is a bi-national project, subject to the most restrictive standards, FABER was supported by PRA, Sion, in order to ensure the compatibility of the standards of both countries. It should be noted that Bureau FABER quickly found some innovative solutions, allowing the restrictive constraints to be respected.

5.3 New structure

In



Quelle/credit: Tunnel du Grand-Saint-Bernard SA

5 *Nouvelle section*
New section

5.4 Monitoring

Afin de contrôler les contraintes éventuelles dans la nouvelle dalle, un monitoring par fibre optique sera intégré à la nouvelle dalle tous les 100 m, ou éventuellement plus dans certaines zones. Les mesures récoltées seront intégrées dans le système d'exploitation et de surveillance du tunnel.

order to meet the new requirements mentioned above, a 25-cm slab is proposed. As the level of the underside of the slab was imposed by the road gauge, the extra thickness compared to the existing slab had to be done at the expense of the ventilation duct's cross section. An aeraulic inspection of the ventilation duct's residual cross-section was necessary in order to ensure that the suction conditions were respected. The slab's fixation system is carried out by anchors in the

5.5 Phasage des travaux

La législation interdit le trafic poids lourds sur l'axe Suisse-Italie de 22 h 00 à 6 h 00. Compte tenu de cette restriction, il s'avère donc possible de travailler avec des chariots-portiques dans le tunnel pendant cet intervalle sans interrompre le trafic léger. Un concept de chariots-portiques peut donc être développé, en laissant un gabarit de passage de 3,20 m de hauteur sur une voie. Ces chariots doivent impérativement quitter le tunnel en journée pour permettre le transit des poids lourds. Un calendrier de travail a donc été établi avec une plage journalière de 22 h 00 à 6 h 00 pour la réalisation de ce chantier. Une analyse du trafic a également montré que le travail est seulement possible en période de plus faible trafic, de fin septembre à début avril (période de Pâques). Le chantier devra donc se dérouler impérativement dans ces périodes horaires et saisonnières. À noter que le faible trafic de véhicules d'une hauteur supérieure à 3,20 m sera entravé pendant ces périodes. Ceci concerne quelques bus touristiques et certaines camionnettes de 3,5 t. Ces usagers, connus pour la plupart, seront avertis des travaux afin qu'ils prennent des mesures.

5.6 Démolition de la dalle existante

Un chariot de démolition est prévu pour déposer la dalle existante. La démolition est prévue par sciage.

5.7 Conception de la nouvelle dalle

Compte tenu des contraintes citées plus haut, la nouvelle dalle devra être fixée en position définitive après chaque étape journalière, afin de pouvoir retirer les chariots et également pour assurer la continuité de la dalle. En effet, l'exploitation normale du tunnel en journée nécessite le rétablissement du système de ventilation. Pour résoudre ce problème, le mandataire a élaboré une solution de dalles préfabriquées, tenues en position par des tirants provisoires. Des ancrages de la nouvelle partie à l'anneau existant sont exécutés à l'avancement. Ce phasage journalier est ensuite complété par une étape de bétonnage qui permet d'arriver à l'épaisseur de dalle voulue et à la liaison des ancrages de bord. La solution retenue permet donc de retirer les chariots de montage sans attendre d'éventuels temps de prise du béton.

5.8 Installation de chantier

La géométrie des gares situées aux portails et la place disponible n'autorisent qu'une installation du côté suisse. Ainsi, le chantier doit être alimenté exclusivement par un seul point, ce qui allonge considérablement le temps de déplacement des chariots vers le dernier tronçon à réaliser.

5.9 Étude du planning-étapes

Une attention particulière a été donnée au planning, déjà en phase de projet définitif. En effet, il s'agissait de vérifier la faisabilité temporelle du chantier avant de procéder à un appel d'offres. Le mandataire a dû procéder à une étude détaillée de toutes les phases du chantier, pour conclure à la faisabilité de ce dernier avec la solu-

existing ring. Sealed stainless steel bars ensure that the forces are transferred, allowing the slab to work as a single beam transversely.

5.4 Monitoring

In order to control possible tension in the new slab, fibre optic monitoring will be integrated into the new slab every 100 m, or possibly more in certain areas. The measurements collected will be integrated into the tunnel operation and monitoring system.

5.5 Work phases

Legislation prohibits heavy goods traffic on the Swiss-Italian route from 10 pm to 6 am. Given this restriction, it is possible to work with forklifts in the tunnel during this time without interrupting light traffic. A gantry truck concept can therefore be developed, leaving a clearance height of 3.2 m on one lane. These vehicles must leave the tunnel during the day to allow the transit of heavy goods vehicles. A work schedule was therefore drawn up with a daily time slot of 10 pm to 6 am for this project. A traffic analysis also showed that the work is only possible during the lowest traffic period, from the end of September to the beginning of April (Easter period). It is therefore imperative that the work takes place during these seasonal periods. It should be noted that the small amount of vehicle traffic over 3.2 m in height will be impeded during these periods. This concerns a few tourist buses and some 3.5 t vans. These drivers, most of whom are familiar with the work, will be notified of the work so that they can react accordingly.

5.6 Demolishing the existing slab

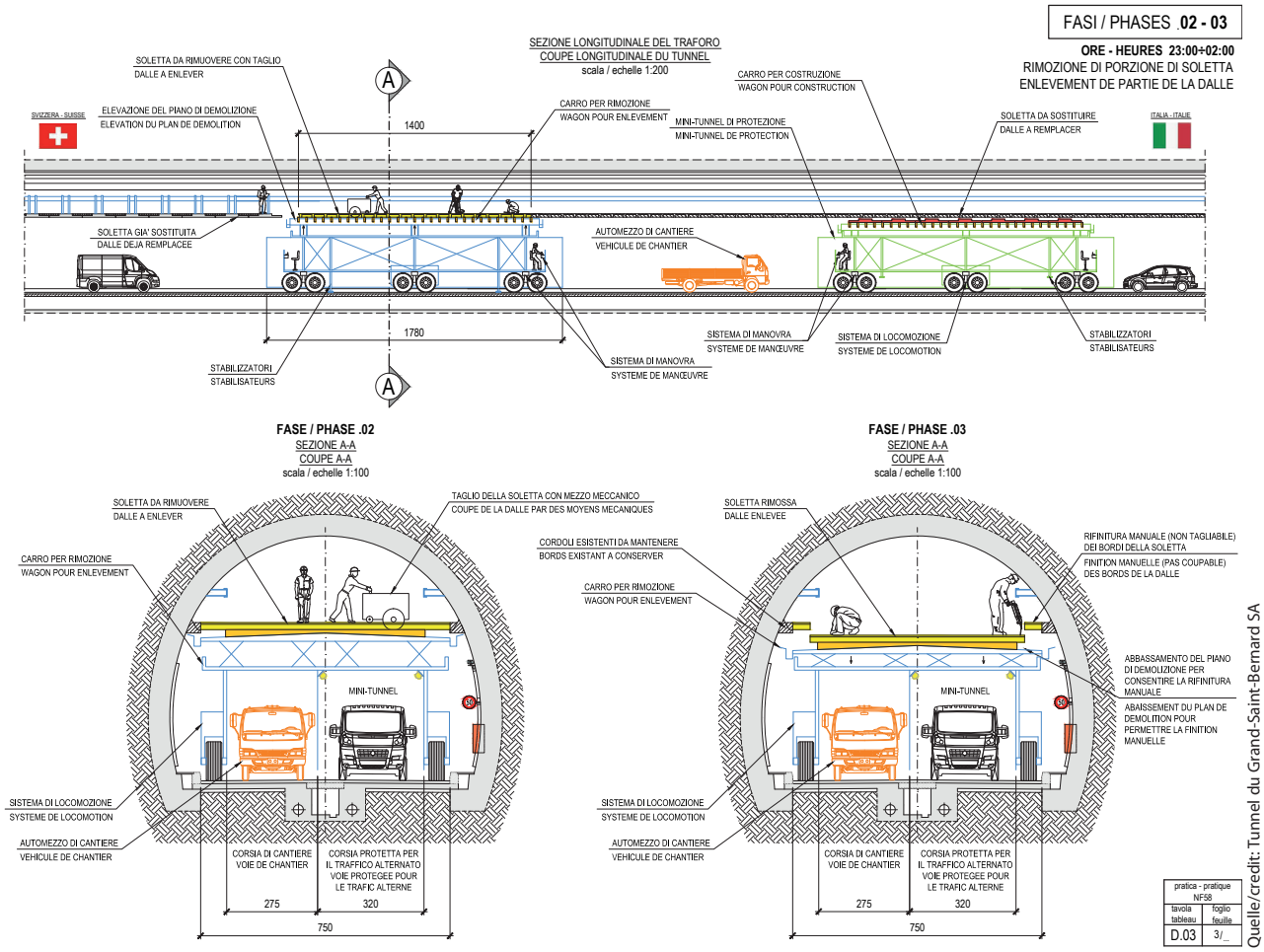
A demolition truck will be used to remove the existing slab. Demolition is planned by sawing.

5.7 Designing the new slab

In view of the limitations mentioned above, the new slab will have to be fixed in its final position after each daily stage, in order to be able to remove the vehicles and also to ensure the continuity of the slab. Indeed, normal daytime operation of the tunnel requires the ventilation system to be re-established. To solve this problem, the contractor developed a solution of prefabricated slabs, held in position by temporary tie rods. Anchoring the new section to the existing ring will be carried out as the project progresses. This daily phasing will then be completed by a concreting stage that allows the desired slab thickness to be reached and the edge anchors to be connected. The solution chosen therefore allows the assembly trolleys to be removed without waiting for the concrete to set.

5.8 Construction site installation

The geometry of the stations at the portals and the space available only allow for installation on the Swiss side. This means that the construction site has to be supplied exclusively from one point, which considerably increases travel time for the trolleys to the last section to be built.



6 *Dépose de la dalle existante en phases 2 et 3*
Removal of the existing slab in phases 2 and 3

tion proposée. Ses conclusions ont été positives, avec des étapes de 14 m par jour. Compte tenu des jours à disposition, 4 saisons d'hiver peuvent être planifiées pour la réalisation de ce projet.

5.10 Interaction avec le système d'exploitation

Une interaction minimale avec l'exploitation du tunnel est à rechercher dans le cadre de ce chantier, l'ouvrage restant en service. Les trappes de désenfumage datant de 2017 seront déposées et reposées au fur et à mesure de l'avancement du chantier. Des clapets pivotants permettant de gérer l'aspiration dans l'une ou l'autre direction au milieu du tunnel seront remplacés par des parois avec registres. Un mandat électromécanique a été adjugé au bureau LAMI, Martigny pour cette partie de projet.

6 Procédure de validation du projet

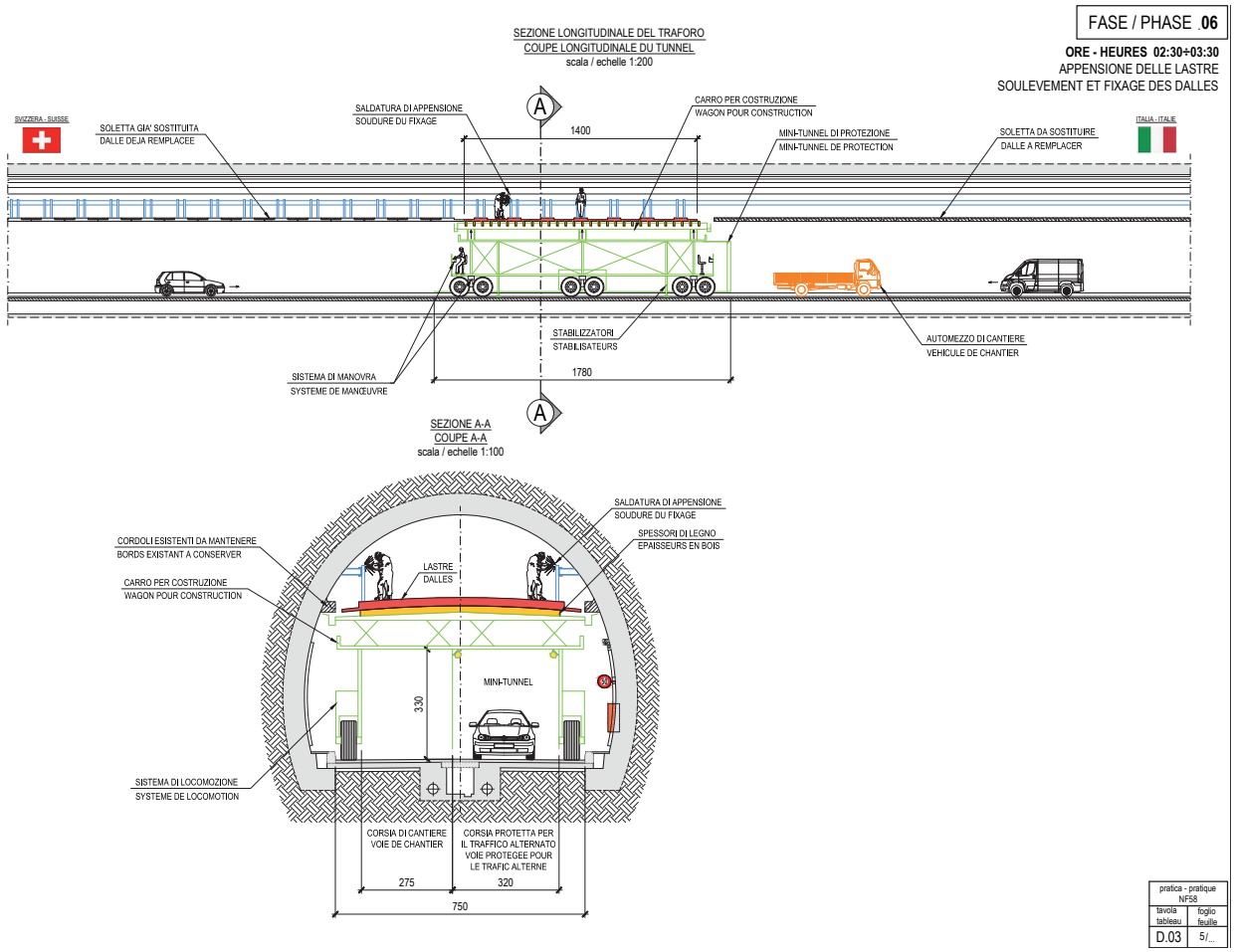
Le Tunnel du Grand-Saint-Bernard est soumis à la surveillance d'une autorité binationale, la Commission Mixte, comme le veut la directive européenne 2004/54/CE. Cette Commission a délégué un comité technique formé de 4 membres suisses et 4 membres italiens. Le 18 juin 2021,

5.9 Reviewing the step-by-step plan

Particular attention was paid to planning, especially in the final project phase. Indeed, it was necessary to verify the temporal feasibility of the construction site before issuing a call for tenders. The contractor had to carry out a detailed study of all the phases of the construction site, in order to conclude that the proposed solution was feasible. His conclusions were positive, with stages of 14 m per day. Given the days available, four winter seasons can be planned for the realisation of this project.

5.10 Interaction with the operating system

Minimal interaction with tunnel operations will be sought during this project, as the tunnel will remain in service. The smoke extraction hatches dating from 2017 will be removed and reinstalled as the work progresses. Swinging dampers to control suction in either direction in the middle of the tunnel will be replaced by walls with dampers. An electromechanical mandate has been awarded to the LAMI office, in Martigny, for this part of the project.



7 Mise en place de la nouvelle dalle préfabriquée phase 6
Installation of the new pre-made slab phase 6

ce dernier a émis un avis positif quant à la conception et à la réalisation du projet définitif de réfection de la dalle de ventilation de l'ouvrage.

7 Appel d'offres

Au cours de l'élaboration du projet définitif, le Maître de l'ouvrage s'est penché sur le type de procédure à utiliser. Compte tenu des particularités et contraintes de ce chantier, l'idée d'un appel d'offres en entreprise totale s'est imposée. En effet, le déroulement de ce chantier est largement tributaire de la méthode d'exécution. Les exigences du Maître de l'ouvrage sont clairement définies, de même que les contraintes. Le bureau T-Ingénierie, Genève a été mandaté pour élaborer un appel d'offres en entreprise totale.

Cet appel d'offres international, en procédure ouverte, a été mené par la société suisse Tunnel du Grand-Saint-Bernard SA, agissant comme Maître d'ouvrage délégué par les deux sociétés concessionnaires. L'appel d'offres suit donc la procédure de droit suisse. Les étapes principales ont été les suivantes :

6 Project validation procedure

The Great St Bernard Tunnel is subject to the supervision of a bi-national authority, the Joint Commission, as required by EU Directive 2004/54/EC. This Commission has delegated a technical committee made up of four Swiss and four Italian members. On 18 June 2021, this committee issued a positive opinion on the design and implementation of the final project to repair the ventilation slab in the structure.

7 Call for tenders

During the development of the final project, the contractor considered the type of procedure to be used. Given the particularities and constraints of this project, the idea of a total contracting process was chosen. Indeed, the progress of this project is largely dependent on the execution method. The contractor's requirements are clearly defined, as are the constraints. T-Ingénierie, Geneva, was commissioned to draw up a call for tenders as a total contractor.

This international open tender was conducted by the Swiss company Tunnel du Great-St-Bernard SA, acting as delegated project manager for the two concessionary companies.

- date de publication : 6 mai 2022 ;
- retour des offres : 30 septembre 2022 (4 offres recevables rendues) ;
- adjudication : 15 décembre 2022 au consortium PraderLosinger SA, Sion – Cogeis, Quincinetto (IT) – Walpen AG, Visp.

Le consortium adjudicataire retenu a suivi dans les grandes lignes le projet définitif, et doit remettre au Maître de l'ouvrage son projet d'exécution. Comme la méthodologie reste inchangée, aucune validation ultérieure par l'autorité de surveillance n'est nécessaire. Les travaux pourront donc débuter comme prévu. L'installation de chantier extérieure est prévue été 2023, et les premières interventions en tunnel pour octobre 2023.

The tender therefore follows the procedure under Swiss law. The main stages were as follows:

- publication date: 6 May 2022;
- return of tenders: 30 September 2022 (four admissible tenders returned);
- Award: 15 December 2022 to the consortium PraderLosinger SA, Sion – Cogeis, Quincinetto (Italy) – Walpen AG, Visp

The winning consortium has broadly followed the final project and must submit its execution project to the contractor. As the methodology remains unchanged, no further validation by the supervisory authority is required. The work can therefore begin as planned. The external construction site installation is planned for summer 2023, and the first interventions in the tunnel for October 2023.

DONNÉES DE PROJET

Région
Valais, frontière Suisse-Italie

Client
Tunnel du Grand-Saint-Bernard SA, Bourg-Saint-Pierre ; SITRASB S.p.A., Aosta.

Conception, supervision du site et gestion globale de la construction
- Faber, Aosta : projet définitif génie civil.
- LAMI SA, Martigny : projet définitif électromécanique.
- SINA S.p.A., Milano : projet définitif ventilation.
- T-Ingénierie, Genève : rédaction appel d'offres génie civil.
- Karakas et Français SA, Martigny : spécialiste environnement.
- BG, Lausanne : analyse de risques en phase de chantier.

Exécution
Consortium PraderLosinger, Sion – Cogeis, Quincinetto (IT) – Walpen AG, Visp, entreprise totale génie civil

Principales informations

Période de construction:	2023–2027
Début des opérations:	août 2023
Frais de construction:	CHF 52 millions (projet complet)

PROJECT DATA

Region
Valais, Swiss-Italian border

Client
Tunnel du Grand-Saint-Bernard SA, Bourg-Saint-Pierre; SITRASB S.p.A., Aosta

Design, site supervision and overall construction management
- Faber, Aosta: final civil engineering project
- LAMI SA, Martigny: final electromechanical project
- SINA S.p.A., Milano: final ventilation project
- T-Ingénierie, Geneva: drafting civil engineering tenders
- Karakas and Français SA, Martigny: environmental specialist
- BG, Lausanne: risk analysis during the construction phase

Execution
Consortium PraderLosinger, Sion – Cogeis, Quincinetto (Italy) – Walpen AG, Visp, complete civil engineering company

Key data

Construction period:	2023–2027
Start of operations:	August 2023
Construction costs:	CHF 52 million (complete project)

Gianni Biasiutti, Dr. sc. techn., Projektleiter Grimselbahn AG, Innertkirchen/BE

Grimseltunnel 23 km – multifunktionale Infrastruktur

Bahn und Höchstspannungsleitung

Der Grimseltunnel bündelt eine neue Bahnlinie Meiringen–Oberwald mit der neu zu bauenden 380-kV-Höchstspannungsleitung Innertkirchen–Ulrichen. Die Bahnlinie verbindet die Zentralbahn (zb) mit der Matterhorn Gotthard Bahn (MGB) und öffnet attraktive Reisemöglichkeiten zwischen touristischen Topdestinationen im Alpenraum. Das Vorhaben ist kostengünstig, dank Synergien der Bündelung sowie günstiger geologischer Verhältnisse.

Grimsel Tunnel, 23 km – multifunctional infrastructure

Railway and extra-high voltage line

The Grimsel Tunnel bundles a new Meiringen–Oberwald railway line with the new to-be-built 380 kV Innertkirchen–Ulrichen extra-high voltage power line. The railway line will connect the Central Railway (CR) with the Matterhorn Gotthard Railway (MGR) and open up attractive opportunities for travel between top tourist destinations in the Alpine region. The project is cost-effective thanks to combined synergies and favourable geological conditions.

1 Idee Grimseltunnel

Die ersten Studien für eine Bahn durch die Grimsel entstanden im vorletzten Jahrhundert im Rahmen der Evaluation von Alpentransversalen. Angedacht war eine Gebirgsbahn mit Scheiteltunnel. Bis in die 60er-Jahre des letzten Jahrhunderts wurde diese Idee mehrere Male lanciert, letztmals als Meterspur-Alpendreieck Furka–Bedretto–Grimsel. Nach massiver Kostenüberschreitung des Tunnelbaus an der Furka verschwand das Projekt in den Akten.

Geblieben ist die Überzeugung, dass eine Grimselbahn von Innertkirchen nach Oberwald, als Verbindung zwischen den Meterspurnetzen der Alpen (Bild 1), verkehrstechnisch und touristisch sinnvoll ist. Jedoch war auch offenkundig, dass diese Verbindung im Kontext der wachsenden Bedürfnisse zum Ausbau des Schweizer Bahnnetzes nur schwerlich Priorität erlangen kann.

2014 definierte die Swissgrid AG den Neubau der Grimsel-Übertragungsleitung (Abschnitt Innertkirchen–Ulrichen) als eines der prioritären Projekte des sogenannten „Strategischen Netzes 2025". Damit bot sich der Idee Grimselbahn eine Chance: die Konzeption als multifunktionale Tunnel-Infrastruktur zur Bündelung von Bahn und verkabelter Übertragungsleitung. Erste Studien hierzu bestätigten den Vor-

1 Grimsel Tunnel idea

The first studies for a railway line through the Grimsel Pass were carried out in the century before last as part of evaluating transalpine routes. The idea was for a mountain railway with a with a tunnel crossing a mountain pass. Until the 1960s, this idea was launched several times, the last time as a metre-gauge Alpine junction between Furka, Bedretto and Grimsel. After massive cost overruns for construction on the Furka Tunnel, the project was shelved.

What remained was the conviction that a Grimsel Pass railway line from Innertkirchen to Oberwald, as a connection between the metre-track gauge networks of the Alps (Fig. 1), would make sense in terms of transport and tourism. However, it was also obvious that this connection could hardly be given priority in the context of the growing need to expand the Swiss railway network.

In 2014, Swissgrid AG defined construction of the new Grimsel transmission line (Innertkirchen-Ulrichen section) as one of the priority projects of the "Strategic Network 2025" project. This offered the Grimsel railway idea an opportunity: the concept as a multi-functional tunnel infrastructure project for pooling the railway and the extra HV transmission line together. Initial studies confirmed the advantage of a tun-

Tunnel du Grimsel, 23 km – infrastructure multifonctionnelle

Chemin de fer et ligne à très haute tension

En Suisse, il existe deux réseaux ferroviaires à voie métrique, l'un sur le versant nord des Alpes et l'autre en leur centre. Au col du Grimsel, les deux réseaux se rapprochent. Leur séparation peut être comblée par un tunnel, parfaitement sûr en hiver. L'occasion se présente aujourd'hui : le regroupement avec la nouvelle ligne à très haute tension du Grimsel dans un système de tunnels commun. Pour celui-ci, deux tubes sont prévus : le tube principal pour le chemin de fer et le tube secondaire pour la ligne électrique, la ventilation et la voie d'évacuation. Le tunnel secondaire offre des conditions techniques favorables au câble, à savoir une protection contre les influences extérieures et une capacité de puissance élevée grâce à la ventilation naturelle dans le tunnel incliné. La fusion des réseaux de voies métriques permettra d'ouvrir de nouveaux itinéraires, tels que Interlaken – Andermatt – Saint-Moritz ou Lucerne-Zermatt.

Galleria del Grimsel 23 km – infrastruttura multifunzionale

Ferrovia e altissima tensione

In Svizzera esistono due reti a scartamento metrico, una situata sul lato nord delle Alpi, e l'altra al centro delle stesse. Al Grimsel queste reti si avvicinano e possono essere collegate con una galleria a prova di inverno. A questo riguardo si presenta ora un'opportunità: il raggruppamento con la nuova linea ad altissima tensione del Grimsel, di prossima costruzione, all'interno di un comune sistema di gallerie. Quest'ultimo è progettato con due tubi: la galleria principale per la ferrovia, e una galleria secondaria per la linea ad altissima tensione, la ventilazione e la via di fuga. Il tunnel secondario presenta condizioni favorevoli per la linea, ovvero protezione dalle azioni esterne nonché elevata capacità di carico grazie alla ventilazione naturale della galleria inclinata. L'unione delle reti a scartamento metrico dà luogo a nuovi collegamenti e come ad esempio: Interlaken–Andermatt–St. Moritz o Luzern–Zermatt.

teil einer Tunnel-Lösung gegenüber einer Gebirgsbahn, die technische Möglichkeit einer Bündelung sowie die Aussicht auf attraktive Kosten. Letztere gründen auf den günstigen geologischen Verhältnissen der Grimsel sowie Synergien der gemeinsamen Tunnelnutzung.

2017 sprach sich der Bundesrat in Beantwortung einer Motion von NR Rechsteiner dafür aus, die Möglichkeiten zur Bündelung von Nationalstrassen oder Eisenbahnlinien mit Hochspannungsleitungen systematisch zu verfolgen.

Diese neue Ausgangslage bietet dem Grimseltunnel die Möglichkeit, den Status eines prioritären Projektes einzunehmen, mit Vorteilen hinsichtlich Raumnutzung, Umwelt sowie insbesondere eines guten Kosten-Nutzen-Verhältnisses.

Das Leitungsvorhaben hat inzwischen die erste Stufe des Verfahrens abgeschlossen: Kürzlich setzte der Bundesrat das Konzept des Vorhabens (Korridor und Technologie) im Sachplan Übertragungsleitungen (SÜL) fest. Inhalt der Festsetzung ist eine Verkabelung im Abschnitt Innertkirchen–Oberwald, entweder a) in einem eigenständigen Stollen oder b) im Grimseltunnel. Damit hat der Bundesrat die Grundvoraussetzung für eine multifunktionale Infrastruktur Grimseltunnel geschaffen. Entscheidend ist nun die Finanzierung des Bahnteils und dabei die Einhaltung des vom Leitungsvorhaben gesetzten engen Zeitfensters mit Baubeginn 2028.

Nach acht Jahren der Projektvorbereitung schloss die Grimselbahn AG Ende 2022 eine Machbarkeitsstudie mit umfassender Projektdokumentation ab. Bezüglich der Aspekte der

nel system as opposed to a mountain railway, as well as the technical possibility of pooling the projects and the prospect of attractive costs. These costs are based on the favourable geological conditions of the Grimsel massif and synergies from joint use of the tunnel.

In 2017, in response to a motion by Federal Councillor Rechsteiner, the Federal Council advocated systematically pursuing the possibilities of pooling national roads or railway lines with high-voltage power lines.

This opportunity offers the Grimsel Tunnel the possibility of assuming the status of a priority project, with advantages in terms of space utilisation, the environment and, in particular, a good cost-benefit ratio.

The HV transmission line project has now completed the first stage of the procedure: The Federal Council recently defined the project concept (corridor and technology) in the Transmission Lines Sectoral Plan (SÜL). The plan calls for cabling in the Innertkirchen-Oberwald section to be installed either a) in a separate tunnel or b) in the Grimsel Tunnel. The Federal Council has thus created the basic prerequisite for a multifunctional Grimsel Tunnel infrastructure. The decisive factor now is financing of the railway section and meeting the tight schedule set by the project – with construction starting in 2028.

After eight years of project preparation, Grimselbahn AG completed a feasibility study with comprehensive project documentation at the end of 2022. With regard to the

Quelle/credit: Grimselbahn AG

1 Meterspur-Bahnnetz
Metre-gauge railway network

Bündelung sowie der Kostenberechnung hat die Studie die Reife eines Vorprojektes. Der vorliegende Artikel berichtet aus dieser Studie.

2 Linienführung und Konzept Bahnanlage

Die Linienführung des Grimseltunnels von Innertkirchen nach Oberwald (Bild 2) wurde in mehreren Schritten und über verschiedene Varianten hinweg entwickelt und optimiert. Grundanforderungen seitens Bahn waren eine einspurige Linie mit Kreuzungsstellen, eine maximale Neigung von 6 % zwecks Betriebs mit Adhäsion sowie Haltestellen in Guttannen und Handeck. Für die Kabelleitung sind Anschlussstollen zu den Unterwerken Handeck und Grimsel erforderlich.

Die topografischen Gegebenheiten ermöglichen eine weitgehend gestreckte Linienführung. Der Abschnitt zwischen Innertkirchen und Handeck ist geneigt; er besteht aus zwei Teilen von 6.9 und von 5.1 km Länge mit der Haltestelle Guttannen dazwischen. Die Haltestelle als seitlich offene Galerie befindet sich in einem 500 m langen Tagbauabschnitt. An der Handeck befindet sich die Haltestelle in einer Kaverne auf gleicher Kote wie Oberwald. Die Kaverne ist über einen 450 m langen Zugangsstollen erschlossen. Der Scheiteltunnel Handeck–Oberwald hat eine Länge von 9.9 km inklusive eines kurzen Lockergesteinsvortriebs zur Einführung in den Bahnhof Oberwald. Die Angriffspunkte in Innertkirchen und in Guttannen liegen im anstehenden Fels.

technical aspects of pooling as well as cost calculations, the study has attained pre-project status. This article provides an account of this study.

2 Routing and concept of the railway system

The layout of the line of the Grimsel Tunnel from Innertkirchen to Oberwald (Fig. 2) was developed and refined in several steps and variations. The basic requirements on the part of the railway were a single-track line with crossing points, a maximum gradient of 6 % for operation with adhesion, and stops in Guttannen and Handeck. For the cable line, connecting tunnels to the Handeck and Grimsel substations are required.

The topographical conditions allow for a largely straight line. The inclined section between Innertkirchen and Handeck consists of two parts, 6.9 and 5.1 km long, with the Guttannen stop in between. The stop is a laterally open gallery and located in a 500 m long open pit section. At Handeck, the stop is located in a cavern at the same altitude as Oberwald. The cavern is accessed via a 450 m long access tunnel. The Handeck-Oberwald tunnel has a length of 9.9 km, which includes a short section of loose rock at the entry into the Oberwald station. The access points in Innertkirchen and in Guttannen are located in the overlying rock.

The independent cable variant a) according to the Transmission Lines Sectoral Plan definition (para. 1) runs a little to the

Die eigenständige Kabelvariante a) gemäss SÜL-Festsetzung (Abs. 1) verläuft wenig westlich des Grimseltunnels, wobei im Raume Handeck–Grimsel bestehende Kraftwerksstollen mitbenutzt werden können.

3 Spezifische Herausforderungen der Bündelung

Eine Bündelung von Bahn und 50-Hz-Höchstspannungskabel in gemeinsamer Tunnelanlage von 23 km Länge ist eine Novität. Zwar existiert eine prominente Parallelführung dieser Art im Kanaltunnel, jedoch handelt es sich dort um eine Gleichspannungsleitung. Erster Schritt in der Entwicklung eines geeigneten Tunnelsystems war die Abklärung der spezifischen technischen Herausforderungen der Bündelung im Grimseltunnel.

3.1 Lange Kabelleitung

Eine 50-Hz-Kabelleitung dieser Länge gehört zu den längsten weltweit innerhalb des vermaschten Übertragungsnetzes (einzelne Leitungen bis etwa 40 km). Für den Vorschlag der Idee Grimseltunnel musste zunächst sondiert werden, ob das Übertragungsnetz im Umfeld des Unterwerks Innertkirchen mit einer solchen Kabelleitung stabil betrieben werden kann. Kriterien sind dabei transiente Einschaltschwingungen, Netzresonanzen, Blindleistungskompensation sowie die Fähigkeit zum Schwarzstart durch das dortige Kraftwerk. Die entsprechenden Studien konnten die Machbarkeit bestätigen.

3.2 Wärmeabfuhr und Lüftung

Die Abfuhr der Kabel-Verlustwärme im multifunktionalen Tunnel steht unter besonderer Anforderung. Namentlich ist dies die Gewährleistung der geforderten Belastbarkeit der Kabelleitung unter Einhaltung einer Temperaturgrenze von 40 Grad für den Bahnverkehr und die Möglichkeit einer Evakuierung. In eigenständigen Kabelstollen ist die Belastbarkeit durch die Leitertemperatur von 90 Grad begrenzt, wobei die Luft bis zu 60 Grad erreichen kann.

Ein besonderer Fokus galt deshalb den Abklärungen zur Thermodynamik des Tunnelsystems, mit dem Ziel des Vor-

west of the Grimsel Tunnel, whereby existing access tunnels of the hydropower station in the Handeck-Grimsel area can be used.

3 Specific challenges of pooling projects

Pooling the railway project and the 50 Hz extra-high voltage cable in a joint tunnel system of 23 km length is a novelty. Although a prominent parallel line of this type exists in the Channel Tunnel, this is a DC line.

The first step in developing a suitable tunnel system was to clarify the specific technical challenges of the bundling of the two infrastructures in the Grimsel Tunnel.

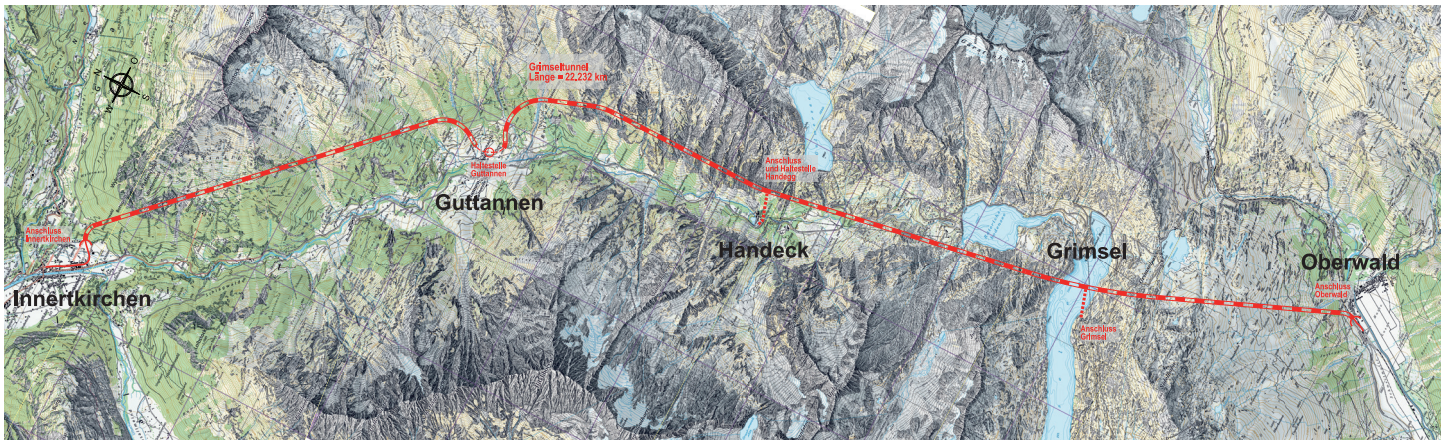
3.1 Long cable lines

The proposed cable line is one of the longest 50 Hz cable lines in the world on the top voltage level of the transmission network (there are a few lines up to about 40 km). To propose the Grimsel Tunnel idea, it was first necessary to find out whether the grid in the vicinity of the Innertkirchen substation could be operated stably with such a cable line. Criteria here are transient switch-on oscillations, grid resonances, reactive power compensation and the ability for a black start by the power plant there. The corresponding studies were able to confirm this feasibility.

3.2 Heat dissipation and ventilation

The dissipation of cable heat loss in the multifunctional tunnel is subject to special requirements. In particular, this means guaranteeing the required load-bearing capacity of the cable system while maintaining a temperature limit of 40 degrees for rail traffic and the possibility of evacuation. In independent cable tunnels, the load capacity is limited by a conductor temperature of 90 degrees, whereby the ambient air can reach up to 60 degrees.

Special focus was therefore placed on clarifying the thermodynamics of the tunnel system, with the aim of pro-



2 *Linienführung Grimseltunnel*
Grimsel Tunnel route

Quelle/credit: Grimselbahn AG

schlags eines geeigneten Lüftungskonzeptes. Besondere Faktoren sind einerseits die Länge des Tunnels, welche die Wärmeabfuhr erschwert, und andererseits die markante Neigung (Abs. 6), welche eine starke natürliche Lüftung treibt.

Die offene Haltestelle Guttannen teilt den Tunnel in zwei Lüftungsabschnitte auf. Die Höhendifferenz verteilt sich auf die beiden Abschnitte hälftig; die Längen betragen rund 7 und 15 km (Bild 3).

Der Anfall an Kabel-Verlustwärme fluktuiert stark, wegen der Variation der Last im Netz sowie der quadratischen Abhängigkeit der Verluste vom Strom. Massgebend für das Temperaturgeschehen im Stollen ist die grosse thermische Speicherkapazität des Gebirges. Dabei gewährleistet der Luftstrom im Stollen respektive die dadurch verursachte Turbulenz einen effizienten radialen Wärmefluss von der Kabeloberfläche zur umgebenden Speichermasse. Die Temperatur der Tunnelwand erwärmt sich innerhalb der sporadischen Lastzyklen nur geringfügig. Die Wärmeabfuhr in Längsrichtung, also im Zuge der Luftströmung, ist dabei von untergeordneter Bedeutung.

Die natürlichen Luftgeschwindigkeiten betragen 1.5 bis 2 m/s, abhängig von der Last respektive der Temperatur der Kabeloberfläche. Die Untersuchungen konnten bestätigen, dass die geforderte Belastbarkeit der Kabelleitung (1750 A) mit natürlicher Lüftung gewährleistet werden kann – dank der Neigung des Tunnels. Gleichwohl sieht das Lüftungskonzept eine mechanische Lüftung (bis circa 5 m/s) vor, um das Potenzial der Kabelleitung für ausserordentliche Maximallasten (bis circa 2600 A) auszuschöpfen.

3.3 Sicherheit

Massgebend für die Personensicherheit und wegweisend für die Wahl des Tunnelsystems (Abs. 4) sind die nachfolgend aufgeführten Ereignisszenarien und Kriterien.

posing a suitable ventilation concept. Special factors are, on the one hand, the length of the tunnel, which makes heat dissipation difficult, and, on the other hand, the steep incline (para. 6), which enables powerful natural ventilation.

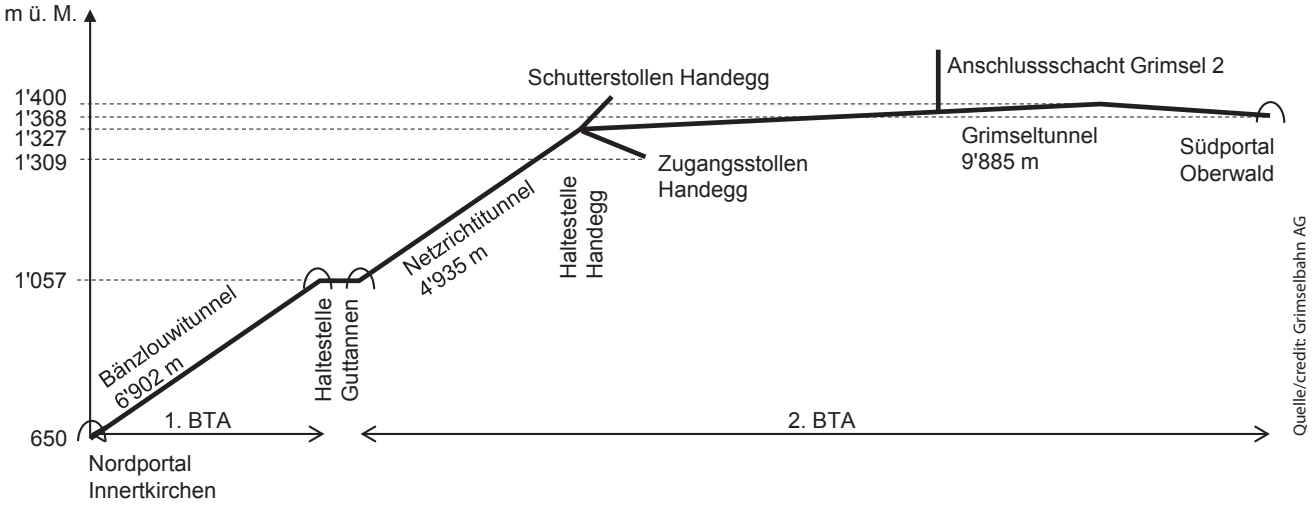
The open Guttannen stop divides the tunnel into two ventilation sections. The height difference is divided equally between the two sections; the lengths are around 7 and 15 km (Fig. 3).

The amount of cable heat loss fluctuates strongly due to the variation of the power grid load and the quadratic dependence of the losses on the current. The rock's large thermal storage capacity is decisive for temperature behaviour in the tunnel. The air flow in the tunnel and the resulting turbulence ensure an efficient radial heat flow from the cable surface to the surrounding storage mass. The temperature of the tunnel surface heats up only slightly during the sporadic power cycles. The heat transport in the longitudinal direction, i.e., in the course of the air flow, is of secondary importance.

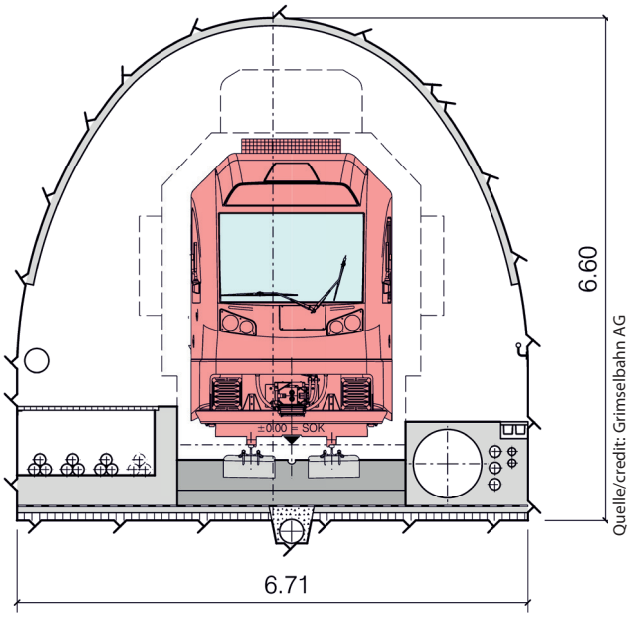
The natural air velocities are 1.5 to 2 m/s, depending on the load, i.e. the temperature of the cable surface. The investigations confirmed that the required load capacity of the cable line (1,750 A) can be guaranteed with natural ventilation – thanks to the inclination of the tunnel. Nevertheless, the ventilation concept includes mechanical ventilation (up to approx. 5 m/s) in order to exploit the potential of the cable line for extraordinary maximum loads (up to approx. 2,600 A).

3.3 Safety

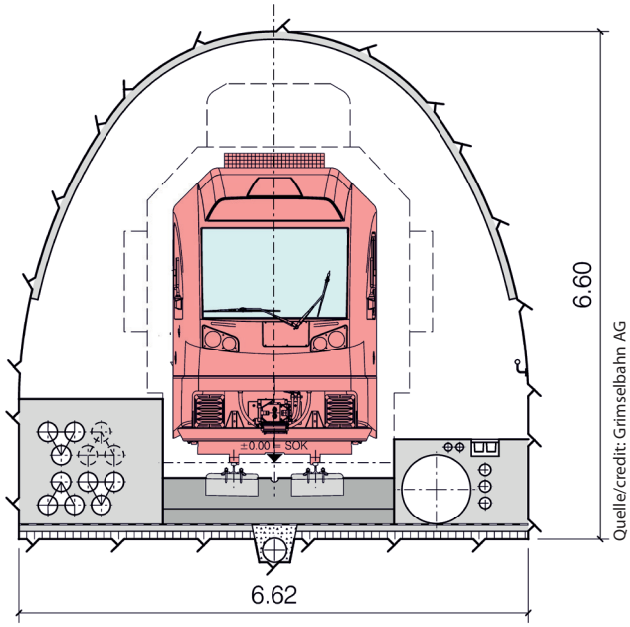
The following event scenarios and criteria are decisive for the safety concept and the design of the tunnel system (paragraph 4).



3 *Längenprofil und Lüftungsabschnitte*
Longitudinal profile and ventilation sections



4 *System 1*
System 1



5 *System 2*
System 2

Ereignisse seitens Bahn:
- Brand eines Zuges
- Entgleisung eines Zuges oder Zusammenstoss zweier Züge

Ereignisse seitens Leitung mit Auswirkungen auf Bahnreisende:
- Hohe Lufttemperatur aufgrund ausserordentlicher Maximallast
- Isolationsdurchschlag (Plasmastrahl)
- Erdschluss, Rückstrom durch Tunnel-Erdung, Berührungsspannungen

Kriterien in Bezug auf die Kabelleitung:
- Bestmögliche Belastbarkeit
- Schutz vor Ereignissen der Bahn (Brand, Entgleisung)
- Magnetfeld-Emissionen, Einhaltung des NISV-Grenzwertes von 100 µT

4 Systemwahl

Fragen: Welche Systeme respektive Konzepte der Parallelführung von Bahn und Leitung in einer gemeinsamen Tunnelanlage kommen in Betracht? Wie sollen die Profile der Tunnelanlage für diese Systeme ausgelegt sein? Welches sind die Kosten der Tunnelanlage der verschiedenen Systeme? Und schliesslich: Welches System eignet sich am besten?

Analysiert wurden drei verschiedene Systeme:
- System 1 (Bild 4): Tunnel mit Parallelführung der Leitung (2 bis 4 Stränge) entlang der Geleise in einem Kanal, geschützt durch eine Leitmauer sowie durch ein Abdeckgitter. Die drei Kabel eines Stranges sind im geschlossenen Dreieck angeordnet, zur Einhaltung des NISV-Grenzwerts. Der Fluchtweg liegt auf der gegenüberliegenden Seite des Gleises. Zur Selbstrettung in sichere Aufenthaltsbereiche dienen Kavernen als Personenschutzräume im Abstand von 1600 bis 2000 m. Notausgänge ins Freie sind im Gebirge nicht möglich.

Railway incidents:
- Fire on a train
- Derailment of a train or collision of two trains

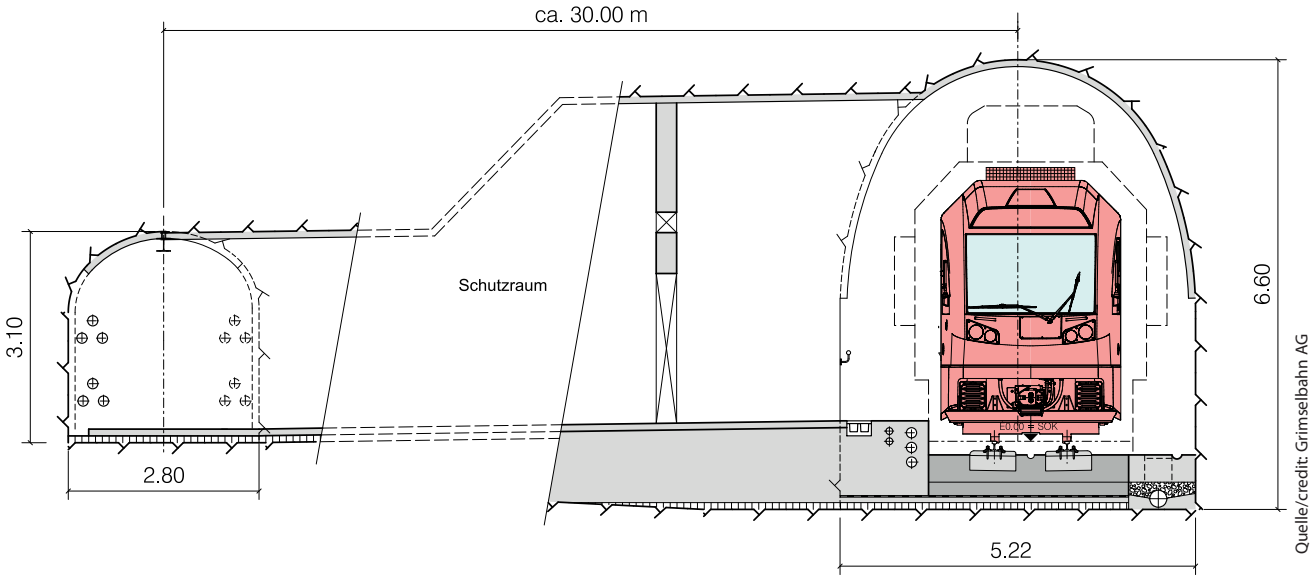
Incidents on the part of management with an impact on rail passengers:
- High air temperature due to extraordinary maximum load
- Insulation breakdown (plasma discharge)
- Ground short-circuit, reverse current through tunnel grounding, contact voltages

Criteria in relation to the cable line:
- Best possible load capacity
- Protection against railway incidents (fire, derailment)
- Magnetic field emissions, compliance with the NISV (non-ionised radiation regulation) limit value of 100 µT

4 Choice of tunnel system

The following questions arise: Which systems or concepts for parallel routing of the railway and cable in a common tunnel system can be considered? How should the tunnel system profiles be designed for these systems? What are the costs of the various systems? And finally: Which system is best suited?

Three different systems were analysed:
- System 1 (Fig. 4): Tunnel with parallel cable routing (2 to 4 strands) along the railway tracks in a channel, protected by a guiding wall and a cover grid. Three cables in a line are arranged in a closed triangle to comply with the NISV limit value. The escape route is on the opposite side of the track. To enable emergency escape to safe areas, caverns are used as personal protection rooms at a distance of 1.600 to 2.000 m. Emergency exits to the outside are not possible in the mountains.
- System 2 (Fig. 5): Same as system 1, but with the cables laid in a pipe concrete block, in accordance with the his-



6 *System 3*
System 3

- System 2 (Bild 5): Gleich wie System 1, jedoch mit Verlegung der Kabel in einem Rohrblock, entsprechend der historisch gewachsenen Schweizer Praxis zum Bau von Kabelleitungen. Die Kabel im Rohrblock sind im offenen Dreieck verlegt.
- System 3 (Bild 6): Tunnelanlage, bestehend aus zwei Röhren mit je kleinstmöglichem Profil. In der Hauptröhre verläuft die Bahn, im Nebenstollen die Kabelleitung. Der Nebenstollen dient im Weiteren der Lüftung sowie der Personensicherheit. Zwischen den beiden Röhren bestehen Querschläge im Abstand von höchstens 500 m. Die Querschläge sind eine Voraussetzung für einen effizienten Bauprozess und sie werden schliesslich zu Personenschutzräumen ausgebaut.

Für die Ermittlung der Kosten der drei Systeme wurde eine Richtofferte auf Basis NPK-Auszug eingeholt, sowohl für Sprengvortrieb wie auch für mechanischen Vortrieb. Dabei erwies sich der Sprengvortrieb unter den vorliegenden Gegebenheiten als günstiger. Im Weiteren zeigte sich, dass System 3 lediglich 7 % teurer ist als System 1, dank Vorteilen des 2-Stollen-Konzeptes hinsichtlich Baulogistik, Lüftung und Entwässerung.

In der Evaluation schied zunächst System 2 aus, aufgrund markanter Nachteile hinsichtlich Belastbarkeit der Leitung. Der Rohrblock bedeutet einen zusätzlichen Wärmeübergang und er trennt die Kabel von der Lüftung und damit von einer effizienten Wärmeabfuhr. Der Auslegungs-Lastfall ist zwar gewährleistet, eine weiter gehende Reserve besteht aber nicht.

System 3 besitzt die höchste Belastbarkeit, mit mechanischer Lüftung bis circa 2600 A. Ins Gewicht fällt dabei der gute Anschluss der Kabel an den Luftstrom, dank offener Anordnung am Parament und mit Abstand zwischen den Phasen. Ausserdem ist das Kabel vollständig gegenüber Ereignissen der Bahn geschützt. Über diese Aspekte hinaus erwies sich

torically developed Swiss practice for the construction of cable lines. The cables in the pipe block should be laid in an open triangle.
- System 3 (Fig. 6): Tunnel system consisting of two tubes, each with the smallest possible profile. The railway runs through the main tube and the cable line through the side tunnel. The side tunnel is also used for ventilation and personal safety. There are cross passages between the two tubes at a maximum distance of 500 metres. The cross passages are a prerequisite for an efficient construction process and will finally be converted into personal protection areas.

In order to determine the costs of the three systems, a reference quotation was obtained on the basis of the NPK (Swiss Catalogue of Building Specifications), both for drill and blast and for mechanical excavation. Drill and blast proved to be more favourable under the existing geological conditions. Furthermore, it was shown that system 3 is only 7 % more expensive than system 1, thanks to the advantages of the two-tunnel concept with regard to construction logistics, ventilation and drainage.

In the evaluation, system 2 was initially ruled out due to significant disadvantages with regard to the resilience of the cable. The pipe segment means additional heat transfer; it also separates the cables from the ventilation and thus from efficient heat dissipation. The design capacity is guaranteed, but there is no further reserve.

System 3 has the highest load capacity, with mechanical ventilation up to approx. 2,600 A. The cable is well connected to airflow, thanks to the open arrangement on the side walls and the distance between the individual cables. In addition, the cable is fully protected against railway in-

dieses System im Zuge der Entwicklung des Sicherheits- und Rettungskonzeptes respektive der quantitativen Risikoanalysen als überlegen: Die in kurzer Distanz angeordneten Querschläge als Schutzräume und der Nebenstollen als Fluchtweg ergeben eine Lösung gemäss bestem Stand der Technik.

Die NISV-Grenzwerte sind im Nebenstollen nicht gewährleistet, im Brandfall kann dies jedoch akzeptiert werden, unter dem Aspekt der Abwägung zweier Risiken.

Das Risiko eines Durchschlags der Kabelisolation lag bei einer QRA-Analyse klar im akzeptablen Bereich. Dies aufgrund der sehr geringen Eintretenswahrscheinlichkeit und des örtlich begrenzten Letalitätsrisikos.

Berührungsspannungen infolge von Erdschlüssen im Übertragungsnetz können wirkungsvoll vermieden werden durch eine vollständige Vermaschung aller Erdungsleitungen und Kabelschirme (Faraday-Käfig). Die Belüftung der Personenschutzräume von System 3 erfolgt aus dem Nebenstollen heraus mit Ventilatoren. Eine Brandlüftung im Bahnstollen ist voraussichtlich nicht erforderlich, dank der kräftigen natürlichen Lüftung im geneigten System. Barometrische Präzisionsmessungen sollen diese Annahme noch bestätigen. Die Intervention bei einem Brandereignis muss grundsätzlich von Innertkirchen her erfolgen. Aus all diesen Gründen wurde schliesslich das System 3 für die weitere Bearbeitung gewählt.

5 Tunnelanlage

Die Tunnelanlage besteht aus dem Bahntunnel, dem Nebenstollen in einem Abstand von 30 m sowie den Querschlägen, in regelmässigen Abständen als Personenschutzräume ausgebaut. Die gesamte Tunnelanlage wird konventionell im Sprengvortrieb ausgebrochen.

Der Querschnitt des Bahntunnels (Bild 7) bestimmt sich aus dem Lichtraumprofil der Bahn (AB-EBV, Meterspur A) sowie den Anforderungen aus dem Vortrieb. Das Profil hat eine Breite von 5.2 m und eine Höhe von 6.6 m. Der Ausbruchquerschnitt beträgt 31 m^2. Vorgesehen ist der Einbau einer festen Fahrbahn.

Der Kabelstollen ist 2.8 m breit und mindestens 3.1 m hoch. Der Querschnitt beträgt circa 8 m^2. Aufgrund des sehr kleinen Profils sind baulogistische Querschläge alle 250 bis 500 m erforderlich. Die Hauptlogistik erfolgt durch den Bahntunnel; der Nebenstollen dient in der Bauphase der Lüftung, Entwässerung und Sicherheit.

Aufgrund der sehr guten Gebirgsverhältnisse bedürfen die Kalotten nur eines geringen Ausbaus. In jedem Fall ist ein Kopfschutz aus Spritzbeton und Ankern vorgesehen. Der Ausbruch der Tunnelanlage kann in sechs Losen erfolgen, ab Innertkirchen, Guttannen (2), Handeck (2) und Oberwald.

cidents. Furthermore, this system proved to be superior during development of the safety and rescue concept and the quantitative risk analyses. The cross passages arranged at a short distance as shelters and the side tunnel as an escape route result in a state-of-the-art safety solution.

The NISV limits are not guaranteed in the side tunnel, but in case of fire this is acceptable, under the aspect of balancing two risks.

The risk of cable insulation breakdown proved to be within the acceptable range in a QRA analysis. This is due to the very low probability of occurrence and the locally limited mortality risk.

Contact voltages due to ground faults in the transmission grid can be effectively avoided by completely meshing all grounding structures and cable shields (Faraday cage).

Ventilation of the safety shelters in system 3 is carried out from the side tunnel with fans. Fire ventilation in the railway tunnel is not expected to be necessary, thanks to powerful natural ventilation in the inclined system. Barometric precision measurements should still confirm this assumption. Intervention in the event of a fire must always be carried out from Innertkirchen. For all these reasons, System 3 was finally chosen for further processing.

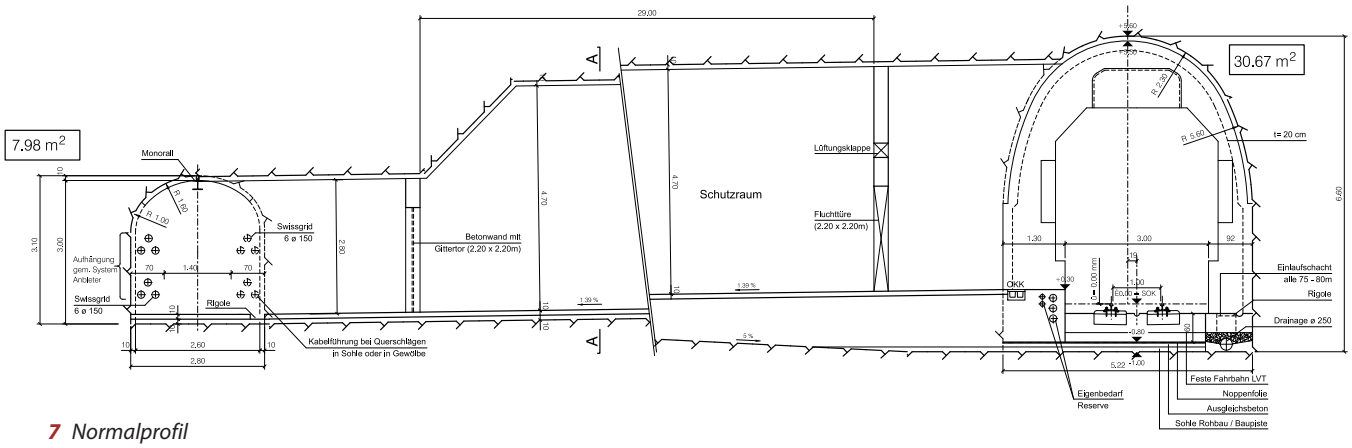
5 Tunnel system

The tunnel system consists of the railway tunnel, the side tunnel at a distance of 30 m and the cross passages, which are equipped safety personal protection rooms. The entire tunnel system will be excavated conventionally by drill and blast.

The cross-section of the railway tunnel (Fig. 7) is determined by the clearance profile of the railway (AB-EBV, metre gauge A) as well as the requirements from tunnelling. The profile is 5.2 m wide and 6.6 m high. The excavation cross-section is 31 m^2. The installation of a solid carriageway is planned.

The cable tunnel is 2.8 m wide and at least 3.1 m high. The cross-section is approximately 8 m^2. Due to the very small profile, cross passages are required every 250 to 500 m for construction logistics. The main logistics are carried out through the railway tunnel; the secondary tunnel is used for ventilation, drainage and safety during the construction phase.

Due to the very good geological conditions, the tunnels only require minor lining. In any case, a rock protection made of shotcrete and rock bolts is provided. Tunnel excavation can be carried out in six lots, from Innertkirchen, Guttannen (2), Handeck (2) and Oberwald.



Quelle/credit: Grimselbahn AG

7 Normalprofil
Standard profile

6 Bahn

Die mit dem Grimseltunnel in Verbindung gebrachten Netze von zb und MGB haben die gleiche Spurweite, aber teilweise unterschiedliche technische Systeme. Namentlich ist das Zahnstangensystem nicht kompatibel. Die unterschiedlichen Fahrleitungsspannungen (zb 16 kV, MGB 11 kV) sind für Fahrzeuge moderner Konzeption kein Problem. Im Grimseltunnel soll die Fahrleitung mit 16 kV betrieben werden. Die Einspeisung ab Meiringen soll durch eine zweite ab SBB-Unterwerk Ulrichen ergänzt werden.

Der Grimseltunnel wird als Adhäsionsstrecke realisiert. Die nächste Fahrzeugbeschaffung der Bahnen wird die Anforderungen des Grimseltunnels abdecken: 16 und 11 kV; Geschwindigkeiten berg- und talwärts 60 bis 70 km/h bei 6 % Neigung; Einhaltung der Bremstabelle S2020; Zulassung für die Perronhöhen P35 und P37.

Das Fahrplankonzept hat folgende Merkmale: Durchbindung des Regionalzugs Interlaken–Meiringen bis nach Oberwald; Reisezeit zwischen Meiringen und Oberwald 28 Minuten; perrongleiches Umsteigen in Oberwald Richtung Andermatt oder Brig. Die Fahrpläne auf den Zulaufstrecken bleiben unverändert.

7 Geologie

Die Linienführung des Grimseltunnels liegt vollständig in den kristallinen Gesteinen des Aarmassivs, abgesehen von einer kurzen Lockergesteinsstrecke in Oberwald. Von zentraler Bedeutung für die geologisch-geotechnische Prognose ist die Tatsache, dass durch die Stollen der KWO und der Transitgas über die ganze Länge des Grimseltunnels nahe der Achse Aufschlüsse vorhanden sind. Der Baugrund ist bestens bekannt und sehr gut durchörterbar, womit sich die bautechnischen Risiken zuverlässig beurteilen lassen.

8 Deponien

Mögliche Standorte für die Ablagerung des Ausbruchmaterials wurden in breiter Optik evaluiert. Zwei Standorte haben

6 Railway

The CR and MGR networks associated with the Grimsel Tunnel have the same track gauge, but partly different technical systems. The rack and pinion system is not compatible. The different catenary voltages (CR 16 kV, MGR 11 kV) are not a problem for vehicles of modern design. In the Grimsel Tunnel, the overhead contact line is to be operated at 16 kV. The feed from Meiringen is to be supplemented by a second feed from the SBB Ulrichen substation.

The Grimsel Tunnel will be realised as an adhesion line. The next vehicle procurement for the railways will cover the Grimsel Tunnel requirements: 16 and 11 kV; uphill and downhill speeds from 60 to 70 km/h at a 6 % gradient; compliance with brake table S2020; approval for passenger platform heights P35 and P37.

The scheduling concept has the following features: Throughway connection of the regional Interlaken–Meiringen to Oberwald; train travel time between Meiringen and Oberwald 28 minutes; change of trains on the same platform in Oberwald for trains in the direction of Andermatt or Brig. The timetables on the feeder lines remain unchanged.

7 Geology

The Grimsel Tunnel's route lies entirely in the crystalline rocks of the Aar massif, apart from a short section of loose rock in Oberwald. Of central importance for the geological-geotechnical prognosis is the fact that there are existing tunnels of the KWO (Kraftwerke Oberhasli AG) and the Transitgas AG over the entire length of the Grimsel Tunnel. The subsoil is very well known and it is very easy to penetrate, which means that construction risks can be reliably assessed.

8 Landfills

Possible sites for depositing excavated material were evaluated on a broad scale. Two sites have been identified: on the Bern side, the Handeck plateau (Handeggli landfill, originally Transitgas AG) and on the Valais side, the Löwwene trench

sich dabei herauskristallisiert: auf Berner Seite die Ebene der Handeck (Deponie Handeggli, ursprünglich Transitgas AG) und auf Walliser Seite der Raum des Löwwene-Grabens am Schattenhang gegenüber dem Bahnhof Oberwald. Im Weiteren kann in Innertkirchen das Restvolumen einer in Betrieb stehenden Deponie (Blänggen) genutzt werden.

Die Deponie Handeggli ermöglicht eine Ablagerung von 1.5 Millionen Kubikmetern. Sie ist direkt erschlossen mit einem Schutterstollen ab Installationskaverne Handeck (spätere Haltestelle Handeck). Diese Deponie ist im Richtplan festgesetzt und befindet sich im Verfahren (Überbauungsordnung); Hindernisse bestehen keine. Zusammen mit der Deponie in Innertkirchen besteht Raum für den gesamten Ausbruch. Die Deponie Löwwene bietet die Möglichkeit, den Ausbruch des Vortriebs auf Walliser Seite in Portalnähe abzulagern.

9 Kostenberechnung

Aufgrund der langen Projekthistorie existieren mehrere Kostenschätzungen mit umfangreichen Grundlagen:

- Ingenieurberechnung, 2015 und 2017
- Richtofferte Bauunternehmung, auf Basis NPK-Ausschreibung, 2018
- Vergleich mit abgeschlossenen Stollenbauten der KWO, 2019
- Richtofferte Bauunternehmung mit breiter Erfahrung an der Grimsel, auf Basis Projektdokumentation, 2022
- Revidierte Berechnung auf Basis der Richtofferten und nach Massgabe des BAV-Leitfadens „Ermittlung der Kosten von Ausbauvorhaben", 2022

Die finale Kostenberechnung besteht aus zwei Teilen: Bau und Bahninfrastruktur. Der Projektperimeter reicht vom Bahnhof in Innertkirchen bis zum Bahnhof Oberwald, inklusive der dortigen Anpassungen und Erweiterungen. Nicht enthalten ist die Kabelleitung.

Das Resultat der Kostenberechnung lautet: Erwartungswert 661 Millionen Schweizer Franken, davon für den Bau 495 Millionen Schweizer Franken und für die Bahninfrastruktur 166 Millionen Schweizer Franken.

Der Nettobetrag zulasten des Bahnteils ergibt sich nach Abzug des Beitrags der Swissgrid aus der Mitbenutzung der Tunnelinfrastruktur. Der Berechnungsmodus dieses Beitrags ist in den SÜL-Dokumenten definiert. Konkret entspricht der Beitrag in etwa den Kosten des Kabelstollens der eigenständigen Variante (Abs. 1, Var. A), welcher im Falle der Bündelungsvariante nicht gebaut werden muss.

10 Aktueller Stand und Ausblick

Die Übertragungsleitung Innertkirchen–Ulrichen hat den wegweisenden ersten Verfahrensschritt, den Sachplanprozess, durchlaufen: Der Bundesrat hat kürzlich eine Verkabelung im Abschnitt Innertkirchen–Oberwald festgesetzt.

area on the shaded slope opposite the Oberwald railway station. In addition, the remaining capacity of an operating landfill called Blänggen can be used in Innertkirchen.

The Handeggli landfill allows 1.5 million cubic metres to be deposited. It is directly accessible via a tunnel used to transport excavation rock from the Handeck cavern (later Handeck stop). This landfill site is included in the structure plan of the canton; there are no obstacles. Together with the landfill in Innertkirchen, there is space for the entire excavation. The Löwwene landfill offers the possibility of depositing the excavated material on the Valais side near the portal.

9 Cost calculations

Due to the project's long history, several cost estimates with extensive foundations exist:

- Engineering calculations, 2015 and 2017
- Indicative quotation of a construction company, based on NPK tender, 2018
- Comparison with completed KWO tunnel construction projects, 2019
- Indicative quotation of a construction company with broad experience at Grimsel, on the basis of project documentation, 2022
- Revised calculation on the basis of the indicative offers and in accordance with the FOT guidelines "Determining the costs of expansion projects", 2022

The final cost calculation consists of two parts: construction and railway infrastructure. The project perimeter extends from the railway station in Innertkirchen to Oberwald station, including the adaptations and extensions there. The cable line is not included.

The result of the cost calculation is as follows: an expected value of 661 million Swiss francs, of which the construction costs amount to 495 million Swiss francs and the railway infrastructure costs to 166 million Swiss francs.

The net amount charged to the railway fund will be calculated after deducting Swissgrid's contribution for the shared use of the tunnel infrastructure. The calculation method used for this contribution is defined in the SÜL documents. In concrete terms, the contribution corresponds approximately to the costs of the isolated cable tunnel variant (section 1, variant a), which does not have to be built in the case of the project pooling variant.

10 Current status and outlook

The Innertkirchen–Ulrichen transmission line has gone through the first approval step, the sectoral plan process. The Federal Council recently approved the cabling of the Innertkirchen–Oberwald section. This means that the HV-line project has the green light, and it is clear that a tunnel will

Damit hat das Leitungsvorhaben grünes Licht, und es ist klar, dass in jedem Fall ein Stollen durch die Grimsel gebaut wird – wenn möglich, als multifunktionale Infrastruktur. Kritisch ist dabei der Faktor Zeit: Das Leitungsvorhaben dürfte einer gesteigerten Dringlichkeit unterliegen, aufgrund der Umwälzungen im Energiebereich mit Absicht zum Ausbau der Solarenergie im Alpenraum.

Der Grimseltunnel steht vor dem Grundsatzentscheid des Parlaments zur weiteren Finanzierung. Eine Voraussetzung dafür ist die umfassende Projektdokumentation, welche nach dem Jahreswechsel 2022/2023 dem BAV eingereicht wurde. Die politischen Abwägungen zur Realisierung des Grimseltunnels sind aktuell im Gange (Stand Sommer 2023).

be built through the Grimsel Pass anyway – if possible, as a multifunctional infrastructure project. The time factor is crucial here: the HV-line project is likely to be subject to increased urgency due to the upheavals in the energy sector with the intention of expanding solar energy in the Alpine region.

The Grimsel Tunnel is about to be approved in principle by parliament for further financing. A prerequisite for this process is comprehensive project documentation, which was submitted to the Federal Office of Transport at the end of 2022/beginning of 2023. The political considerations for the realisation of the Grimsel Tunnel are currently underway (status summer 2023).

PROJEKTDATEN

Region
Berner Oberland und Goms

Bauherr, Projekt- und Oberbauleitung
voraussichtlich Zentralbahn AG

Planung und Bauleitung
Grimselbahn AG

Kenndaten

Bauzeit:	7 Jahre
Baukosten Tunnel:	CHF 495 Mio., exkl. Bahnausrüstung und Höchstspannungskabel
Gesamtlänge:	23 km
Ausbruchquerschnitt:	total beide Röhren ca. 39 m²

Besondere Merkmale
multifunktionale Infrastruktur für Bahn und verkabelte Höchstspannungsleitung

PROJECT DATA

Region
Berner Oberland and Goms

Contractor, project and construction site supervision
Most likely Zentralbahn AG

Planning and construction management
Grimselbahn AG

Key data

Construction time:	7 years
Construction costs for the tunnel:	CHF 495 million, excl. railway equipment and extra high Voltage cable
Total length:	23 km
Excavation cross-section:	total of both tubes approx. 39 m²

Special features
Multifunctional infrastructure for railway and extra-high voltage cable line

Daniel Salzmann, dipl. Ing. ETH, SIA, MBA, SBB, Infrastruktur, Zürich/CH

Bahnausbau in der Region Zürich

Die SBB baut drei neue Tunnel

Für den Grossraum Zürich weisen die Prognosen bis 2050 eine um 30 % steigende Nachfrage im Bahnverkehr aus. Zur Bewältigung dieser Verkehrszunahme werden im Ausbauschritt 2035 die drei Grossprojekte Zimmerberg-Basistunnel 2, Ausbau Zürich Stadelhofen sowie MehrSpur Zürich – Winterthur für rund fünf Milliarden Schweizer Franken realisiert.

Railway work in the Zürich region

The SBB is building three new tunnels

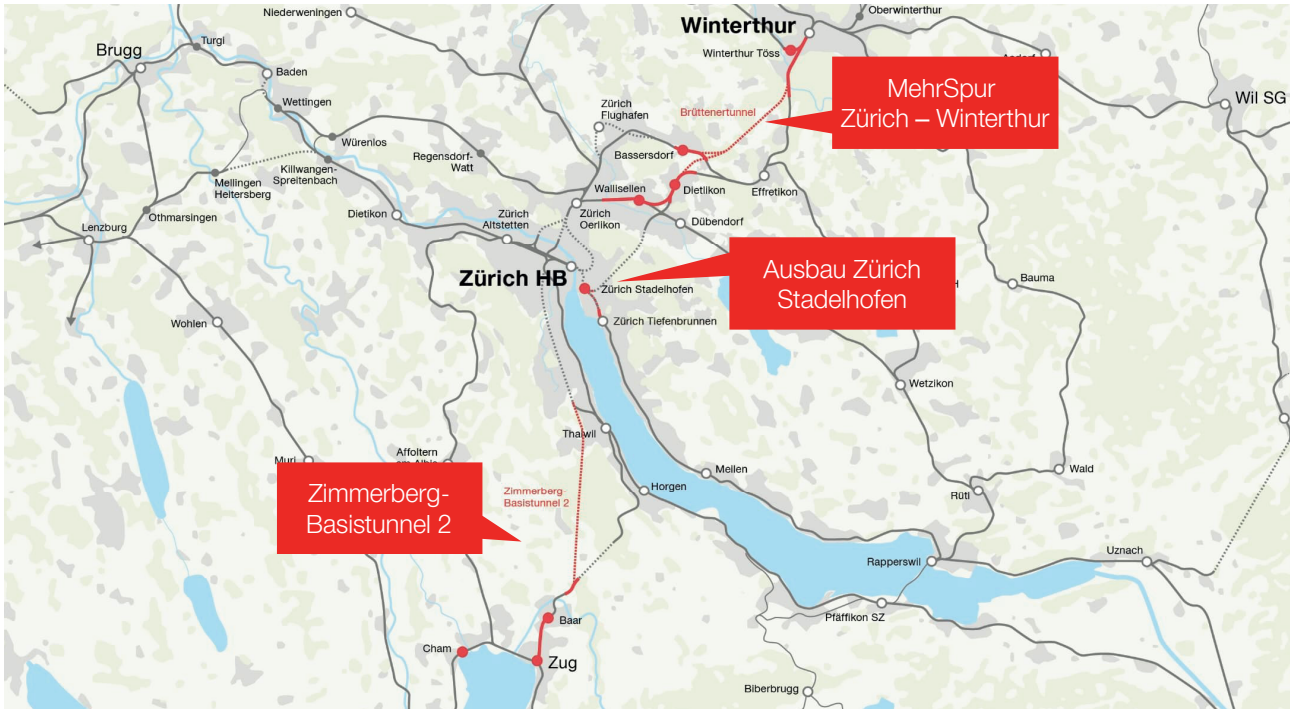
Projections for the greater Zürich area indicate a 30 % increase in demand for rail transport by 2050. In order to cope with this increase in traffic, three major projects – Zimmerberg Base Tunnel 2, Zürich Stadelhofen Expansion and Zürich – Winterthur Multitrack Expansion – will be implemented in the 2035 expansion phase at a cost of around five billion Swiss francs.

1 Ausbauschritt 2035

Um die wachsende Nachfrage im Schienenverkehr zu bewältigen, beabsichtigt der Bund mit dem Ausbauschritt 2035 einen weiteren Ausbau des Schweizer Bahnnetzes. Der prognostizierten Nachfrage wurde ein entsprechendes Angebot hinterlegt. Zur Umsetzung dieses Angebots sind Ausbauten

1 Project development until 2035

In order to cope with the growing demand for rail transport, the Swiss federal government intends to further expand the Swiss rail network via a 2035 rail expansion project. The forecast demand has been met with a corresponding offer. In order to implement this offer, it is necessary to expand



Quelle/credit: SBB

1 Drei Grossprojekte im Raum Zürich bringen mehr Kapazität und Stabilität im Bahnverkehr.
Three major projects in the Zürich area will bring more capacity and stability to rail traffic

Extension du réseau ferroviaire dans la région de Zurich

Les CFF construisent trois nouveaux tunnels

Pour l'agglomération de Zurich, les prévisions indiquent une augmentation de 30 % de la demande de transport ferroviaire d'ici à 2050. Pour faire face à cette augmentation du trafic, les trois grands projets – Tunnel de base du Zimmerberg 2, Aménagement de Zurich Stadelhofen et Tunnel de Brütten entre Zurich et Winterthour (allem.: MehrSpur) – seront réalisés dans l'étape d'aménagement 2035, pour un coût d'environ cinq milliards de francs suisses. La coopération en partenariat entre tous les participants et l'établissement d'une large acceptation des projets par toutes les parties concernées sont les conditions préalables à la mise en œuvre réussie de ces grands projets et à la résolution de tous les défis associés.

Ampliamento del sistema ferroviario nella regione di Zurigo

Le FFS costruiscono tre nuove gallerie

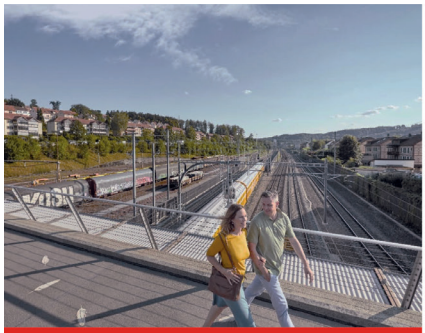
I pronostici suggeriscono un aumento del 30 % per il traffico ferroviario nell'area metropolitana di Zurigo entro il 2050. Per rimediare a questo incremento del traffico, nella fase di ampliamento 2035 vengono realizzati per un costo di circa 5 miliardi di franchi svizzeri tre grandi progetti: galleria di base dello Zimmerberg II, ampliamento di Zurigo Stadelhofen e collegamento a varie corsie Zürich-Winterthur. La collaborazione tra tutte le parti coinvolte e la creazione di un largo consenso sul progetto da parte di tutti gli Stakeholders sono i prerequisiti per il successo di questi grandi progetti e per il superamento di tutte le sfide che essi implicano.

der Bahninfrastruktur erforderlich, welche in den kommenden 15 Jahren realisiert werden sollen. Mit der Botschaft zum Ausbauschritt 2035 hat das Parlament ein Paket mit Massnahmen für insgesamt 12.89 Milliarden Schweizer Franken genehmigt.

Für den Bahnverkehr im Grossraum Zürich gehen die Prognosen bis 2050 von einem Wachstum der Nachfrage von 30 % aus. Zur Bewältigung dieser Verkehrszunahme werden im Ausbauschritt 2035 im Raum Zürich unter anderem drei Grossprojekte realisiert (Bild 1 und Bild 2). Diese beseitigen kritische Engpässe im Bahnnetz, welche aktuell sowohl die Kapazität limitieren als auch die Fahrplanstabilität beeinträchtigen. Mit dem Zimmerberg-Basistunnel 2 werden die beiden Ein-

railway infrastructure, which will be realised in the next 15 years. With the confirmation of the 2035 expansion stage, parliament approved a comprehensive development programme for a total of 12.89 billion Swiss francs.

For rail traffic in the greater Zürich area, forecasts assume a 30 % increase in demand by 2050. In order to cope with this increase, three major projects will be implemented in the Zürich area in the 2035 rail expansion phase (Fig. 1 and Fig. 2). These projects will eliminate critical congestion in the railway network, which currently limits both capacity and scheduling stability. With the Zimmerberg Base Tunnel 2, the two single-track sections between Horgen Oberdorf and Litti on the Zürich-Zug axis will be supplemented by a new



MehrSpur Zürich – Winterthur
- Kosten rund CHF 2.9 Mrd.
- Bauzeit 10 Jahre
- Brüttenertunnel: 9 km
- Länge Ausbaustrecke: 30 km

Ausbau Zürich Stadelhofen
- Kosten rund CHF 1.1 Mrd.
- Bauzeit 10 Jahre
- Länge Tunnelausbau: 3 km
- Ausbau Bahnhof Stadelhofen

Zimmerberg-Basistunnel 2
- Kosten rund. CHF 1.6 Mrd.
- Bauzeit 9 Jahre
- Zimmerberg-Basistunnel 2: 11 km
- Länge Ausbaustrecke: 20 km

Quelle/credit: SBB

2 Tunnelbauten ermöglichen den Ausbau des Bahnnetzes.
Tunnels help expand railway networks

spurabschnitte zwischen Horgen Oberdorf und Litti auf der Achse Zürich–Zug durch eine neue Doppelspur ergänzt. Diese wird in zwei 10.8 Kilometer langen Einspurröhren geführt. Der Zimmerberg-Basistunnel 2 – zusammen mit einem ebenfalls zu realisierenden dritten Gleis zwischen Baar und Zug sowie Ausbauten in Cham und Rotkreuz – ermöglicht neben dem Fahrzeitgewinn einen Angebotsausbau im Fernverkehr zwischen Zürich und der Zentralschweiz (Viertelstunden-Takt) sowie dem Tessin (Halbstunden-Takt). Im Bahnhof Zürich Stadelhofen wird ein viertes Perrongleis erstellt und ein zweiter Tunnel nach Tiefenbrunnen ausgebrochen. Damit wird mit 32 Trassen je Stunde und Richtung eine durchgängige Leistungsfähigkeit der Hauptachse der S-Bahn Zürich zwischen Zürich Hardbrücke und Zürich Stadelhofen geschaffen. Im Projekt MehrSpur Zürich – Winterthur realisiert die SBB zwischen Wallisellen/Dietlikon sowie Bassersdorf und Winterthur eine zusätzliche Doppelspur, die durch den neuen Brüttenertunnel führt. Die Kapazität der Strecke zwischen Zürich und Winterthur steigt damit von 670 auf 900 Züge pro Tag. Die beiden Projekte Ausbau Bahnhof Zürich Stadelhofen und MehrSpur Zürich – Winterthur ermöglichen auf der Achse Zürich – Winterthur und darüber hinaus in die Nordostschweiz einen wesentlichen Angebotsausbau, sowohl des nationalen Fernverkehrs als auch der Zürcher S-Bahn. Der Güterverkehr profitiert von einem höheren Trassenangebot: zweimal stündlich Richtung Gossau und zweimal Richtung Romanshorn ab und nach Rangierbahnhof Limmattal.

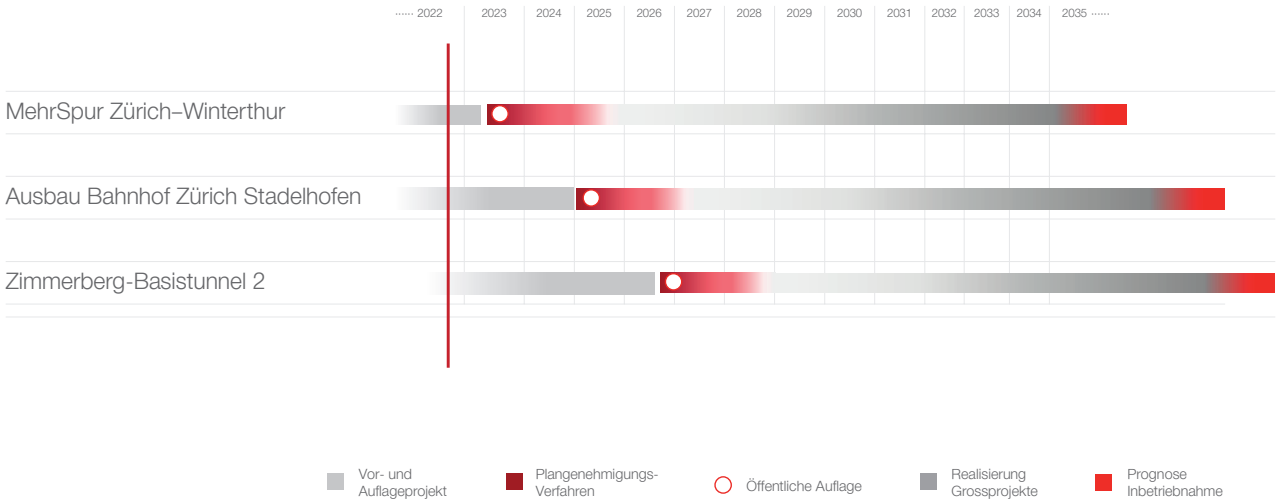
2 Projektorganisation

Das BAV hat die SBB mit der Realisierung der drei Grossprojekte beauftragt. Die Kosten für alle drei Projekte werden auf rund 5 Milliarden Schweizer Franken veranschlagt, Preisbasis 2018. Der Realisierungszeitraum beträgt rund 10 Jahre. Aktuell befinden sich die Vorhaben in den Phasen Vorprojekt (Zimmerberg), Auflageprojekt (Stadelhofen) und öffentliche Auflage (MehrSpur) (Bild 3).

double track. This will be routed through two 10.8 km long single-track tubes. The Zimmerberg Base Tunnel 2 – together with a third track between Baar and Zug, which will also soon be built, as well as extensions in Cham and Rotkreuz – will not only save travel time, but will also increase long-distance services between Zürich and Central Switzerland (quarter-hourly intervals) and Ticino (half-hourly intervals). A fourth platform track will be built at the Zürich Stadelhofen station and a second tunnel to Tiefenbrunnen will be excavated. With 32 train lines per hour travelling in each direction, this will create continuous capacity on the main Zürich S-Bahn axis between Zürich Hardbrücke and Zürich Stadelhofen. In the "Zürich – Winterthur Multitrack" project, the Swiss Federal Railway (SBB) will construct an additional double track between Wallisellen/Dietlikon and Bassersdorf and Winterthur, which will run through the new Brüttener Tunnel. The capacity of the line between Zürich and Winterthur will thus increase from 670 to 900 trains per day. The two projects "Zürich Stadelhofen Station Expansion" and "Zürich – Winterthur Multitrack" will enable substantial expansion of services on the Zürich – Winterthur axis and further into north-eastern Switzerland, both for national long-distance traffic and for Zürich's S-Bahn. Freight traffic will also benefit from a higher number of train routes – twice an hour in the direction of Gossau and twice an hour in the direction of Romanshorn from and to the Limmattal marshalling yard.

2 Project organisation

The FOT (Federal Office of Transport) has commissioned the SBB to implement these three major projects. The costs for all three projects are estimated at around 5 billion Swiss francs, based on 2018 prices. The implementation timeframe is around 10 years. The projects are currently in the preliminary project phase (Zimmerberg), the project planning phase (Stadelhofen) and the public launch phase (Multitrack) (Fig. 3). The SBB has set up its own project organisa-



Quelle/credit: SBB

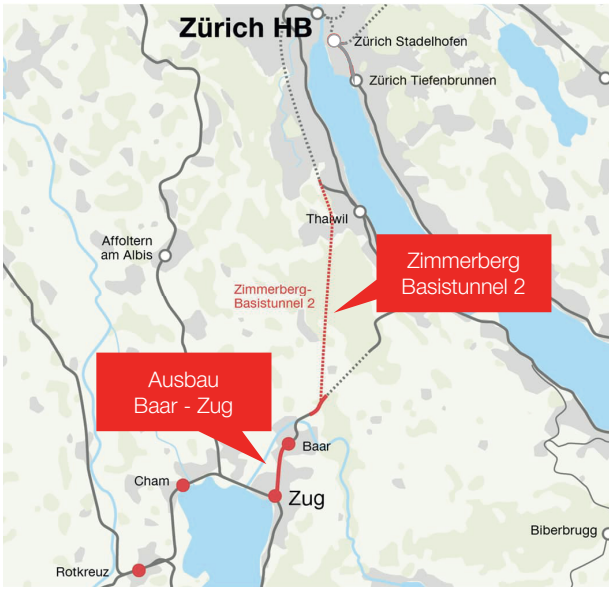
3 *Risikobasierte, rollende Planung der Grossprojekte.*
Risk-based, large-scale project planning on a rolling basis

Die SBB hat eine eigenständige Projektorganisation gebildet, welche die drei Grossprojekte gemäss den Vorgaben des BAV kosten- und termingerecht projektieren und realisieren soll. Die Projektorganisation stellt zudem sicher, dass die umfangreichen Bauarbeiten optimal aufeinander abgestimmt werden. Damit soll jederzeit ausreichend Kapazität im Bahnnetz vorhanden sein, um den laufenden Bahnbetrieb stabil und zuverlässig abzuwickeln. Schliesslich sorgt die Projektorganisation dafür, dass die neu erstellten Anlagen in das Bahnsystem integriert werden und dass die Organisation der SBB bis zur Inbetriebnahme der Anlagen bereit ist, das erweiterte Angebot zuverlässig zu produzieren. Die Betriebsorganisationen von Personen- und Güterverkehr, Angebotsplanung, Betriebsführung, Intervention und Unterhalt der SBB sind deshalb in die Projektorganisation eingebunden.

3 Organisatorische, betriebliche und technische Herausforderungen

3.1 Zimmerberg-Basistunnel 2

Der bestehende Doppelspurtunnel Zürich – Thalwil wird um zwei je 10.8 km lange Einspurröhren bis ins Zugerland verlängert (Bild 4). Für den Anschluss an den bestehenden Tunnel kann das seinerzeit erstellte Anschlussbauwerk genutzt werden. Das Südportal des neuen Tunnels kommt vor Baar in der Litti zu liegen. Die Fernverkehrszüge zwischen Zürich und Luzern sowie ins Tessin werden künftig Thalwil im Tunnel umfahren und dadurch mehrere Minuten Fahrzeit gewinnen. Die bestehende Strecke von Horgen Oberdorf nach Baar mit den beiden Einspurtunnels Zimmerberg und Albis wird für den Regionalverkehr und bei Unterhaltsarbeiten im Basistunnel weiter genutzt.



4 Ausbauten Kanton Zug und Zimmerberg-Basistunnel 2 verbessern das Angebot Zürich – Luzern.

Zug cantonal extensions and the Zimmerberg Base Tunnel 2 enhance Zürich – Lucerne train services

tion to plan and implement these three major projects in accordance with the FOT's specifications, both in terms of costs and deadlines. The project organisation ensures that the extensive construction work is coordinated in the best possible way. This should ensure that there is sufficient capacity in the railway network at all times to handle ongoing railway operations in a stable and reliable manner. Finally, the project organisation ensures that the newly constructed facilities are integrated into the railway system and that the SBB is able to reliably provide the expanded service until the facilities are put into operation. Operational organisations relating to passenger and freight traffic, service planning, operations management, intervention and maintaining the SBB are therefore integrated into the project organisation.

3 Organisational, operational and technical challenges

3.1 Zimmerberg Base Tunnel 2

The existing Zürich – Thalwil double-track tunnel will be extended by two 10.8-km-long single-track tubes in the direction of Zugerland (Fig. 4). The original connecting structure can be used to connect to the existing tunnel. The new tunnel's southern portal will be located in Litti, just outside Baar. Long-distance trains between Zürich and Lucerne, as well as to Ticino, will bypass Thalwil in the tunnel in the future, saving several minutes of travel time. The existing line from Horgen Oberdorf to Baar with the two Zimmerberg and Albis single-track tunnels will continue to be used for regional traffic and during maintenance work in the base tunnel.

The two Zimmerberg Base Tunnel 2 tubes (Fig. 5) will be mechanically excavated from the south. Most of them are located in the upper freshwater moraine, which is a well-known area from other projects; this means that no major difficulties are expected during excavation. Around 2 million cubic metres of excavated material will be produced at the south portal. This material will be deposited on site to avoid transport to landfills and to save costs. Terrain modelling combined with covering sections of the motorway is planned. The spatial planning specifications for this project are already being made with the federal government and the cantons before starting the plan approval procedure. According to the current assessment, construction of the Zimmerberg Base Tunnel 2 is a manageable, clearly defined and rather low-risk project. The SBB will therefore also examine alternative contract models (GU+ or TU) for the realisation of the tunnel and, if necessary, tender the overall performance on the basis of the preliminary project.

With the commissioning of the Zimmerberg Base Tunnel 2, the double-track tunnel, which was built in the 1990s, will become part of a new tunnel system almost 20 km in length – with a connection in Thalwil. Accordingly, the operation, maintenance and emergency concepts will also have to be revised in accordance with the specifications that

Die beiden Röhren des Zimmerberg-Basistunnels 2 (Bild 5) werden maschinell von Süden aufgefahren. Sie liegen zum grössten Teil in der aus anderen Vorhaben gut bekannten oberen Süsswassermolasse, sodass beim Vortrieb keine grösseren Schwierigkeiten erwartet werden. Am Südportal fallen rund 2 Millionen Kubikmeter Ausbruchmaterial an. Diese sollen vor Ort abgelagert werden, um Transportwege in Deponien zu vermeiden und Kosten zu sparen. Vorgesehen ist eine Geländemodellierung, verbunden mit einer abschnittsweisen Überdeckung der Autobahn. Die raumplanerischen Festlegungen dazu erfolgen mit dem Bund und den Kantonen bereits vor dem Start des Plangenehmigungsverfahrens. Gemäss der aktuellen Einschätzung ist der Bau des Zimmerberg-Basistunnels 2 ein überschaubares, klar definiertes und eher risikoarmes Vorhaben. Die SBB wird deshalb für die Realisierung des Tunnels auch alternative Vergabemodelle (GU+ oder TU) prüfen und gegebenenfalls bereits basierend auf dem Vorprojekt die Gesamtleistung ausschreiben.

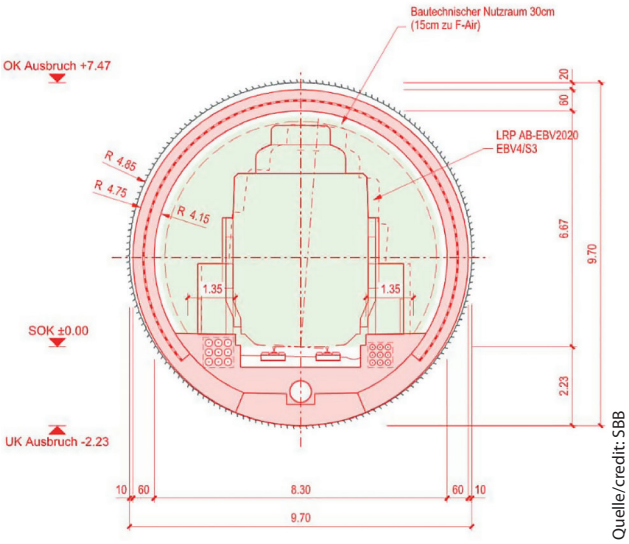
Mit der Inbetriebnahme des Zimmerberg-Basistunnels 2 wird der in den 1990er-Jahren erstellte Doppelspurtunnel Teil eines neuen Tunnelsystems von knapp 20 km Länge und mit einem Anschluss in Thalwil. Entsprechend sind auch die Betriebs-, Unterhalts- und Interventionskonzepte neu und gemäss den künftig geltenden Vorgaben zu überarbeiten. Während der bestehende Doppelspurtunnel über drei Rettungsschächte in Abständen zwischen 2 und 3 km verfügt, wird der neue Tunnel in zwei Einspurröhren realisiert mit Querschlägen alle 500 m für Intervention und Rettung. Da die Länge zwischen den Portalen Zürich und Litti unter 20 km bleibt, kann nach heutigem Wissensstand auf eine Nothaltestelle im Tunnel verzichtet werden. An den Portalen sind jedoch Einrichtungen für die Intervention und Evakuation erforderlich.

3.2 Ausbau Zürich Stadelhofen

Der Zürich Stadelhofen ist Teil der zweigleisigen Stammlinie der S-Bahn Zürich (Bild 6). Während die Bahnhöfe Zürich Hardbrücke und Zürich Museumstrasse viergleisig ausgebaut sind, weist der Bahnhof Zürich Stadelhofen heute nur drei Perrongleise auf. Zudem ist die anschliessende Strecke in Richtung Tiefenbrunnen–Meilen mit dem Riesbachtunnel nur eingleisig ausgebaut. Damit stellt der Bahnhof Zürich Stadelhofen einen massgebenden Engpass im Zürcher S-Bahn-Netz dar und muss für einen weiteren Ausbau des Angebots erweitert werden.

Das vierte Gleis wird in einer 320 m langen und 14 m breiten Perronhalle 40 m abgesetzt im Berg realisiert und über mehrere Durchgänge aus der bestehenden Unterführung erschlossen. Das Projekt ist als Sieger aus einem Wettbewerb hervorgegangen (Bild 7). Diese Lösung bedingt nur geringe Eingriffe in die bestehende Bausubstanz des Bahnhofs Zürich Stadelhofen und ermöglicht den Bau weitgehend ausserhalb des Publikumsbereichs. Das neue Perrongleis wird beidseitig in den bestehenden Doppelspurtunnel eingebunden; Seite Zürich in den Hirschengrabentunnel und Seite Stettbach in

will apply in the future. While the existing double-track tunnel has three emergency exits at intervals of between 2 and 3 km, the new tunnel will be built in two single-track tubes with cross-passages every 500 m for emergency intervention and rescue options. Because the length between the Zürich and Litti portals is less than 20 km, an emergency station in the tunnel can be omitted according to the current information and standards at hand. However, facilities for emergency intervention and evacuation are required at the portal entrances.



Quelle/credit: SBB

5 *Einspurtunnel, im TBM-Vortrieb erstellt und zweischalig ausgebaut.*
Single-track, double lined tunnel constructed using TBM

3.2 Zürich Stadelhofen expansion

The Zürich Stadelhofen is part of the double-track Zürich S-Bahn main line (Fig. 6). While the Zürich Hardbrücke and Zürich Museumstrasse stations have four tracks, the current Zürich Stadelhofen station only has three platform tracks. In addition, the connecting line in the direction of Tiefenbrunnen-Meilen, with the Riesbach tunnel, is only a single-track. This means that the Zürich Stadelhofen station is a significant bottleneck in the Zürich S-Bahn network and must be expanded in order to further develop the service.

The fourth track will be constructed in a 320-m-long and 14-m-wide train station platform hall 40 m down the mountain and will be accessible via several passages from the existing underground passage. The project was selected through a competition (Fig. 7). It only requires minor interventions in the existing structure of the Zürich Stadelhofen station and enables construction to take place largely outside the public area. The new platform track will be integrated into the existing double-track tunnel on both sides: on the Zürich side into the Hirschengraben tunnel and on the Stettbach side into the Zürichberg tunnel. The second Riesbach tunnel, which is also part of the project, leads from the junction structure east of the platform hall to Tiefenbrunnen.

Quelle/credit: SBB

6 *Steigerung der Kapazität durch den Ausbau Zürich Stadelhofen und einer Doppelspur.*
Increased capacity due to extending the Zürich Stadelhofen and building a double track

den Zürichbergtunnel. Der zweite Riesbachtunnel, welcher ebenfalls Teil des Projektes ist, führt vom Verzweigungsbauwerk östlich der Perronhalle nach Tiefenbrunnen. Für das vierte Gleis wird eine Tunnellänge von insgesamt 3.1 km ausgebrochen. Dadurch wird ein neues, zusammenhängendes Tunnelsystem von 11.6 km Gesamtlänge geschaffen, welches vom Bahnhof Museumstrasse nach Stettbach und Tiefenbrunnen reicht.

In bautechnischer Hinsicht ist das Projekt Ausbau Bahnhof Zürich Stadelhofen sehr anspruchsvoll. Das Normalprofil des rund 330 m langen Tunnels zur Aufnahme des neuen 4. Gleises inklusive des Perrons hat eine Ausbruchsfläche von ca. 170 m^2. Die Baulogistik erfolgt über zwei südlich und nördlich des Bahnhofs liegende Bauschächte. Zur Erstellung der neuen unterirdischen Anlagen inklusive der Zugänge zum 4. Gleis müssen vorgängig rund 250 Anker der Rückwand hinter dem heutigen Gleis 3 neu gesetzt werden. Um im glazial vorbelasteten Lockergestein Setzungen zu vermeiden, sind umfassende Bauhilfsmassnahmen zu treffen. Aus bahnbetrieblicher Sicht sind die beiden

A total tunnel length of 3.1 km will be excavated for the fourth track. This will create a new, coherent tunnel system with a total length of 11.6 km – extending from Museumstrasse station to Stettbach and Tiefenbrunnen.

From a structural engineering point of view, the "Zürich Stadelhofen station extension" project is very demanding. The standard profile of the approximately 330-m-long tunnel designed to accommodate the new fourth track, including the passenger platform, has an excavation area of approximately 170 m^2. The construction logistics are carried out via two construction chambers located north and south of the station.

Quelle/credit: SBB

7 *Bahnhof Zürich Stadelhofen, neue Perronhalle Gleis 4.*
The Zürich Stadelhofen station, new platform hall, platform 4

Anschlussbauwerke an die bestehenden Doppelspurröhren und der Doppelspurausbau im Einschnitt Tiefenbrunnen die Schlüsselobjekte. Betriebseinschränkungen auf der Stammlinie der S-Bahn Zürich zwischen den Bahnhöfen Museumstrasse und Stettbach sind nur nachts oder an wenigen Wochenenden möglich. Im Bereich der Verzweigungsbauwerke wird deshalb zuerst im Doppelspurtunnel ein Schutztunnel eingebaut. Der Ausbruch der Verzweigungskaverne erfolgt aus rückwertigen Erschliessungsstollen um den bestehenden Tunnel herum. Erst wenn die Kaverne vollständig gesichert und ausgebaut ist, wird das alte Tunnelgewölbe abgebrochen, der Schutztunnel ausgebaut und die Anschlussweiche eingebaut.

Neben den bautechnischen Herausforderungen prägen auch die innerstädtischen Randbedingungen das Projekt. Die Zugänge zu den Untertagbaustellen erfolgen vorwiegend über zwei grosse Bauschächte sowie über den vom Portal startenden Vortrieb des Riesbachtunnels in Tiefenbrunnen. Die Entsorgung des Ausbruchmaterials erfolgt über den Bahnhof Tiefenbrunnen. Dieses wird entweder mit der Bahn Richtung Rapperswil weggeführt oder kann allenfalls zur Schaffung neuer Flachwasserzonen im Uferbereich des Zürichsees verwendet werden. Da die Untertagbauwerke wenig Überdeckung aufweisen, sind auch die darüber liegenden Liegenschaften in vielfältiger Weise betroffen: Abtreten von Rechten, Konflikte mit Erdsonden, Erschütterungen oder Setzungen. Zusammen mit den betroffenen Eigentümerinnen und Eigentümern sowie den Anwohnenden versucht die SBB, Lösungen zu finden, welche minimale Emissionen aufweisen und eine maximale Akzeptanz finden.

3.3 MehrSpur Zürich – Winterthur

Mit dem Projekt MehrSpur Zürich – Winterthur, Bahnausbau via Brüttenertunnel, planen der Bund und die SBB eine neue Doppelspurlinie durch den Brüttenertunnel und den Ausbau der Bahnhöfe Dietlikon, Bassersdorf, Wallisellen und Winterthur Töss. Damit kann der heutige Engpass im Bahnnetz zwischen Zürich und Winterthur behoben und der notwendige Angebotsausbau realisiert werden.

Der Brüttenertunnel ist als Y konzipiert mit einem Portal auf der Seite Winterthur, dem unterirdischen Verzweigungsbauwerk „Mülberg“ und zwei Portalen auf der Seite Zürich. Die Tunnellänge beträgt 8.3 km zwischen den Portalen Dietlikon und Winterthur, der Ast Richtung Bassersdorf misst zusätzliche 0.9 km. Als Querschnitt hat das Projektteam zwei Einspurröhren gewählt, sodass sich eine Gesamttunnellänge von 18.4 km ergibt. Der Ausbruch des Tunnels vom Portal Dietlikon aus erfolgt voraussichtlich mittels einer Tunnelbohrmaschine mit einem Durchmesser von rund 10 m. Anschliessend erfolgt der Einbau von Beton-Tübbingen, einer vollflächigen Abdichtung und der Beton-Innenschale. Die beiden Tunnelröhren weisen einen Abstand von rund 20 m auf und sind alle 500 m über Querschläge miteinander verbunden. An die Querschläge schliessen Technikräume an, in

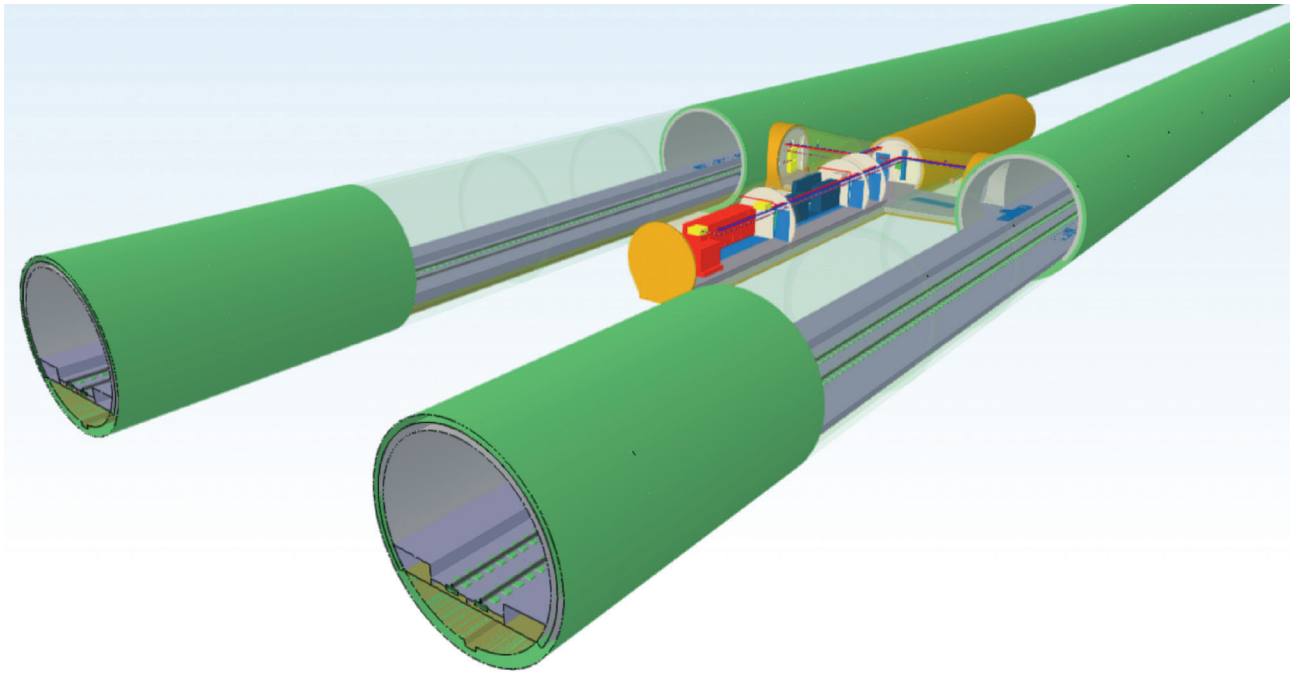
In order to construct the new underground facilities, including access to the fourth track, around 250 rear wall anchor bolts behind the current track 3 must be re-drilled in advance. In order to avoid settlements in the relevant glacially pre-stressed loose rock, comprehensive construction support measures have to be taken. From the point of view of railway operations, the two structures connecting to the existing double-track tubes and the double-track extension in the excavated Tiefenbrunnen area are key elements. Operational restrictions on the Zürich S-Bahn main line between the Museumstrasse and Stettbach stations are only possible at night or on a few weekends. Therefore, in the tunnel junction area, a protective tunnel will first be installed inside the double-track tunnel. Excavation of the junction chamber will take place from back access tunnels around the existing tunnel. Only when the cavern is completely secured and removed will the old tunnel vault be demolished, the protective tunnel removed and the connecting switch installed.

In addition to the construction challenges, the project is also characterised by inner-city boundary conditions. Workers mainly access the underground construction sites via two large construction shafts and via the Riesbach tunnel excavation in Tiefenbrunnen, which starts from the portal. The excavated material is disposed of via the Tiefenbrunnen railway station. The material is either taken away by rail in the direction of Rapperswil, or it can be used to create new shallow water zones in the Zürich lakeshore area. Since the underground structures have minimal cover, the buildings and properties above them are also affected in a variety of ways: transfer of rights, conflicts with earth sensors, vibrations or sedimentation. Together with the affected owners and residents, the SBB is trying to find solutions that have minimum emissions and maximum public acceptance.

3.3 Zürich – Winterthur Multitrack project

With the project “Zürich – Winterthur Multitrack” project, the federal government and the SBB are planning a new double-track railway line through the Brüttener Tunnel and to expand the Dietlikon, Bassersdorf, Wallisellen and Winterthur Töss stations. This will make it possible to eliminate the current bottleneck in the rail network between Zürich and Winterthur and provide necessary service expansion.

The Brüttener Tunnel is designed in a Y shape with a portal on the Winterthur side, the underground Mülberg junction and two portals on the Zürich side. The tunnel is 8.3 km long between the Dietlikon and Winterthur portals, with the junction in the direction of Bassersdorf measuring an additional 0.9 km. The project team chose two single-track tubes as the cross-section, resulting in a total tunnel length of 18.4 km. Excavation of the tunnel from the Dietlikon portal will probably be carried out using a tunnel boring machine with a diameter of around 10 m. This will be followed by laying concrete segments, full-surface sealing and laying the concrete inner lining. The two tunnel tubes are about 20 m apart and are connected to each other every 500 m by cross passages.

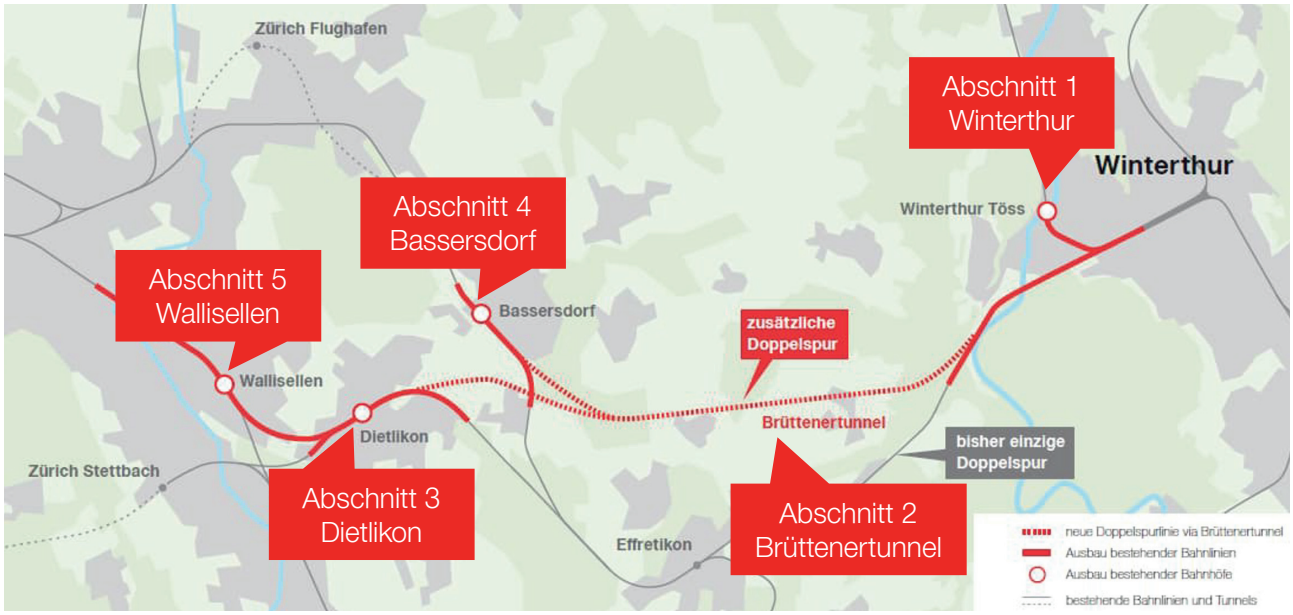


Quelle/credit: SBB

8 *Zwanzig Querverbindungen für die technischen Räume sowie als Fluchtweg.*
Twenty cross-connections used as technical rooms and escape route.

welchen die Stromversorgung und die Kommunikationseinrichtungen untergebracht sind. Im Ereignisfall dienen die Querschläge als Fluchtweg (Bild 8). Zur Versorgung des Tunnels (Lüftung, Strom, Telekom und Entwässerung) sowie als Zugang für das Erhaltungspersonal werden in Portalnähe drei unterirdische, mehrstöckige Bahntechnikgebäude angeordnet.

Technical rooms, in which the power supply and communication facilities are housed, are connected to the cross passages. In the event of an incident, the cross passages can serve as escape routes (Fig. 8). For the tunnel's supplies (ventilation, electricity, telecommunications and drainage) and as access for maintenance staff, three underground, multi-storey railway engineering buildings will be located near the portal.



Quelle/credit: SBB

9 *Notwendige Entlastung mit neuer Doppelspurlinie durch den Brüttenertunnel und Ausbau von vier Bahnhöfen.*
Necessary relief with new double-track lines through the Brüttener Tunnel and expansion of four stations

Der Perimeter des Projektes MehrSpur Zürich – Winterthur erstreckt sich weit über die Tunnelportale hinaus: von Oerlikon über Wallisellen und Dietlikon sowie von Kloten und Bassersdorf im Westen bis an den Perronanfang im Bahnhof Winterthur (Bild 9). Der Brüttenertunnel mit rund 9 km Länge macht damit nur rund ein Drittel der Gesamtlänge des Projektes von 30 km aus. Kostenmässig werden für das Tunnelbauwerk rund 40 % der Gesamtkosten des Projektes aufgewendet. Der grosse Projektperimeter ist erforderlich, um die Leistungsfähigkeit im Bahnnetz zwischen Zürich und Winterthur zu erhöhen und die Kapazität des neuen Doppelspurtunnels optimal zu nutzen. Insgesamt acht neue, niveaufreie Entflechtungsbauwerke wie Brücken oder Tunnel von 300 bis 700 m Länge sowie Überwerfungen an den Tunnelportalen ermöglichen die konfliktfreie Führung der diversen Fernverkehrs- und S-Bahn-Züge sowie des Güterverkehrs zwischen Zürich und Winterthur. Nebst der zusätzlichen Kapazität leisten die Entflechtungsbauwerke auch einen wesentlichen Beitrag zur Stabilität des Bahnbetriebs, indem sie potenzielle Abkreuzungskonflikte auflösen. Die Realisierung der Entflechtungsbauwerke bedingt wesentliche Änderungen der Gleistopologie im gesamten Projektperimeter, sodass die Bahnanlagen in Wallisellen, Dietlikon, Bassersdorf und Winterthur auf der Seite Zürich vollständig neu gebaut werden müssen. Dazu werden vier Stellwerke realisiert und 150 Weichen neu verlegt. Der Bau der neuen Anlagen unter Aufrechterhaltung des Bahnbetriebs stellt eine grosse Herausforderung dar und erfordert eine sorgfältige Planung und umfangreiche Sicherheitsmassnahmen. Die aktuelle Bauphasenplanung sieht rund 150 Bauphasen vor. Die Bahnangebote müssen während der Bauphasen aufrechterhalten werden, wobei ausgedünnte Fahrpläne in den Randstunden unumgänglich sein werden. Für grössere Umbauten sind auch Wochenendsperrungen oder längere Unterbrüche in den Sommerferien vorgesehen, wobei den Kundinnen und Kunden dann jeweils Ersatzangebote zur Verfügung stehen werden.

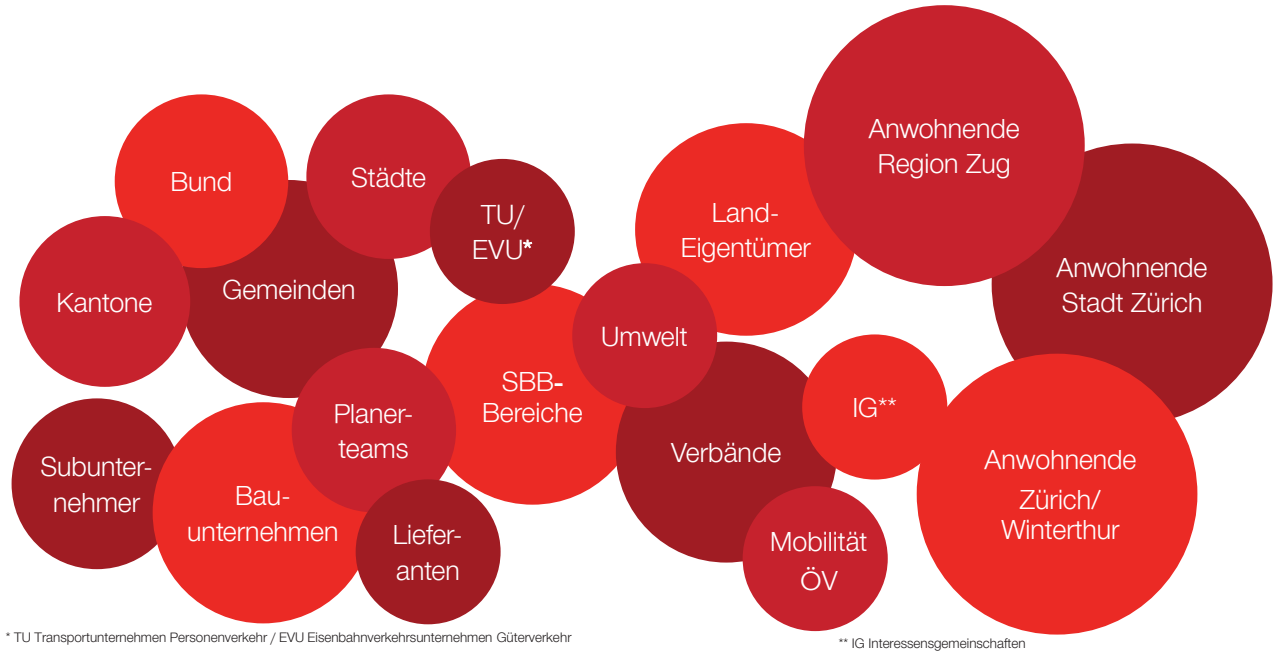
4 Fazit

Die Herausforderungen bei der Realisierung von Bahnausbauten sind gross und heterogen. Sie reichen von der technischen Lösungsfindung über die Beherrschung der Logistik und die Sicherstellung des laufenden Bahnbetriebs bis hin zur Erreichung der Akzeptanz des Projektes bei den Stakeholdern (Bild 10). Nur ein diverses und heterogenes Team von Planern, Unternehmern, Lieferanten, Partnern und Bauherrschaft, welches alle geforderten Kompetenzen abdeckt, auf das gemeinsame Ziel fokussiert ist und gegenseitige Interessen respektiert, kann es schaffen, komplexe Projekte erfolgreich zu realisieren.

The "Zürich – Winterthur Multitrack" project's perimeter extends far beyond just the tunnel portals. It stretches from Oerlikon via Wallisellen and Dietlikon and from Kloten and Bassersdorf in the west to the start of the platform at the Winterthur station (Fig. 9). The Brüttener Tunnel, with a length of about 9 km, therefore only accounts for about one third of the total length of the 30-km-long project. In terms of costs, about 40 % of the total project costs will be spent on the tunnel structure. The large project perimeter is necessary in order to increase the efficiency of the railway network between Zürich and Winterthur and to make the best possible use of the new double track tunnel's capacity. A total of eight new, grade-separated unbundling structures, such as bridges or tunnels of 300 to 700 m in length and overpasses at the tunnel portals, will enable conflict-free routing of various long-distance and suburban trains, as well as freight traffic between Zürich and Winterthur. In addition to the additional capacity, the unbundling structures will also make a significant contribution to the stability of rail operations by resolving potential crossing conflicts. Implementing the unbundling structures requires significant changes to the track's topology throughout the entire project area, which means the railway facilities in Wallisellen, Dietlikon, Bassersdorf and Winterthur on the Zürich side have to be completely rebuilt. Four signal boxes will be built and 150 new switches will be installed. Constructing the new facilities without interrupting rail operations is a major challenge and requires careful planning and extensive safety measures. Planning for the current construction phases foresees around 150 construction phases. The railway services must be maintained during the construction phases, with reduced train services in the off-peak hours being unavoidable. Weekend closures or longer disruptions during the summer holidays are also planned for major reconstruction work, when alternative services will be available to customers.

4 Conclusion

When it comes to expanding a railway, there are many different challenges that need to be met. They range from finding technical solutions to mastering logistics and ensuring ongoing railway operations to winning acceptance for the project among stakeholders and the public (Fig. 10). Only a diverse team of planners, contractors, suppliers, partners and clients, who cover all the required competences, are focused on the common goal and respect each other's interests, can successfully achieve such complex projects.



Quelle/credit: SBB

10 *Viele Projektbeteiligte erfordern hohen Abstimmungsbedarf.*
Many project stakeholders require a high degree of coordination

PROJEKTDATEN

Region
Grossraum Zürich

Bauherr, Projekt- und Oberbauleitung
SBB Infrastruktur, im Auftrag des Bundesamts für Verkehr

Kenndaten

Bauzeit:	rund 10 Jahre
Inbetriebnahme:	Mitte der 2030er-Jahre
Kosten:	rund CHF 5 Mrd. Preisbasis 2018

PROJECT DATA

Region
Greater Zürich Area

Contractor, project and superstructure management
SBB Infrastructure, on behalf of the Swiss Federal Office of Transport

Key dates

Construction time:	about 10 years
Operation:	mid-2030s
Costs:	about CHF 5 billion based on 2018 prices

Thomas Heid, dipl. Bauingenieur FH, EMBA FH, Marti Tunnel AG, Moosseedorf/CH

Innerstädtischer Kavernenausbruch beim Bahnhof Bern RBS

Erste Erfahrungen und Herausforderungen für den Unternehmer

Der erste „U-Bahnhof" der Schweiz wird durch einen neuen RBS-Bahnhof ersetzt. Die zwei neuen Bahnhofskavernen kommen unterhalb des bestehenden SBB-Bahnhofs zu liegen und werden über neue Zugänge mit dem SBB-Bahnhof erschlossen. Ein ambitioniertes Bauprogramm, komplexe Bauabläufe und sehr geringe Platzverhältnisse stellen eine grosse Herausforderung für die Unternehmung dar. Ein dauerndes Wechselspiel der Arbeiten und ausbleibende Routine sind die Hauptmerkmale dieser innerstädtischen Baustelle.

Caverns excavation in the city centre at Bern RBS railway station

First experiences and challenges for the contractor

Switzerland's first "metro" station will be replaced by a new RBS (Regional Rail Traffic, Bern-Solothurn) railway station. The two new station caverns are located below the existing SBB railway station and are connected to the SBB railway station via new access points. An ambitious construction programme, complex construction processes and very limited amounts of space represent major challenges for the construction company. A constant exchange between construction activities and a lack of routine are the main features of this construction site in the city centre.

1 Projektbeschrieb

1.1 Projekt „Zukunft Bahnhof Bern"

Unter dem Projektnamen „Zukunft Bahnhof Bern" wird der Bahnhof Bern für die Bedürfnisse und die Mobilität der Zukunft ausgebaut (Bild 1).

Die Hauptprojekte für den zukünftigen Bahnhof Bern sind die folgenden:

- neuer Bahnhof RBS: Bau einer neuen Zufahrtsstrecke und zweier Kavernen mit je zwei Gleisen für den neuen Tiefbahnhof,
- zusätzliche Unterführung mit neuen Zugängen im bestehenden SBB-Bahnhof: Neubau der Passage „Unterführung Mitte" mit Zugängen von der Länggasse und vom Bubenbergplatz her sowie Erschliessung des neuen RBS-Bahnhofs,
- zudem will die Stadt, abgestimmt auf den Ausbau des Bahnhofs, den Verkehr im Bahnhofsumfeld neu organisieren und gestalten.

Die Gesamtkosten vom Projekt „Zukunft Bahnhof Bern" belaufen sich auf rund 1.2 Milliarden Schweizer Franken.

Die Kosten für den neuen Bahnhof RBS belaufen sich auf rund 730 Millionen Schweizer Franken [1].

1 Project description

1.1 The "Future Bern Railway Station" project

Under the project name "Future Bern Railway Station", Berne railway station is being expanded to meet mobility needs of the future (Fig. 1).

The main projects for the Future Bern Railway Station are as follows:

- A new RBS railway station: Constructing a new access route and two caverns with two tracks each
- Additional underground passage with new access points in the existing SBB railway station: constructing the new "Mitte underpass" passage with access points from Länggasse and Bubenbergplatz as well as access to the new RBS railway station,
- in addition, the city wants to reorganise and redesign traffic around the railway station in coordination with its extension.

The total costs of the "Future Bern Railway Station" project amount to about 1.2 billion Swiss francs.

The costs for the new RBS railway station amount to around 730 million Swiss francs [1].

Creusement d'une caverne en centre-ville à la gare RBS de Berne

Premières expériences et défis pour l'entrepreneur

La première gare « souterraine » de Suisse sera remplacée par une nouvelle gare RBS. Les deux nouvelles cavernes de la gare seront situées sous la gare CFF existante et seront reliées à la gare CFF par de nouveaux accès. Le programme de construction ambitieux, les processus de construction complexes et l'espace très limité représentent un défi majeur pour l'entreprise. Succession variée de travaux et absence de routine sont les principales caractéristiques de ce chantier en centre-ville.

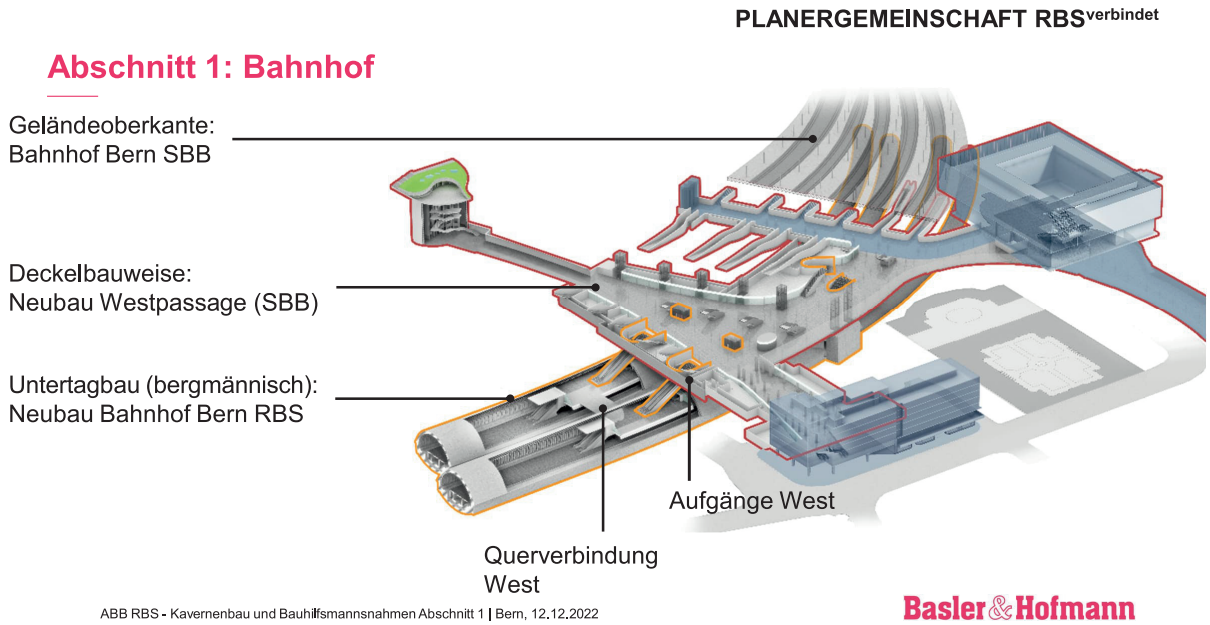
Scavo di caverne in centro città presso la stazione RBS di Berna

Prime esperienze e sfide per l'imprenditore

La prima "stazione della metropolitana" della Svizzera sarà sostituita da una nuova stazione RBS. Le due nuove caverne della stazione si troveranno al di sotto della stazione FFS esistente e saranno collegate con la stazione FFS da nuovi accessi. Un programma dei lavori ambizioso, il complessi processi costruttivi e le condizioni di spazio molto esiguo rappresentano una grande sfida per l'impresa. Le caratteristiche principali di questo cantiere in centro città sono un continuo gioco di alternanza tra i lavori e una mancanza di routine.

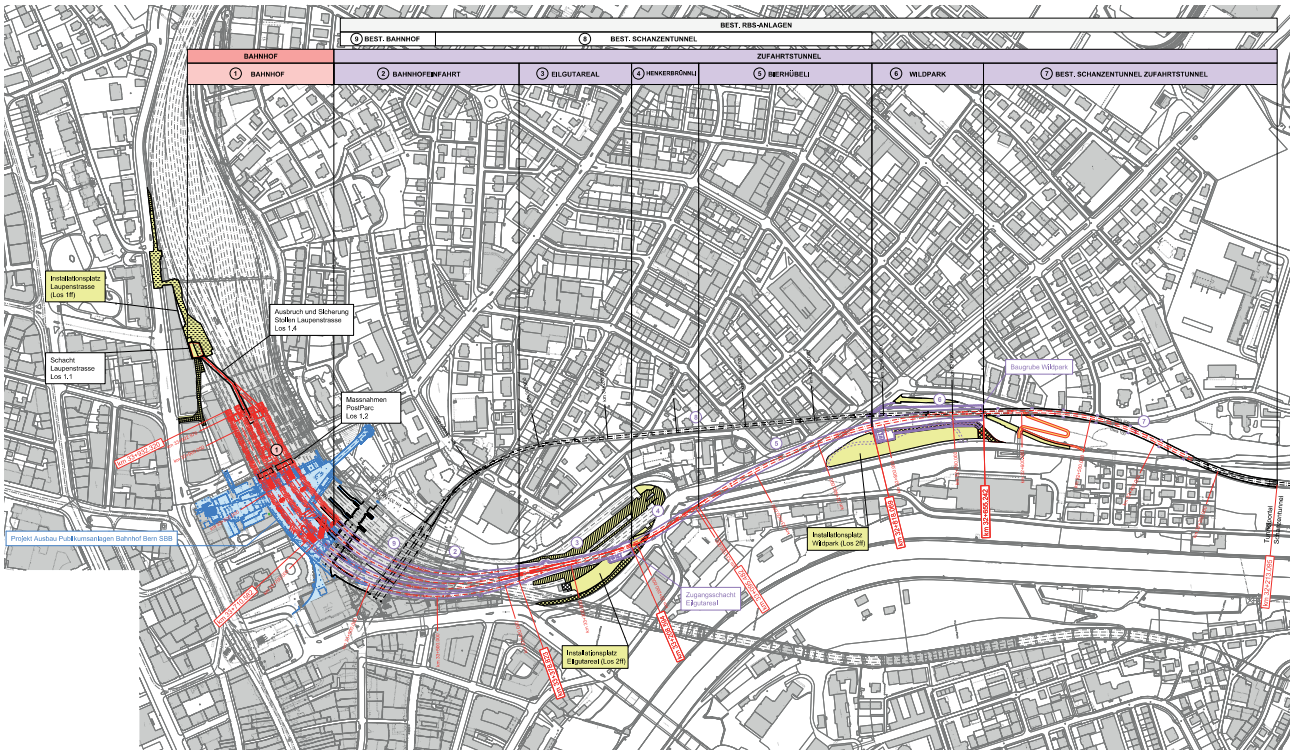
Das Projekt für die Zufahrt und den Neubau des RBS-Bahnhofs ist in mehrere Abschnitte gegliedert (Bild 2), wobei die zwei Lose 1.3 und 2.4 den Hauptanteil der gesamten Bauarbeiten ausführen. Während das Los 1.3 den Abschnitt 1 mit den beiden neuen Kavernen erstellt, werden mit dem Los 2.4 die Abschnitte 2 bis 7 ausgeführt, welche den neuen Zufahrtstunnel ab Wildpark, den Tagbautunnel in Deckelbauweise im Eilgut-Areal sowie die vier eingleisigen Zufahrtstunnel in die neuen Kavernen beinhalten. Der neue RBS-Bahnhof wird als Sackbahnhof ausgebildet.

The project to access and build the new RBS railway station is divided into several sections (Fig. 2), with Lots 1.3 and 2.4 bearing the bulk of the overall construction work. While Lot 1.3 will construct Section 1 with both new caverns, Lot 2.4 will construct Sections 2 to 7, which include the new access tunnel from Wildpark, the cut-and-cover tunnel using the top-down construction method in the Eilgut area, as well as the four single-track access tunnels into the new caverns. The new RBS railway station will be designed as a terminus train station.



Quelle/credit: Projektdokument Basler & Hofmann

1 Visualisierung „Zukunft Bahnhof Bern"
Visualisation of the "Future Bern Railway Station"



Quelle/credit: Projektdokumentation Plan VB 12 Nr. 1.3.1.0_10

2 *Übersicht Gesamtprojekt, unterteilt in Abschnitte*
Overview of the overall project, divided into sections

1.2 Los 1.3

Der Bau der beiden neuen Kavernen bildet das Herzstück des neuen Bahnhofs RBS. Die zwei parallel laufenden Bahnhofskavernen sind 199 m respektive 209 m lang und weisen eine Breite von 23.8 m und eine Höhe von 17 m auf. Ein Mittelperron, mit einer Breite von 12 m, mit zwei aussen liegenden Gleisen pro Halle, wird die erhoffte Leistungsfähigkeit und die Sicherheit und den Komfort für die Bahnkunden erbringen (Bild 3).

Die beiden Kavernen sind im Betriebszustand über zwei Quertunnel auf der Verteilebene miteinander verbunden.

Quelle/credit: https://www.zukunftbahnhofbern.ch/de/das-projekt/uebersicht/#der-neue-rbs-bahnhof

3 *Visualisierung neuer RBS-Bahnhof Bern*
Visualisation of the new RBS railway station in Bern

1.2 Lot 1.3

Constructing the two new caverns is the centrepiece of the new RBS railway station. The two parallel station caverns are 199 m and 209 m long and have a width of 23.8 m and a height of 17 m respectively. A central platform, with a width of 12 m, with two lateral side tracks per hall, will provide the expected service, safety and comfort for rail customers (Fig. 3).

When in operation, the two caverns will be connected to each other via two cross tunnels on the distribution level. Various stairways, connections and lift shafts will later form the access points from the SBB railway station to the new RBS railway station.

The two caverns are located below tracks 1 to 8 of the SBB railway station and pass under existing engineering structures such as the Schanzen Bridge and the PostParc.

As part of a preliminary lot, the Laupenstrasse platform was built above the previously constructed Laupenstrasse shaft. This serves as an installation site (Fig. 4) and sole access for construction activities of Lot 1.3. The installation site can be accessed via Laupenstrasse using a ramp and is located above the SBB tracks between Welle 7 and Fruchthof.

Lot 1.3 was preceded by the two preliminary lots for the Laupenstrasse shaft and the Laupenstrasse access tunnel. During the realisation of Lot 1.3, interfaces concerning the connection of the four single-track access tunnels were designed.

Verschiedene Aufgänge, Verbindungen und Liftschächte bilden später die Zugänge vom SBB-Bahnhof zum neuen RBS-Bahnhof.

Die beiden Kavernen liegen unterhalb der Gleise 1 bis 8 des SBB-Bahnhofs und unterqueren bestehende Kunstbauten wie die Schanzenbrücke und den PostParc.

Im Rahmen eines Vorloses wurde die Plattform Laupenstrasse oberhalb des vorgängig erstellten Schachts Laupenstrasse errichtet. Diese dient als Installationsplatz (Bild 4) und alleiniger Zugang für die Erstellung des Bauloses 1.3. Über die Laupenstrasse via Rampe ist der Installationsplatz erschlossen und befindet sich oberhalb der SBB-Gleise zwischen Welle 7 und Fruchthof.

Dem Los 1.3 gingen die beiden Vorlose Schacht Laupenstrasse sowie Zugangsstollen Laupenstrasse voran. Während der Realisierung des Loses 1.3 gibt es Schnittstellen, betreffend der Anbindung der vier eingleisigen Zufahrtstunnel.

Der neue Sackbahnhof beinhaltet zudem die Erstellung von je zwei 10 m langen Einspurtunnels an beiden Westenden der Bahnhofskavernen zur Gewährleistung der Realisierung einer allfälligen späteren Erweiterung. Die Querschnitte dieser Stollen werden analog den Zufahrtstunnels im Abschnitt 2 ausgeführt.

1.3 Projektorganisation

Das Gesamtprojekt ist durch SBB, RBS und Stadt Bern initiiert. Finanziert wird es über Bund, Kanton Bern und Stadt Bern.

Bauherr und Oberbauleiter für das Los 1.3 ist der RBS. Als Gesamtplaner und örtliche Bauleitung ist die Planergemeinschaft RBSverbindet, bestehend aus Basler & Hofmann AG, Emch+Berger AG (Bern) und B+S AG (Bern), beauftragt.

The new terminus train station also includes the construction of two 10-m-long single-track tunnels at each western end of the station caverns to ensure the potential for future extension. The cross-sections of these tunnels will be similar to the access tunnels in Section 2.

1.3 Project organisation

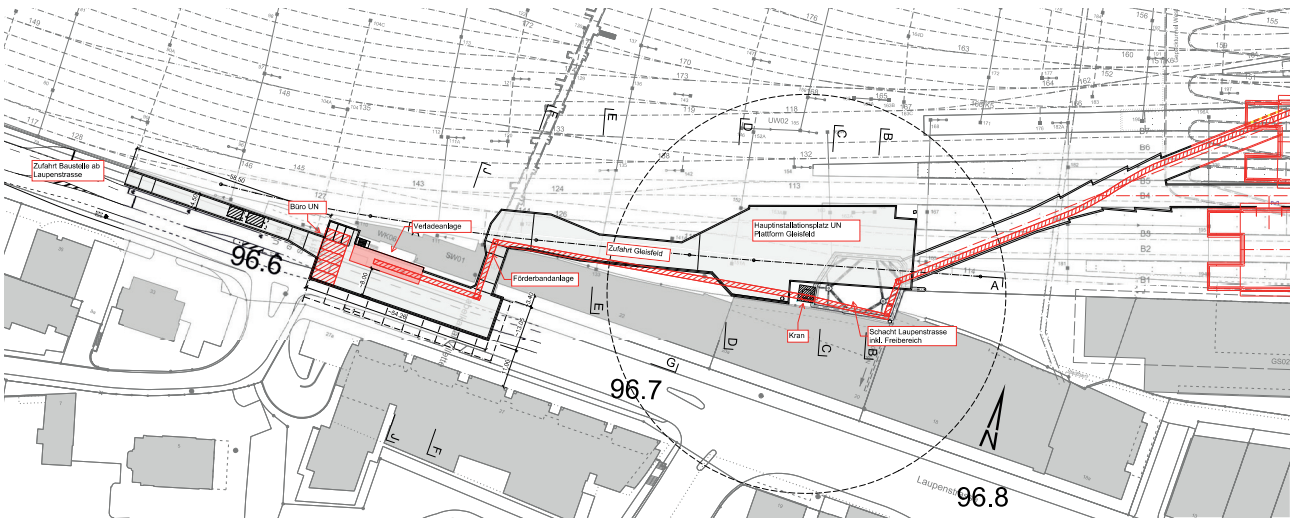
The overall project was initiated by SBB, RBS and the city of Bern. It is financed by the federal government, the canton of Bern and the city of Bern.

The client and overall construction manager for Lot 1.3 is RBS. The engineering joint-venture RBS$^{\text{verbindet}}$, consisting of Basler & Hofmann AG, Emch+Berger AG (Bern) and B+S AG (Bern), has been comissioned with the overall design and site supvervision. The construction works are being carried out by the contractor joint-venture Marti RBS, Lot 1.3, consisting of Marti Tunnel AG (Moosseedorf) and Marti AG (Berne). The contract value of the contractor joint-venture Marti RBS, Lot 1.3 amounts to around 108.5 million Swiss francs.

1.4 Geology and tunnel excavation concept

The two caverns are located in the Gümmenen strata of the Lower Freshwater Molasse, which is an alternating soil/rock bed of fine to coarse sandstones, siltstones and marls. From previous surveys and projects in the area, experts know that the bedrock surface is riddled with glacial outwash channels and scours (filled glacial mills). The main hazard patterns are zones of scours and gullies filled with loose rock or irregularities along the rock surface and resulting instabilities at the base of the crown (abutment).

To reduce construction risks, large cross-sections of 330 m² per cavern will be excavated in ten partial cross-sections. The excavation profile was divided into several levels (Fig. 5). The project designer has defined numerous specifications



Quelle/credit: Projektdokumentation Plan VB 12 Nr. 1.3.1.0_8

4 Installationsplatz Stahlplattform
Steel platform installation site

Die Bauausführung erfolgt über die ARGE Marti RBS, Los 1.3, bestehend aus Marti Tunnel AG (Moosseedorf) und Marti AG (Bern). Das Auftragsvolumen der ARGE Marti RBS, Los 1.3 beläuft sich auf rund 108.5 Millionen Schweizer Franken.

1.4 Geologie und Ausbruchkonzept

Die beiden Kavernen befinden sich in den Gümmenen-Schichten der Unteren Süsswassermolasse (USM), wobei es sich um eine Wechsellagerung von Fein- bis Grobsandsteinen, Siltsteinen und Mergeln handelt. Aus früheren Untersuchungen und Projekten in der Umgebung ist bekannt, dass die Felsoberfläche mit glazialen Abflussrinnen und Kolken (aufgefüllten Gletschermühlen) durchzogen ist. Die Hauptgefährdungsbilder sind Zonen mit Lockergestein gefüllten Kolken und Rinnen beziehungsweise Unregelmässigkeiten im Verlauf der Felsoberfläche sowie dadurch entstehende Instabilitäten am Kalottenfuss (Widerlager).

Zur Minderung der bautechnischen Risiken werden die grossen Querschnitte von 330 m^2 je Kaverne in zehn Teilquerschnitten ausgebrochen. Das Ausbruchprofil wurde unterteilt in mehrere Ebenen (Bild 5). Der Projektverfasser hat zahlreiche Vorgaben definiert, wie die einzelnen Querschnitte aufgefahren und gesichert werden müssen. Die Reihenfolge der Arbeitsschritte ist zwingend einzuhalten und kann vom Unternehmer nicht geändert werden. Der Bauablauf der Teilausbrüche unter Berücksichtigung der wichtigsten Randbedingungen (nicht abschliessend) ist in Tabelle 1 ersichtlich.

Für die gesamten Ausbrucharbeiten sind zwei Sicherungstypen vorgesehen. Die zwei Typen unterscheiden sich im Grundsatz in Strecken mit Ankern respektive ohne Anker, in beiden Fällen mit allfälligen Zusatzmassnahmen (Bild 6). Nachdem die Teilquerschnitte 1 a/1b und 3 ausgebrochen und gesichert sind, wird nach dem Abbruch der Aussteifungswände über den gesamten Kalottenbereich der Ausbruchsicherung 2 mit Spritzbeton (Stärke d = 50 cm) eingebaut. Der Spritzbeton wird bis zu den vorgängig betonierten Widerlagern im Teilquerschnitt 2 a/2b appliziert.

Die Felsüberdeckung beträgt im Mittel rund 12 m zu den bestehenden SBB-Gleisen. Im Bereich der Aufgänge beträgt die Felsüberdeckung rund 7 m, während das PostParc Gebäude mit einem Abstand von 2 m zum bestehenden Abfangriegel unterquert wird. Im grafischen Sicherheitsplan sind die Abschlagslängen in den einzelnen Teilquerschnitten definiert. Diese belaufen sich in der Regel für die ersten fünf Querschnitte auf maximal 2 m, ausser in den Bereichen der Schanzenbrücke und dem PostParc Gebäude. Hier sind Abschlagslängen von maximal 1 m vorgegeben. Im Bereich des PostParc Gebäudes wurden als Zusatzmassnahme Spiessschirme mit einer Länge von 3 m eingebaut.

Um die logistisch komplexen Vortriebsarbeiten und das Ausbruchmaterialhandling zu ermöglichen, wurde in jeder Kaverne als Erstes eine Logistikkaverne (Bild 7) über einer Länge von 40 m erstellt. Hier konnte die Kalotte bereits nach Erstellung

on how the individual cross-sections must be excavated and secured. The sequence of the work stages must be strictly adhered to and cannot be changed by the contractor. The partial excavation construction sequence, taking into account the most important boundary conditions (not exhaustive), can be seen in Table 1.

Two temporary support types are planned for the entire excavation work. The two types differ in principle in sections with bolts and without bolts, in both cases with possible additional measures (Fig. 6). After the partial cross sections 1 a/1b and 3 have been excavated and secured, the temporary support type 2 with wet-sprayed concrete (thickness d = 50 cm) will be installed over the entire crown area after the demolition of the reinforcement walls. The wet-sprayed concrete is applied up to the previously in-situ concreted abutments in the partial cross-section 2 a/2b.

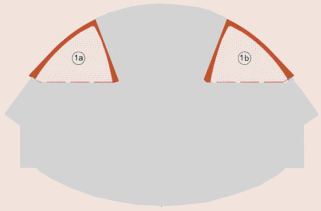
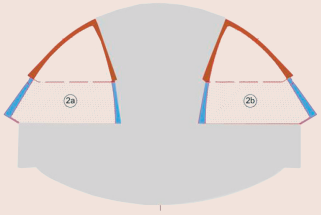
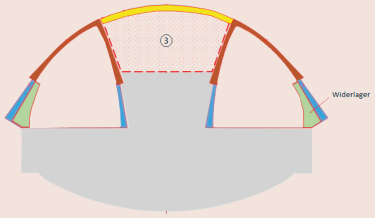
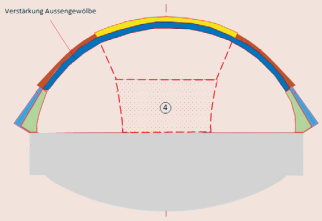
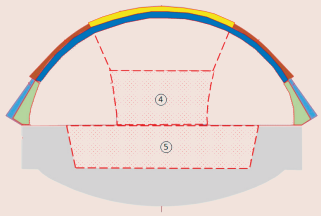
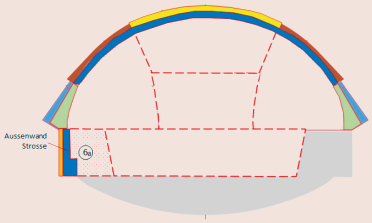
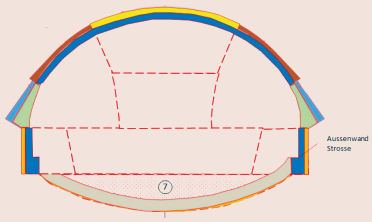
The rock overburden is, on average, around 12 m from the existing SBB tracks. In the proximity of the stairways, the rock cover is around 7 m, while the PostParc building is crossed under at a distance of 2 m from the existing support beam. In the graphical safety plan, the cut-off lengths are defined in the individual partial cross-sections. These are generally a maximum of 2 m for the first five cross-sections, except at the Schanzen bridge and PostParc building areas. Here, cut-off lengths of a maximum of 1 m are specified. In the PostParc building area, a protective screen of lances with a length of 3 m was installed as an additional measure.

In order to facilitate the logistically complex excavation work, as well as handling the excavated material, a logistics cavern (Fig. 7) was first constructed over a length of 40 m in each main cavern. In this cavern, the top heading was already excavated after the construction of the upper top heading side drifts and closed by means of implementing the temporary support type 2. This space was used for the installations for roadheader excavation, including the dust extraction systems required for this purpose. After this procedure, the individual cross-sections can be excavated from the logistics cavern in regular operation.

1.5 Construction programme

According to the contractual construction programme, construction work will last from February 2021 to August 2026. Excavation time for both caverns will be around 42 months, while the lining and interior work will take around 32 months. The two caverns will be excavated and expanded at different times. The northern cavern will be excavated first, and the southern cavern will be excavated after about five months. Due to the time difference and the resulting work in different partial cross-sections and levels of the respective caverns, the interdependencies are complex.

Nine penalised deadlines have been identified across the entire construction programme. These are used for the

Ablauf Ausbruch und Sicherung **Tunnel breakthrough and reinforcement procedure**	**Teilquerschnitt** **Partial cross-section**	**Beschrieb** **Description**	**Randbedingungen** **Boundry conditions**
	Paramentstollen 1a/1b Top heading upper side drift 1a/1b	Ausbruch erfolgt parallel Excavation takes place in parallel	Mindestvorlaufzeit 3 AT min. lead time 3 WDs
	Paramentstollen 2a/2b Top heading lower side drift 2a/2b	Ausbruch erfolgt parallel Excavation takes place in parallel	Mindestvorlaufzeit 3 AT min. lead time 3 WDs
	Kalotte 3/Abbruch Aussteifungen Paramente Top heading (top/upper part)/ demolition reinforcement side walls	Ausbruch und Erstellen Ausbruchsicherung 2 Excavation and implementation of temporary support 2	Mindestvorlaufzeit 28 Tage min. lead time 28 days
	Kern 4/Abbruch Aussteifungen Paramente Top heading (bottom/lower part) 4/ demolition reinforcement side walls	Ausbruch und Abbruch Wände Excavation and demolition walls	Keine None
	Strosse 5 Bench 5	Ausbruch Excavation	Keine None
	Seitenstrosse 6a/6b Side benches 6a/6b	Ausbruch/Erstellen Aussenwand Strosse (in Ortbeton) Excavation/construction of outer wall bench (in-situ concrete)	6a zu 6b 10.5 m 6a to 6b 10.5 m
	Sohle/Erstellen Sohlgewölbe Invert/creating base invert	Ausbruch/Erstellen Sohlgewölbe (in Ortbeton) Excavation/construction of base invert (in-situ concrete)	20 m zwischen Ortsbrust und fertig erstelltem Sohlgewölbe 20 m between the tunnel face and the finished base invert

Quelle/credit: Projektdokumentation VB 9 AQV RevA

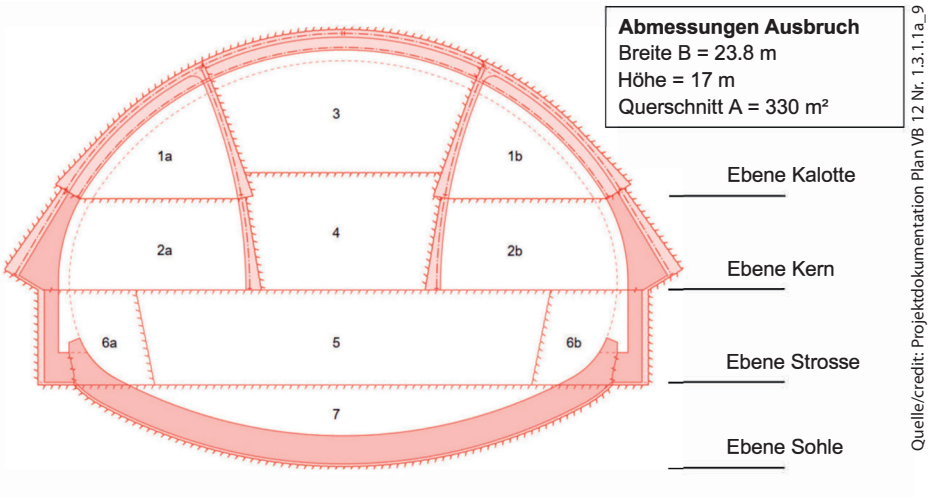
Tabelle 1 *Randbedingungen für den Ausbruch und die Sicherung der Kavernen*

Table 1 *Boundary conditions excavation and temporary support measures of the caverns*

der oberen Paramentstollen ausgebrochen und mittels Ausbruchsicherung 2 geschlossen werden. Dieser Platz diente den Installationen für einen TSM-Vortrieb inklusive der dazu benötigten Entstaubungsanlagen. Danach können die einzelnen Querschnitte ab der Logistikkaverne im Regelbetrieb ausgebrochen werden.

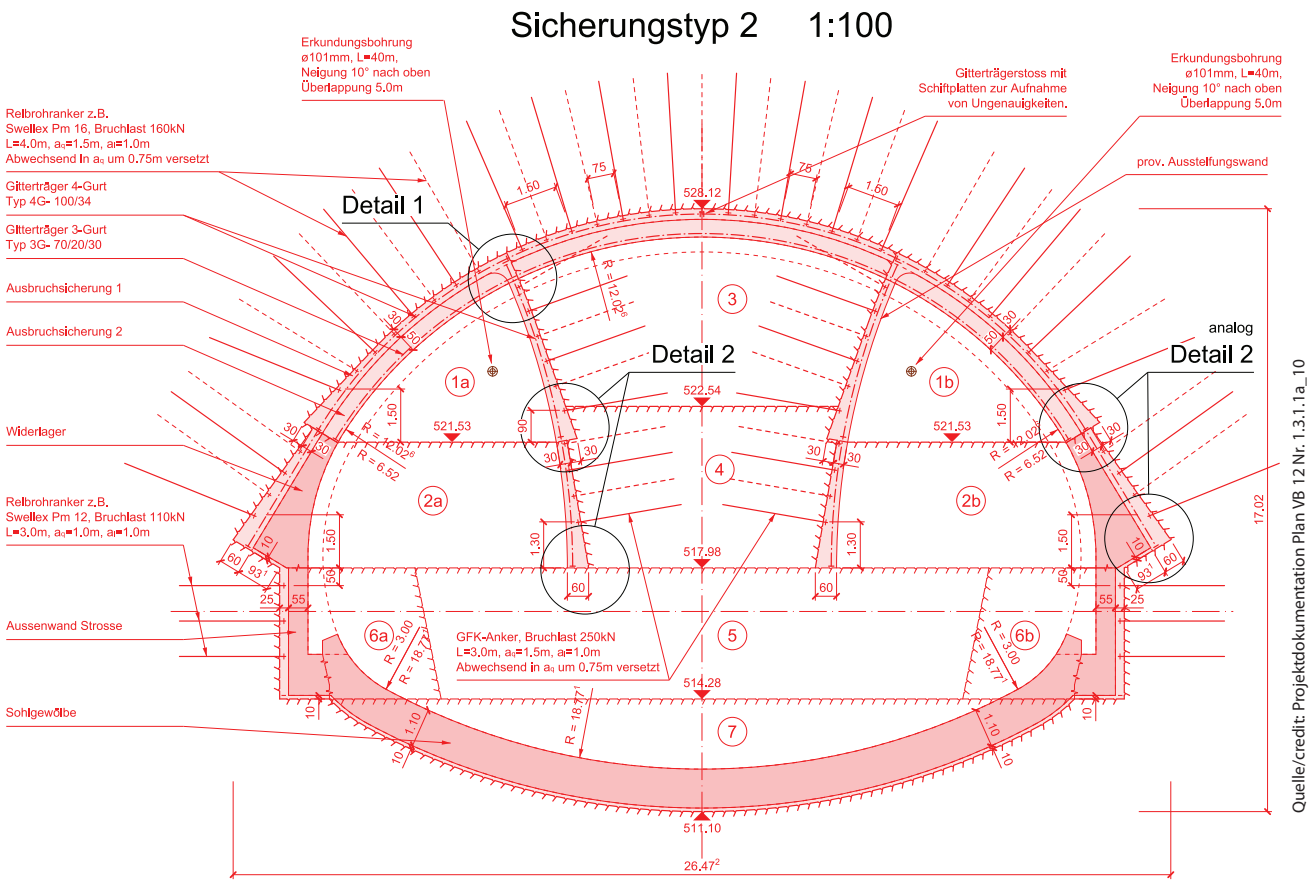
1.5 Bauprogramm

Gemäss Werkvertragsbauprogramm dauern die Arbeiten von Februar 2021 bis August 2026. Die Vortriebszeit für beide Kavernen beträgt rund 42 Monate, die Verkleidungs- respektive Innenausbauarbeiten dauern rund 32 Monate. Die zwei Kavernen werden zeitlich versetzt zueinander aufgefahren und ausgebaut. Gestartet wird mit der Kaverne Nord und nach rund fünf Monaten starten die Ausbrucharbeiten der Kaverne Süd. Durch den zeitlichen Unterschied und die daraus resultierenden Arbeiten in unterschiedlichen Teilquerschnitten und Niveaus der jeweiligen Kaverne gestalten sich die Abhängigkeiten als komplex.



5 Teilquerschnitte und Ebenen
Partial cross sections and levels

overall project control of interfaces with third-party work. The construction programme is based on a two-shift operation for tunnelling and concrete works, from Monday to Friday.



6 Sicherungstyp 2
Temporary support measures type 2

Quelle/credit: ARGE Marti RBS, Los 1.3

7 Logistikkaverne Nord Ebene Kern
North logistics cavern, core level

Über das gesamte Bauprogramm sind neun pönalisierte Termine ausgewiesen. Diese dienen der Gesamtprojektsteuerung von Schnittstellen zu Arbeiten von Dritten. Basis für das Bauprogramm ist ein Zwei-Schicht-Betrieb für die Vortriebs- und Betonarbeiten, jeweils von Montag bis Freitag.

2 Stand der Arbeiten

Zu den ersten Arbeiten nach Baubeginn gehörten die Installation der Förderbänder sowie der Bunker- und Verladeanlage für den Schutterbetrieb. Zeitgleich wurden die kompletten Installationen auf der Plattform sowie im Schachtfuss und im Zugangsstollen erstellt. Mit dem Vortrieb der Kaverne Nord konnte vier Wochen nach Baubeginn gestartet werden. Die zeitraubenden Ausbruch- und Sicherungsarbeiten im Teilquerschnitt der Paramente 1a/1b der Kaverne Nord konnten im Januar 2022 abgeschlossen werden. Anschliessend starteten die darunter liegenden Vortriebe der Paramente 2a/2b, gefolgt vom Ausbruch der ebenfalls sicherungsintensiven Kalotte (Teilausbruch 3) mit der zeitgleich zu erstellenden Ausbruchsicherung 2. Bis Ende 2022 wurden alle Querschläge, Aufgänge, der komplette Kern (Teilausbruch 4) sowie die ersten Meter der Strosse (Teilausbrüche 5 und 6a) ausgebrochen (Bild 8). Die Arbeiten der Kaverne Süd laufen aktuell rund sieben Monate versetzt zu denen der Kaverne Nord. Per Ende des Jahres 2022 war die Kaverne Nord zu 60 % ausgebrochen und die Kaverne Süd zu 40 %. Per Ende Oktober 2023 sollten die Vortriebsarbeiten in der Kaverne Nord abgeschlossen sein.

3 Logistische Herausforderungen

Die innerstädtische Baustelle mit den beschränkten Platzverhältnissen auf der Installationsplattform, der geringe Freibereich des Schachtes und der nur einspurig befahrbare Zugangsstollen Laupenstrasse bilden das logistische Nadelöhr für die gesamte Dauer der Baustelle.

Noch vor Werkvertragsunterzeichnung wurde mit der AVOR-Phase für die Baustelleneinrichtungen gestartet.

2 Work status

The first tasks after the start of construction included installing the conveyor belts and the bunker and loading system for the mucking operation. At the same time, the complete installations on the platform, as well as in the shaft base and the access gallery, were constructed. The excavation of the northern cavern started four weeks after the start of construction. The time-consuming excavation and temporary support work in the partial cross-section of top heading side 1 a/1b in the northern cavern was completed in January 2022. Then, the excavation of top headings side 2 a/2b started, followed by excavation of the upper top heading (partial excavation 3), which also requires a great deal of support measures, with temporary support type 2 to be built at the same time. By the end of 2022, all cross-passages, stairways, the complete core (partial excavation 4) and the first metres of the bench (partial excavations 5 and 6 a) had been excavated (Fig. 8). Work on the southern cavern is currently being carried out about seven months after the work on the northern cavern. By the end of 2022, 60% of the northern cavern and 40% of the southern cavern had been excavated. By the end of October 2023, excavation work in the northern cavern should be completed.

3 Logistical challenges

The construction site in city centre, with limited space on the installation platform, the small open area of the shaft and the Laupenstrasse access tunnel, which can only be used by one lane, form a logistical bottleneck for the entire duration of construction works.

Even before the work contract was signed, the work preparation phase for the construction site facilities was started. The limited load specifications on the steel platform and the strict noise specifications (sound power level LW ≤ 71 dBA) in the overpass area were additional challenges. In cooperation with Marti Technik AG, a “Marti in-house solution” was developed and implemented for all planning and logistical challenges.

3.1 Ventilation concept

The caverns must be supplied with fresh air separately and in an independently controllable manner. The excavation areas themselves are supplied with suction ventilation, including dust extraction systems. The exhaust air exits to the surface via the open cross-section of the access gallery and the shaft. In the event of an incident, it must also be possible to extract any smoke in the caverns, according to the client’s specifications. Two fan systems are installed above ground on the platform and can be operated as blowing and sucking. The tight space conditions in the transition from the shaft base to the access gallery and in the access gallery itself did not allow ducts with a continuous cross-section to be extended into the caverns. Therefore, another solution had to be found. This solution consists of locally doubled ducts with a smaller diameter and a suspended ceiling made of steel

Die begrenzten Lastvorgaben auf der Stahlplattform und die strengen Lärmvorgaben (Schallleistungspegel LW ≤ 71 dBA) im Übertagbereich waren eine weitere Herausforderung. In Zusammenarbeit mit der Marti Technik AG konnte eine „Marti-Inhouse-Lösung" für alle planerischen und logistischen Herausforderungen erarbeitet und umgesetzt werden.

3.1 Lüftungskonzept

Die Kavernen müssen getrennt und unabhängig steuerbar mit Frischluft versorgt werden. Die Vortriebsbereiche selbst werden mit einer saugenden Bewetterung inklusive Entstaubungsanlagen versorgt. Die Abluft tritt über den offenen Querschnitt des Zugangsstollens und den Schacht nach über Tage. Im Ereignisfall muss zudem, nach der Vorgabe des Bauherrn, der Rauch in den Kavernen abgezogen werden können. Die beiden Ventilatorenanlagen sind übertägig auf der Plattform installiert und können demnach als blasend und saugend betrieben werden. Die engen Platzverhältnisse im Übergang Schachtfuss/

sheets (Fig. 9), which is divided in the middle with a dividing wall. To ensure smoke extraction in the event of an incident, fire dampers are installed in the entrance area of the caverns. When an emergency button is pressed, the ventilators installed above ground automatically switch from blowing to sucking within 7 minutes and the fire dampers are opened.

At the end of summer 2022, a hot smoke test was carried out at the request of the client, which showed that the contractor joint-venture concept works in practice and represents an optimal solution.

3.2 Mucking concept

The excavated material will be removed by trucks from a project-specific bunker and loading facility on Laupenstrasse. The bunker and loading facility will be filled by means of a conveyor belt system and elevator from underground. Because excavation work is carried out in the caverns at different levels and, in addition to roadheader excavation, the annexe structures have to be excavated with excavator and

Quelle/credit: ARGE Marti RBS, Los 1.3

8 *Übersicht Kaverne Nord mit Perronlift und Aufgang im Hintergrund*
Overview of the northern cavern with platform lift and stairway in the background

Quelle/credit: ARGE Marti RBS, Los 1.3

9 *Anbindung der Lüftung im Untertagbereich*
Connection to ventilation in underground area

Zugangsstollen und im Zugangsstollen selbst liessen es nicht zu, dass Lutten mit einem durchgehenden Querschnitt bis in die Kavernen gezogen werden konnten. Somit musste eine andere Lösung erarbeitet werden. Diese besteht aus örtlich doppelt geführten Strängen mit kleinerem Durchmesser und einer Zwischendecke aus Stahlblechen (Bild 9), die in der Mitte mit einer Trennwand geteilt ist. Für die Gewährleistung des Rauchabzugs im Ereignisfall sind im Eingangsbereich der Kavernen Brandschutzklappen installiert. Bei der Betätigung eines Nottasters schalten die übertägig installierten Ventilatoren innerhalb von 7 Minuten automatisch von blasend auf saugend um und die Brandklappen werden geöffnet.

Ende Sommer 2022 wurde auf Wunsch des Bauherrn ein Heissrauchtest durchgeführt, der gezeigt hat, dass das Konzept der ARGE in der Praxis funktioniert und eine optimale Lösung darstellt.

3.2 Schutterkonzept

Das Ausbruchmaterial wird mit Lastwagen ab einer projektspezifischen Bunker- und Verladeanlage an der Laupenstrasse abgeführt. Die Bunker- und Verladeanlage wird mittels Förderbandanlage und Elevator ab unter Tage befüllt. Weil in den Kavernen auf unterschiedlichen Niveaus Ausbrucharbeiten erfolgen und zusätzlich zu den TSM-Vortrieben die Annexbauwerke aufgrund ihrer Lage und Dimension mit dem Bagger und Abbauhammer ausgebrochen werden müssen, wurde zum Schutz des Elevators und der zahlreichen Förderbandübergaben im Verzweigungsbereich ein Brecher zur Beschickung des Förderbands installiert. Diese Lösung bringt einen weiteren Vorteil, sodass eine ständige Anpassung der Aufgabestelle in den Kavernen vermieden werden konnte. Aufgrund der geringen Platzverhältnisse in den zuvor ausgebrochenen Logistikkavernen und der eher geringen Abschlagslängen wurde entschieden, dass das komplette Ausbruchmaterial mit Radlader vom Vortrieb zum Brecher befördert wird.

hydraulic hammer due to their position and dimensions, a crusher was installed to feed the conveyor belt in order to protect the elevator and the numerous conveyor belt transfer sections in the junction area. This solution provides a further advantage by avoiding the need for constant adjustment of the feed point in the caverns. Due to the limited space in the previously excavated logistics caverns and the rather short cut-off lengths, experts decided the complete excavated material would be transported by wheel loader from the excavation face to the crusher.

3.3 Concrete handling

All concrete is produced in the nearby concrete plant belonging to the Marti Group (Novakies AG). Two concrete containers with a volume of 12 m^3 each were installed as handling equipment on the platform. The concrete is conveyed to the base of the shaft via downpipes. Excavation is secured with wet-sprayed concrete with and without steel fibres. From the core level onwards, the abutments and the outer wall bench are made of in-situ concrete. This concept requires a continuous supply of different types of concrete. Supplying the numerous work sites with the right type of concrete at the right time is a major challenge for construction management.

3.4 Machinery

Different partial cross-sections in a wide range of sizes, probe drilling, additional measures such as micropiles and forepoling etc. require a wide range of tunnelling equipment. It was only thanks to Marti AG's diverse and flexible machinery that the construction site was able to continuously rely on the appropriate inventory.

The auxiliary bridge over track 1, the cantilevered installation platform and the struts installed in the shaft itself present very cramped geometrical conditions for all transports in and out of the shaft. There is only one free area of 4 m x 11 m in the centre of the shaft.

3.3 Umschlag Beton

Sämtlicher Beton wird im nahe gelegenen Betonwerk der Marti Gruppe (Novakies AG) produziert. Als Umschlaggerät auf der Plattform wurden zwei Betonbehälter à 12 m³ Volumen installiert. Der Beton wird über Fallleitungen an den Schachtfuss gefördert. Die Ausbruchsicherung erfolgt mit Spritzbeton mit und ohne Stahlfasern, ab dem Niveau Kern erfolgt die Ausführung der Widerlager und der Aussenwand der Strosse in Ortbeton. Dieses Konzept bedingt eine kontinuierliche Anlieferung von unterschiedlichen Betonsorten. Die Versorgung der vielen Arbeitsstellen mit der richtigen Betonsorte zur richtigen Zeit ist für die Bauführung eine grosse Herausforderung.

3.4 Maschinenpark

Verschiedene Teilquerschnitte in unterschiedlichsten Grössen, Erkundungsbohrungen, Zusatzmassnahmen wie Mikropfähle, Einsatz von Spiessschirmen etc. erfordern eine grosse Palette an Vortriebsgeräten. Nur dank des vielfältigen und flexiblen Maschinenparks der Marti AG konnte die Baustelle laufend auf das passende Inventar zurückgreifen.

Die Hilfsbrücke über dem Gleis 1, die auskragende Installationsplattform und die im Schacht selbst verbauten Spriesse stellen geometrisch sehr beengte Bedingungen für sämtliche Transporte in und aus dem Schacht dar. In der Mitte des Schachtes ist lediglich ein Freibereich von 4 m x 11 m vorhanden.

Grössere Geräte (Bild 10) müssen in Einzelteile zerlegt hinuntergelassen und am Schachtfuss zusammengebaut werden. Schwerere Geräte (Lasten von bis zu 50 t) müssen ab dem Merkurgässli mit einem Pneukran hinuntergelassen werden. Dieser Umstand erforderte eine laufende Planung mit dem Werkhof. An eine Werkstatt, wie man sie üblicherweise kennt, ausgerüstet mit Hallenkran und Servicegrube, ist nicht zu denken. Bei grösseren Inventarschäden ist ein Rückschub in den Werkhof unabdingbar. Ersatzgeräte müssen vorgehalten werden, um schnell reagieren zu können, ohne dass dies auf die Vortriebsleistung einen Einfluss hat.

Zu Beginn wurde die Logistikkaverne mit einem Tunnelbagger ausgebrochen, danach folgte auf dem Streckenvortrieb der oberen Paramentstollen eine kleine TSM des Typs Eickhoff ET 250. Nachdem die aufwendigen kleinen Querschnitte der ersten Kaverne ausgebrochen waren, wurde eine grössere TSM des Typs Sandvik ET 520 (Bild 11) mit einem Einsatzgewicht von 128 t eingesetzt. Da die beiden Kavernen autonom voneinander auszuführen sind, kommt auf derselben Ebene in der Kaverne Süd eine zweite TSM des Typs Eickhoff ET 480 Q zum Einsatz.

4 Stetig wechselnde Arbeitsphasen mit komplexen Ausführungsdetails

4.1 Startphase

Das Bauprogramm mit den entsprechenden Leistungen ist über die vom Bauherrn vorgegebenen Termine gegeben

Larger equipment (Fig. 10) must be lowered in individual parts and assembled at the base of the shaft. Heavier equipment (loads of up to 50 t) must be lowered from Merkurgässli using a mobile crane. This situation required ongoing planning with the maintenance depot. A normal workshop on site, equipped with an indoor crane and service pit, is out of the question. In the event of major inventory damage, it is necessary to return the equipment to the contractors' workshop. Spare equipment must be kept in stock in order to be able to react quickly without affecting the excavation speed.

At the beginning of excavation, the logistics cavern was excavated with a tunnel excavator, followed by a small Eickhoff ET 250 roadheader on the route of the upper top heading side drifts. After the elaborate small cross-sections of the first cavern had been excavated, a larger Sandvik ET 520 roadheader (Fig. 11) with an operating weight of 128 t was used. Since the two caverns have to be implemented autonomously, a second Eickhoff ET 480 Q roadheader is used on the same level in the southern cavern.

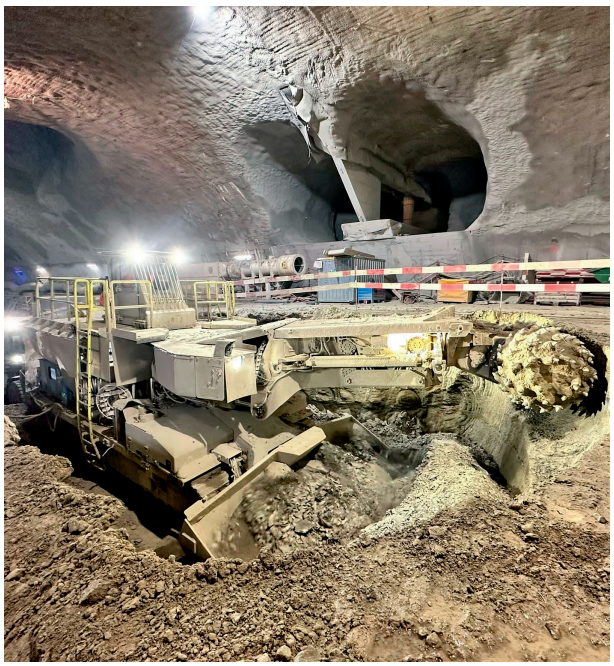
4 Constantly changing work phases with complex implementation details

4.1 Start phase

Deadlines for the construction programme with corresponding services are set by the client and kept very tight. The work had to be well organised from the very first day in order

Quelle/credit: ARGE Marti RBS, Los 1.3

10 *Einheben der Basismaschine der TSM ET 520*
Lifting base of ET 520 roadheader



Quelle/credit: ARGE Marti RBS, Los 1.3

11 *Vortrieb mit TSM ET 520*
Excavation with ET 520 roadheader

und sehr straff gehalten. Die Arbeiten mussten vom ersten Tag an gut organisiert sein, um möglichst schnell auf die hohen ausgewiesenen Leistungen zu kommen. Das Problem hierbei war, dass die Arbeiten der einzelnen Teilquerschnitte nur über kurze Abschnitte (maximal 169 m) erfolgten. An eine Routine war nicht zu denken. Das Ziel war es, die Logistikkaverne der Kaverne Nord so rasch als möglich aufzufahren, um den benötigten Platz für den TSM-Vortrieb bereitzustellen. Während des Vortriebs des Verbindungsstollens und der ersten Abschläge der Teilquerschnitte in der Logistikkaverne konnte kein gewonnener Meter als Lager- und/oder Abstellfläche genutzt werden (Bild 12). Um sich das bildlich vorzustellen, folgender Vergleich: Länge Zugangsstollen ab Schachtfuss bis Höhe Verbindungsstollen circa 110 m. Alle Vortriebsgeräte in Kolonne aufgestellt weisen eine Länge von über 75 m auf. Mit dem seitlich aufgehängten Förderband im Zugangsstollen konnte nur im Schachtfuss (mit langen Geräten nur mit grossem Aufwand) gekreuzt werden. Das Umstellen der Geräte von einem Arbeitsgang zum nächsten, wie zum Beispiel vom Vortrieb zum Auftragen der Sofortsicherung mit Spritzbeton, hat in der Regel zwei bis drei Stunden gedauert. Dieser Umstand begleitete die Vortriebsequipen, bis die Logistikkaverne circa zur Hälfte über allen drei Teilquerschnitten (1a/1b/3) auf dem Niveau Kalotte ausgebrochen und gesichert war.

Nicht zuletzt waren die genannten Probleme ein Grund, warum mit der Logistikkaverne Süd erst gegen Ende der Regelvortriebsarbeiten (Paramentstollen 1a/1b) der nördlichen Kaverne gestartet wurde. Die Platzprobleme gewährleisteten keinen zweiten Angriff in die Südkaverne, wenn man bedenkt, dass Schlüsselgeräte zu diesem Zeitpunkt doppelt vorgehalten werden mussten.

to achieve the necessary progress as quickly as possible. The problem here was that work on the individual partial cross-sections was only carried out over short sections (maximum 169 m). A daily routine was out of the question. The aim was to excavate the logistics cavern in the northern cavern as quickly as possible in order to provide the space needed for the roadheader excavation. During excavation of the connecting gallery and the first cuts in the partial cross-sections in the logistics cavern, not a single metre gained could be used as a storage and/or parking area (Fig. 12). To visualise this, the following comparison can be made: the length of the access gallery from the base of the shaft to the height of the connecting gallery is approx. 110 m. All the tunnelling machines set up in a column are over 75 m long. With the laterally suspended conveyor belt in the access gallery, it was only possible to cross at the base of the shaft (with long equipment only with considerable effort). Switching the equipment from one operation to the next, such as from excavation to the application of immediate temporary support with wet-sprayed concrete, usually took two to three hours. This circumstance accompanied the excavation sequences until the logistics cavern had been excavated and secured approximately halfway over all three partial cross-sections (1 a/1b/3) at the top heading level.

Last but not least, the aforementioned problems were one reason why the southern logistics cavern was only started towards the end of the regular excavation work (top heading upper side drifts 1 a/1b) of the northern cavern. The space problems did not ensure second excavation into the southern cavern, considering that key equipment had to be kept in stock twice at this point.

4.2 After the space issues, there was mud

As the space conditions, in relation to the circumstances, became increasingly better, excavation work in the two top heading upper side drifts 1 a and 1b in the northern caverns progressed; but then, the crown level was unexpectedly complicated by extensive mudding in the working areas and the excavated material. The reason for the accumulation of mud was the constant and diffuse inflow of water in the base and in the open tunnel face, both in the logistics cavern and in the two top heading sides, which could not be collected locally with water pumps and quickly mixed with the excavated material from the construction slope. Like a vicious circle, the sludge was carried further and further underground, with negative consequences for the operation of the construction site, the hygiene of the workplaces, the morale of the site personnel and the condition of the site inventory. In order to improve the work situation, the slurry was continuously removed from the construction slopes and chucked together with the excavated material over the crushing, belt and bunker system. The increased water content of the material led to clogging and blockages in the silo system and thus to additional expenditure for the removal of the material and performance losses in tunnelling. At times,

4.2 Nach den Platzproblemen kam der Schlamm

Als die Platzverhältnisse, in Relation der Gegebenheiten, zunehmend besser geworden sind, wurden die Ausbrucharbeiten der beiden Paramentstollen 1a und 1b der Kavernen Nord, Ebene Kalotte unerwarteterweise durch eine weitreichende Verschlammung der Arbeitsbereiche und des Ausbruchmaterials erschwert. Grund der Verschlammung waren konstante und diffuse Wasserzutritte in der Sohle und in der offengelegten Ortsbrust, sowohl in der Logistikkaverne als auch in den beiden Paramentstollen, welche mit Wasserpumpen lokal nicht gefasst werden konnten und sich in kürzester Zeit mit dem anstehendem Ausbruchmaterial der Baupiste vermischten. Analog einem Teufelskreis wurde der Schlamm immer weiter und über den gesamten untertägigen Bereich verschleppt: dies mit entsprechenden negativen Folgen auf den Baustellenbetrieb, die Hygiene der Arbeitsplätze, die Arbeitsmoral des Baustellenpersonals und den Zustand des Baustelleninventars. Um die Arbeitssituation zu verbessern, wurde der Schlamm auf den Baupisten fortlaufend abgezogen und zusammen mit dem Ausbruchmaterial über die Brech-, Band- und Bunkeranlage geschuttert. Dies führte durch den erhöhten Wassergehalt des Materials zu Verklebungen und Verstopfungen in der Siloanlage und damit zu entsprechenden Mehraufwänden für das Abführen des Materials und zu Leistungseinbussen im Vortrieb. Zeitsludge had to be transported separately to the bottom of the shaft, dumped into muck bins and lifted out of the shaft with a rotating tower crane.

5 Different types of work

As the work progressed, the site situation improved. So did the mudding, and there was no more diffuse water inflow at the core level. The additional micropiles were added during the top heading lower side drifts 2 a/2b procedure. After systematic probe drilling, a total of around 2,000 m of micropiles were installed per cavern, and these had to be installed in parallel with excavation work. In addition, the abutments had to be reinforced and concreted alongside excavation. The interdependencies of the individual tasks to be carried out were enormous and required clear daily planning so that they did not interfere with each other.

From the core level, access to the caverns is only possible via the logistics gallery. The two caverns are accessed from the core level via the cross connection logistics (Fig. 13), which is continuously lowered over all levels. The difficulty is that accessibility must be guaranteed at all times for both current and future work.

Quelle/credit: ARGE Marti RBS, Los 1.3

12 *Situation Platzverhältnisse in der Logistikkaverne Nord während der Startphase*
Situation of space in the northern logistics cavern during the start-up phase

weise musste Schlamm aufwendig separat an den Schachtfuss transportiert und über Mulden mit dem Turmdrehkran geschuttert werden.

5 Unterschiedliche Arbeiten

Mit dem Fortschreiten der Arbeiten verbesserte sich die Platzsituation. So auch die Verschlammung, auf dem Niveau Kern traf man keine diffusen Wasserzutritte mehr an. Neu kamen während den Paramentstollen 2a/2b die Zusatzmassnahmen Mikropfähle dazu. Nach systematisch erfolgten Erkundungsbohrungen wurden gesamthaft pro Kaverne rund 2000 Laufmeter Mikropfähle angeordnet, diese mussten parallel zu den Vortriebsarbeiten erstellt werden. Zusätzlich kam hinzu, dass die Widerlager neben dem Vortrieb armiert und betoniert werden mussten. Die Abhängigkeiten der einzelnen auszuführenden Arbeiten war enorm und forderten eine klare Tagesplanung, sodass sich die unterschiedlichen Arbeiten nicht gegenseitig behinderten.

Ab der Ebene Kern ist der Zugang in die Kavernen nur noch über den Logistikstollen erreichbar. Die beiden Kavernen

In the stairways, connections and cross-passages, two additional reinforcements had to be installed during the implementation of the temporary support in the form of threaded rods, punching shear reinforcements, etc. (Fig. 14). This work brought the otherwise already short rhythmic sequences to a standstill. The usual repetitive work sequences had not yet been carried out.

6 Experiences

6.1 Tunnel excavation concept

The chosen tunnelling concept by means of a roadheader has proven itself throughout. The roadheader solution has delivered the expected advantages in terms of excavation performance, but also for the client in terms of vibrations and noise. The "gentle excavation method" has also contributed to the fact that the settlements have so far remained within the expected range.

It should also be mentioned that the extremely challenging and diverse work processes are in line with the safety concepts.

Quelle/credit: ARGE Marti RBS, Los 1.3

13 *QV-Logistik*
QP logistics

sind ab dem Niveau Kern über den QV-Logistik (Bild 13) erschlossen, welcher laufend über alle Ebenen abgesenkt wird. Die Schwierigkeit gestaltet sich darin, dass die Zugänglichkeiten für die aktuellen als auch für die zukünftigen Arbeiten stets gewährleistet sein müssen.

In den Bereichen der Aufgänge, Verbindungen und Querschläge mussten im Zuge der Ausbruchsicherung zwei zusätzliche Bewehrungen in Form von Schraubarmierung, Durchstanzbewehrung etc. eingebaut werden (Bild 14). Diese Arbeiten brachten die sonst schon kurzen rhythmischen Abläufe ins Stocken. Die gewohnten repetitiven Abläufe blieben bis dato aus.

6 Erfahrungen

6.1 Ausbruchkonzept

Das gewählte Vortriebskonzept mittels Teilschnittmaschine hat sich durchwegs bewährt. Die TSM-Lösung hat die erhofften Vorteile bezüglich Ausbruchleistung, aber auch für den Bauherrn in Bezug auf Erschütterungen und Lärm erbracht. Die „schonende Ausbruchart" hat auch ihren Beitrag dazu geleistet, dass sich die Setzungen bis jetzt im erwarteten Bereich zeigen.

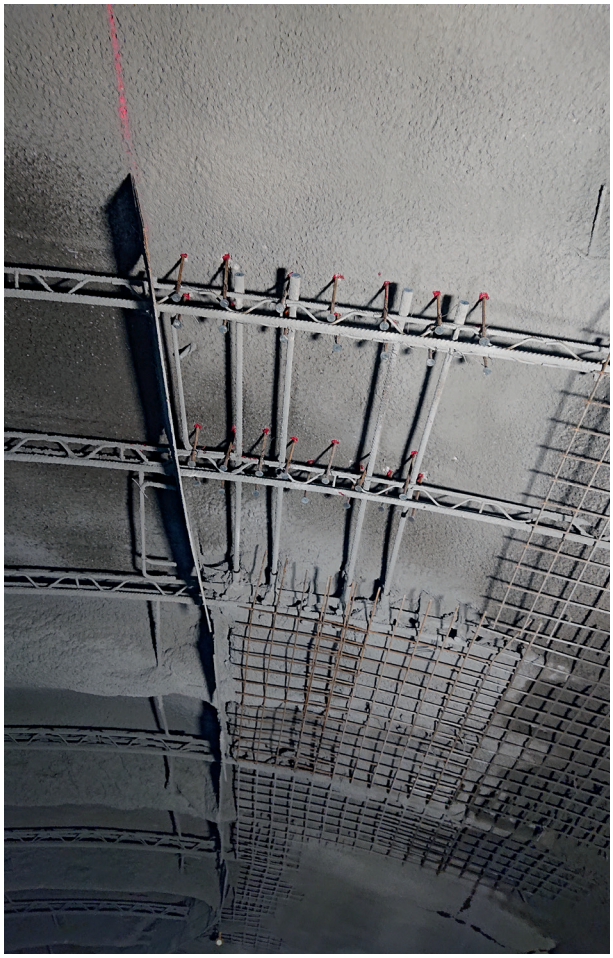
Es darf auch erwähnt werden, dass die äusserst herausfordernden und vielfältigen Arbeitsabläufe mit dem Sicherheitskonzept in Einklang stehen.

6.2 Vortrieb unter beengten Platzverhältnissen

Der Vortrieb in der Startphase auf engstem Raum bei dauernd wechselnden Arbeitsphasen und die Planung und Umsetzung der Baustelleninstallation unter beschränkten, innerstädtischen Platzverhältnissen erforderten einen Kraftakt des gesamten Baustellenteams und der beteiligten Marti-Firmen. Für eine korrekte Leistungsabschätzung der Startphase im Vortrieb mit den komplexen Abläufen und der geringen Platzsituation fehlten die entsprechenden Referenzwerte. Doch mit dem laufenden Fortschritt der Arbeiten konnten einzelne, interne Bauabläufe optimiert sowie teilweise Vortriebe auf zwei unterschiedlichen Ebenen parallel ausgeführt werden. Nach knapp zwei Jahren Vortrieb und den anstehenden Betonarbeiten kann festgestellt werden, dass die Baustelle terminlich auf Kurs ist.

Literatur/References

[1] Internet: www.zukunftbahnhofbern.ch



Quelle/credit: ARGE Marti RBS, Los 1.3

14 *Bewehrungszulage Ausbruchsicherung 2*
Reinforcement allowance, temporary support measures type 2

6.2 Excavation in confined spaces

Excavation in the initial phase in a very confined space with constantly changing work phases and the planning and implementation of installing the construction site under limited, inner-city space conditions required a feat of engineering from the entire construction site team and the Marti companies involved. For a correct performance estimation of the start phase in tunnelling with the complex processes and the limited space situation, the corresponding reference values were missing. However, with the ongoing progress of the work, it was possible to optimise individual internal construction processes and, in some cases, to carry out excavation on two different levels in parallel. After almost two years of tunnelling and with the concreting work about to begin, we can say that construction is on schedule.

PROJEKTDATEN

Region
Stadt Bern

Bauherr, Projekt- und Oberbauleitung
Regionalverkehr Bern-Solothurn AG,
Tiefenaustrasse 2, 3048 Worblaufen

Planung und Bauleitung
Planergemeinschaft RBS^{verbindet} c/o Emch+Berger AG Bern, Schlösslistrasse 23, Postfach 6025, 3001 Bern

Ausführung
ARGE Marti RBS, Los 1.3,c/o Marti Tunnel AG, Marti Bern AG

Kenndaten

Bauzeit:	Februar 2021 bis August 2026
Inbetriebnahme:	Dezember 2029
Baukosten Tunnel:	CHF 108.5 Mio.
Gesamtlänge:	Kaverne Nord 199 m und Kaverne Süd 209 m
Ausbruchquerschnitt:	2 mal 330 m²

Besondere Merkmale
Innerstädtischer Kavernenbau

PROJECT DATA

Region
City of Bern

Client, project and superstructure management
Regional Rail Traffic Bern-Solothurn AG,
Tiefenaustrasse 2, 3048 Worblaufen

Planning and construction management
RBS^{verbindet} planning consortium c/o Emch+Berger AG Bern, Schlösslistrasse 23,
Post Office Box 6025, 3001 Bern

Implementation
ARGE Marti RBS, Los 1.3,c/o Marti Tunnel AG, Marti Bern AG

Key dates

Construction time:	February 2021 until August 2026
Commissioning:	December 2029
Tunnel construction costs:	CHF 108.5 million
Total length:	North cavern 199 m and south cavern 209 m
Breakthrough cross-section:	2 times 330 m²

Special features
Inner-city cavern construction

Götz Schackenberg, Dipl.-Ing. TU, Bundesamt für Strassen ASTRA, Filiale Zofingen, CH-4800 Zofingen

Rheintunnel Basel

Ein Infrastrukturprojekt im städtischen Kontext

Der Rheintunnel wird einen Grossteil des Agglomerations- und des Durchgangsverkehrs aufnehmen. Dadurch werden auf der A2-Osttangente Kapazitäten frei, um den auf das untergeordnete Strassennetz verdrängten Verkehr wieder zurück auf die Nationalstrasse zu verlagern. Mit rund 2.3 Milliarden Schweizer Franken Investitionsvolumen, einer Bauzeit von rund 10 Jahren und 9.7 km Tunnel ist es ein Schlüsselprojekt in der Region Basel.

The Rhein Tunnel in Basel

An infrastructure project in an urban context

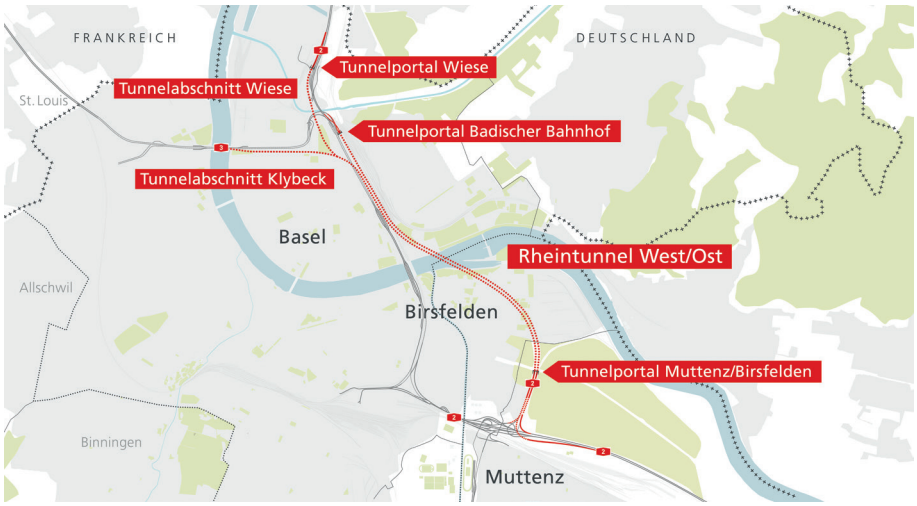
The Rhine Tunnel will accommodate a large volume of commuter and through-traffic. This will free up capacity on the A2 motorway's east bypass to shift traffic displaced onto the suburban road network back onto the national road. With an investment of around 2.3 billion Swiss francs, a construction period of around 10 years and 9.7 km of tunnels, the Rhine Tunnel is a key project in the Basel region.

1 Ausgangslage

Der Basler Abschnitt der Nationalstrasse A2 zwischen dem Schwarzwaldtunnel und der Verzweigung Hagnau ist heute insbesondere an Werktagen stark überlastet. Aufgrund der Verkehrszunahme dürfte sich die Situation künftig zuspitzen. Ohne Gegenmassnahmen werden Staustunden sowie Ausweichverkehr in Quartiere und umliegende Agglomerationsgemeinden weiter zunehmen. Um die Situation zu entschärfen, hat das Bundesamt für Strassen (ASTRA) zusammen mit den Kantonen Basel-Stadt und Basel-Landschaft in den vergangenen Jahren verschiedene Lösungsvorschläge ausgearbeitet. Daraus ging der Rheintunnel hervor.

1 Initial situation

The Basel section of the A2 national motorway between the Black Forest Tunnel and the Hagnau junction is currently heavily congested, especially on weekdays. Due to increasing traffic, the situation is likely to worsen in the future. Without countermeasures, traffic jams and diverted traffic to neighbourhoods and surrounding municipalities will continue to increase. In order to alleviate the situation, the Federal Roads Office (FEDRO), in collaboration with the cantons of Basel-Stadt (Basel-city) and Basel-Landschaft (Basel-country), has drawn up various proposals for solutions over the past few years. The Rhine Tunnel was the result.



Quelle/credit: Infrakom AG, Bern

1 Situation Rheintunnel
Rhine Tunnel Situation

2 The Rhein Tunnel in Basel

2.1 Overview

The Rhine Tunnel concept consists of several tunnel sections that connect to the existing axes to and from Germany and France. The centrepiece are two new two-lane tunnels. The Rhine Tunnel West is 3.6 km long and the Rhine Tunnel East is 3.8 km long. Both tunnels cross under the Rhine at a depth of at least 18 m from the river bottom. The tunnels will be excavated with a tunnel boring machine (multi-mode TBM, outer diameter 13.26 m) from the Birs-

Un tunnel sous le Rhin à Bâle

Un projet d'infrastructure dans un contexte urbain

À Bâle, le contournement Est de la route nationale A2 est surchargé plusieurs heures par jour. Dans le cadre du programme d'aménagement routier (STEP), il est prévu d'éliminer ce goulet d'étranglement en réalisant le projet du tunnel sous le Rhin. L'élément central de ce projet est constitué par les deux tubes Est et Ouest à forer entre les échangeurs de Hagnau et de Wiese, en partie par excavation mécanisée, en partie par méthode conventionnelle. Ces tubes conduiront au Petit-Bâle par une grande courbe passant sous Birsfelden et sous le Rhin.

Tunnel del Reno di Basilea

Un progetto infrastrutturale nel contesto urbano

La tangenziale est della strada nazionale A2 di Basilea è congestionata per diverse ore al giorno. Per porre rimedio a questo collo di bottiglia, nell'ambito del Programma di sviluppo strategico strade nazionali (PROSTRA) è in programma l'attuazione del progetto del tunnel del Reno, il cui elemento centrale sono le due canne est e ovest, da realizzare tra le diramazioni di Hagnau e Wiese, in parte tramite scavo meccanizzato, in parte con metodo convenzionale. Tali canne condurranno verso Kleinbasel con un'ampia curva sotto Birsfelden e sotto il Reno.

2 Rheintunnel Basel

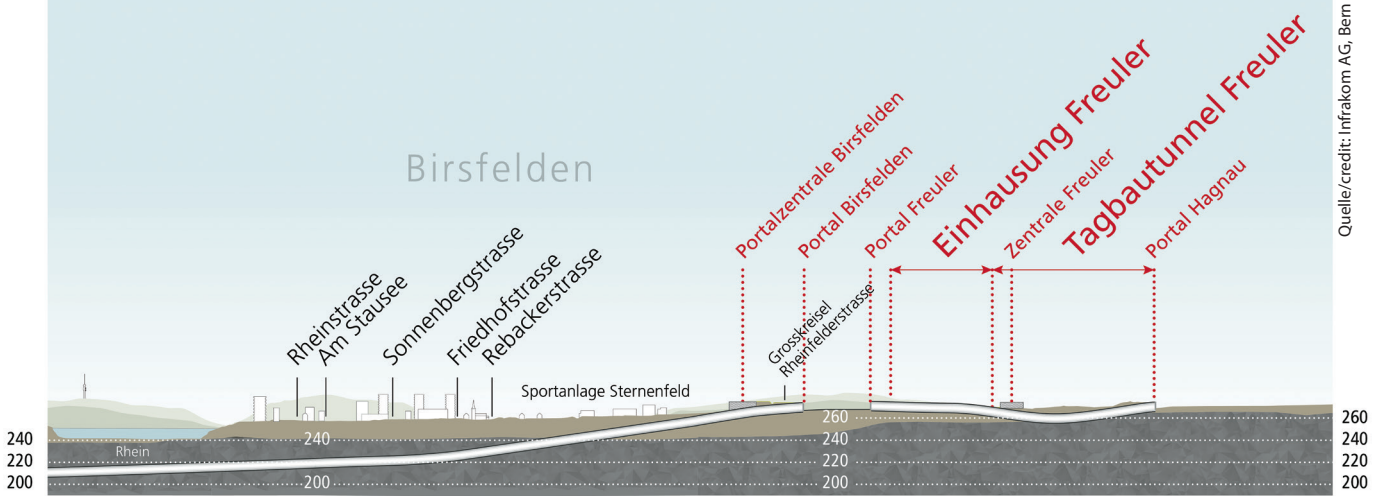
2.1 Übersicht

Der Rheintunnel besteht aus mehreren Tunnelabschnitten, die an die bestehenden Achsen von und nach Deutschland und Frankreich anknüpfen. Das Kernstück sind zwei neue, zweispurige Tunnels. Der Rheintunnel West ist 3.6 km und der Rheintunnel Ost ist 3.8 km lang. Beide Tunnels unterqueren den Rhein in einer Tiefe von mindestens 18 m ab Flussgrund. Die Tunnels werden mit einer Tunnelbohrmaschine (Multi-Mode-TBM, Aussendurchmesser 13.26 m) ab dem Tunnelportal Birsfelden/Muttenz aufgefahren. Der Vortrieb ab dem Tunnelportal Wiese erfolgt konventionell mit maschinenunterstütztem Vortrieb im Fels (Teilschnittmaschine) und mittels Bagger und Hydraulikhammer respektive Rippergeräten im Lockergestein. Die Übergänge und Verbindungen zur bestehenden Autobahninfrastruktur werden im Tagbau realisiert. Im Bereich Wiese sind neue Kunstbauten nötig. Zuerst werden der Rheintunnel West sowie die beiden Tunnelabschnitte Klybeck und Wiese gebaut, anschliessend der Rheintunnel Ost.

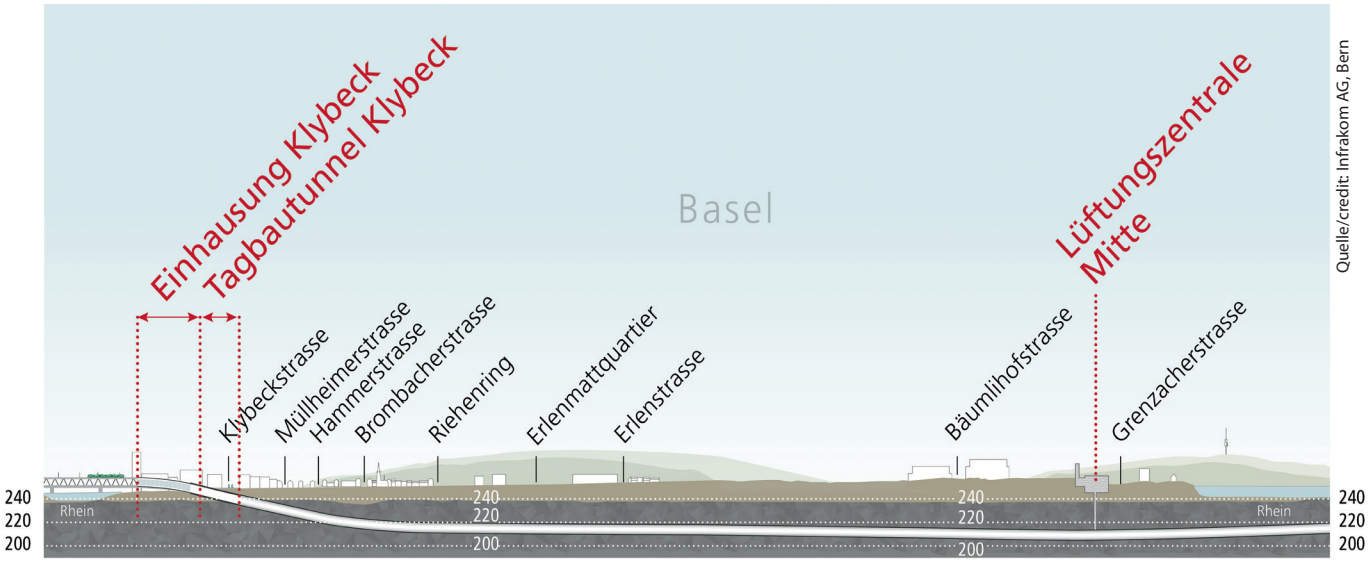
felden/Muttenz tunnel portal. Excavation from the Wiese Tunnel portal will be carried out with conventional method, by means of machine-assisted excavation in the rock (roadheader) and excavators and hydraulic hammers or rippers in soil. The transitions and connections to the existing motorway infrastructure will be realised in cut-and-cover. New engineering structures are needed in the Wiese area. The Rhine Tunnel West and the two tunnel sections Klybeck and Wiese will be built first, followed by the Rhine Tunnel East.

2.2 Vertical routing in the Birsfelden area

After a short section in soil, both tubes descend into the rock from Birsfelden and pass under the Rhine. The tunnel's low point is located below the ventilation plant "Mitte" (middle) in the Rankhof area. While the west tube remains deep underground and leads to the Erlenmatt junction, the east tube rises. It emerges again from the rock into the soil and connects to the cut-and-cover tunnel named Badischer Bahnhof (Badischer Main Station).



2 Längsschnitt Rheintunnel Bereich Birsfelden
Longitudinal section of the Rhine Tunnel in the Birsfelden area



3 *Längsschnitt Rheintunnel Bereich Kleinbasel*
Longitudinal section of the Rhine Tunnel in the Kleinbasel area

2.2 Vertikale Linienführung Bereich Birsfelden

Von Birsfelden aus tauchen beide Röhren nach einem kurzen Abschnitt im Lockergestein in den Felsen ab und führen unter dem Rhein durch. Der Tunneltiefpunkt liegt unterhalb der Lüftungszentrale Mitte im Bereich Rankhof. Während die Weströhre tief bleibt und bis zum Vereinigungsbauwerk Erlenmatt führt, steigt die Oströhre an. Sie taucht wieder aus dem Felsen in das Lockergestein auf und schliesst an den Tagbautunnel Badischer Bahnhof an.

Im Norden beginnt das Projekt Rheintunnel mit einer Rampenbrücke bei der bestehenden Grenzbrücke. Anschliessend folgt der Tunnel Wiese bis zum Vereinigungsbauwerk Erlenmatt, wo der Zusammenschluss mit dem Tunnel Klybeck stattfindet. Der Tunnel Klybeck nutzt die bereits bestehende Ausfahrt im Bereich Dreirosenbrücke und sinkt mit dem maximal zulässigen Längsgefälle, um die bestehende Überbauung Klybeckstrasse zu unterqueren.

2.3 Fahrbeziehungen

Von Frankreich in die Schweiz

Wer von Frankreich kommt, zweigt nach der Dreirosenbrücke via die bestehende, aber bisher nicht in Betrieb genommene Ausfahrt Klybeck in den rund 1 km langen Tunnelabschnitt Klybeck ab. Der Anschluss Klybeck ist im Bereich der Dreirosenanlage vollständig eingehaust.

Von der Schweiz nach Frankreich

Von der Verzweigung Hagnau führt der Weg zum Tunnelportal Birsfelden und von dort in den Rheintunnel. Wer nach Frankreich fährt, verlässt den Rheintunnel – nach Unterqueren des Rheins – beim Tunnelportal Badischer Bahnhof und folgt der bestehenden A3 Nordtangente nach Frankreich.

In the north, the Rhine Tunnel project will begin with a ramp bridge at the existing Grenzbrücke bridge. This is followed by the Wiese Tunnel up to the Erlenmatt junction structure, where it joins the Klybeck Tunnel. The Klybeck Tunnel uses the existing exit in the Dreirosen bridge area and descends at the maximum permissible longitudinal gradient to underpass the existing Klybeckstrasse superstructure.

2.3 Travel connections

From France to Switzerland

Travellers coming from France branch off after the Dreirosen bridge via the existing Klybeck exit, which has not yet been put into operation, into the approximately 1-km-long Klybeck Tunnel section. The Klybeck junction is completely enclosed in the Dreirosen area.

From Switzerland to France

This route leads from the Hagnau junction to the Birsfelden tunnel portal and from there into the Rhine Tunnel. Those travelling to France leave the Rhine Tunnel – after crossing under the Rhine – at the Badischer Main Station tunnel portal and follow the existing A3 northern bypass to France.

From Germany to Switzerland

Those travelling from Germany in the direction of Switzerland enter the approximately 1-km-long Wiese Tunnel section at Kleinhüningen via the Wiese Tunnel portal and exit the Rhine Tunnel through the Birsfelden Tunnel portal.

From Switzerland to Germany

This route leads from the Hagnau junction via the Birsfelden tunnel portal into the Rhine Tunnel. Those travelling to Germany follow the existing A2 motorway in the direction of Germany from the Badischer Main Station tunnel portal.

Von Deutschland in die Schweiz
Wer von Deutschland Richtung Schweiz verkehrt, fährt in Kleinhüningen via Tunnelportal Wiese in den rund 1 km langen Tunnelabschnitt Wiese und verlässt den Rheintunnel durch das Tunnelportal Birsfelden.

Von der Schweiz nach Deutschland
Von der Verzweigung Hagnau aus führt der Weg via Tunnelportal Birsfelden in den Rheintunnel. Wer nach Deutschland fährt, folgt ab dem Tunnelportal Badischer Bahnhof der bestehenden A2 Richtung Deutschland.

2.4 Geologie

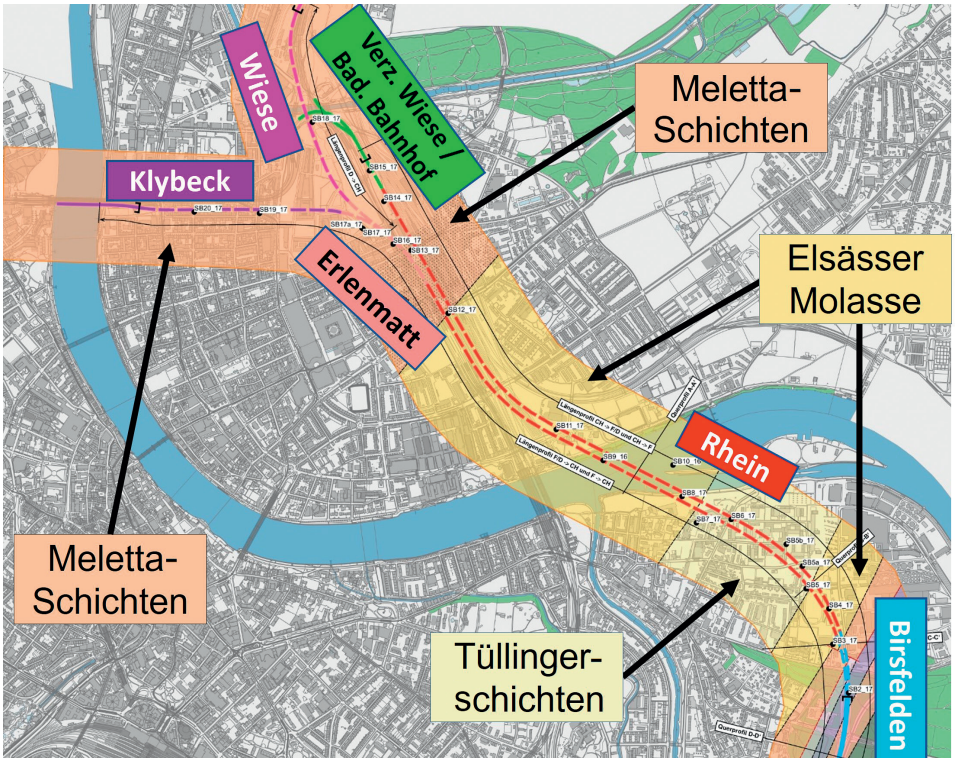
Die Geologie in Basel gehört zur Formation des Oberrheingrabens, eines im Tertiär entstandenen Grabenbruchs, der mit Gesteinen der Molasse aufgefüllt wurde. Erst nach der Bildung des Grabens hat sich der Flussverlauf des Rheins gebildet. Die mit dem Rhein transportierten Gebirgsschotter haben sich abgelagert und bilden heute die oberste geogene Schicht. Die Deckschicht besteht aus Auffüllungen mit stark variierenden Mächtigkeiten von circa 1 m bis 10 m. Darunter befindet sich eine 20 m bis 24 m mächtige Lockergesteinsschicht. Diese besteht aus grösstenteils sehr dicht bis dicht gelagertem sandig-kiesigem Niederterrassenschotter, lokal auch Talauenschotter. Unter dem Lockergestein befindet sich der felsige Untergrund, die Molasse. Im Projektgebiet wird zwischen den Melettaschichten (Septarienton), der Elsässermolasse und den Tüllingerschichten unterschieden. Das Lockergestein ist wasserführend, der Wasserstand befindet sich circa 5 m bis 15 m unterhalb der Geländeoberkante. Die Melettaschichten und die Elsässermolasse sind kompakte Tonsteine/Mergel und bautechnisch wenig problematisch. Die Oberfläche dieser Schichten kann bis in eine Tiefe von 2 m deutlich angewittert sein. Die Konsistenz dieser Schichten ist fest, im verwitterten Bereich weich bis halbfest. Zu den Tüllingerschichten sind im Raum Birsfelden/Stadt Basel nur wenige Erfahrungswerte aus Bautätigkeit vorhanden. Es ist in den kalkigen Fazies mit Verkarstungen und wasserführenden Bereichen zu rechnen. In der mergeligen Fazies sind Gipseinlagerungen wahrscheinlich.

2.5 Tunnelvortrieb

Die meisten Tunnel werden maschinell aufgefahren.

2.4 Geology

The geology in Basel belongs to the formation of the Upper Rhine Graben, a rift valley formed in the tertiary period filled in with rocks from the Molasse. It was only after the rift had formed that the Rhine's route took shape. The mountain gravels transported with the Rhine have been deposited here and, today, form the uppermost geogenic layer. The top layer consists of backfill material with widely varying masses of about 1 m to 10 m. Underneath, there is a 20 m to 10 m thick layer of rock. Further underneath is a 20 m to 24 m thick layer of unconsolidated rock. This layer consists of mostly very dense to densely bedded sandy, gravelly low terrace gravel, as well as local valley alluvial gravel. Beneath the loose rock is the rocky subsoil – the Molasse. In the project area, a distinction is made between the Meletta strata (Septarian clay), the Alsatian Molasse and the Tüllinger strata. The loose rock is water-bearing, and the water level is about 5 m to 15 m below the ground surface. The Meletta strata and the Alsatian Molasse are compact mudstones/marls and pose few problems in terms of construction. The surface of these layers can be clearly weathered down to a depth of 2 m. The consistency of these layers is solid; in the weathered areas, their consistency is soft to semi-solid. Only a few empirical values from construction activity are available for the Tüllinger strata in the Birsfelden/City of Basel area. In these calcareous facies, karstification and water-bearing areas are to be expected. Gypsum deposits are likely to be found in the marl facies.



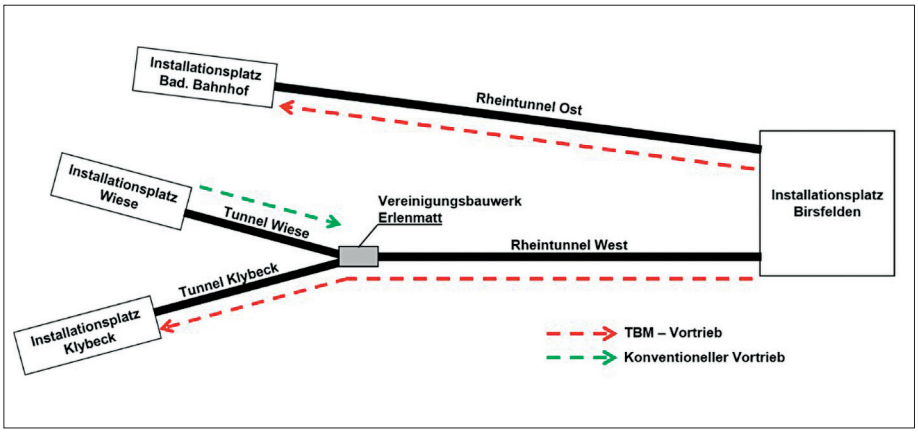
Quelle/credit: INGE AFRY-Lombardi c/o AFRY Schweiz AG, Zürich

4 *Projektsituation mit Prognose Geologie*
Project situation with geological prognosis

Die Wahl der Tunnelbohrmaschine (TBM) basiert auf der prognostizierten Geologie.

Ein flüssigkeitsgestützter Vortrieb (SLS, Hydroschild) hat im Lockergestein und bis zu einer Felsüberdeckung von mindestens 6 m aufgrund der genauen Beherrschung der Ortsbruststabilität und der zuverlässigen Kontrolle der Oberflächensetzungen klare Vorteile. Für den Vortrieb in der Molasse wäre ein SLS-Vortrieb allerdings mit einer sehr aufwendigen Separation des Ausbruchmaterials verbunden. Ein erddruckgestützter Vortrieb (EPB) ist besser geeignet. Es ist deshalb geplant, die beiden Rheintunnel-Hauptröhren mit einer Multi-Mode-TBM (SLS/EPB) aufzufahren. Bei diesem Maschinentyp ist durch einen Maschinenumbau die Kombination von SLS und EPB möglich. Mit der geeigneten Wahl der Suspensionsdichte (High/Low Density Slurry) beim SLS und dem Betriebsmodus (offen/geschlossen) beim EPB kann flexibel und adäquat auf die geologischen Gegebenheiten und Risiken reagiert werden.

Die Setzungsanalyse zeigt, dass in den Portalbereichen Klybeck und Badischer Bahnhof Bauhilfsmassnahmen notwendig sind, um Schäden an Gebäuden und Infrastrukturen zu verhindern. In Klybeck ist ein Grossrohrschirm vorgesehen. Beim Badischen Bahnhof ist die Lockergesteinsstrecke deutlich länger als bei Klybeck und das Schadenpotenzial an der Oberfläche je nach Teilstrecke sehr unterschiedlich. In diesem Bereich ist ein aus einem über dem Tunnel liegenden Pilotstollen erzeugter Injektionsschirm in Kombination mit einem Grossrohrschirm geplant. Für das Ausfahren der TBM aus der Baugrube wird eine Anfahrdichtung, für das Einfahren in die Baugrube ein Dichtblock vorgesehen.



Quelle/credit: INGE AFRY-Lombardi c/o AFRY Schweiz AG, Zürich

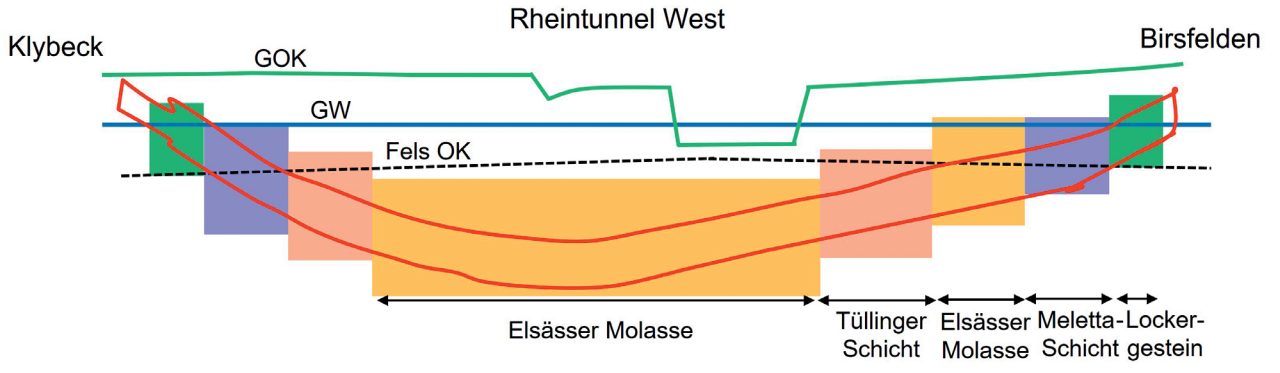
5 Schema Vortriebskonzept
Scheme of tunnelling concept

2.5 Tunnel excavation

Most tunnels are excavated by mechanised method. The choice of tunnel boring machine (TBM) is based on the predicted geology.

Fluid-assisted tunnelling (SLS, slurry shield) has clear advantages in loose rock and rock overburdens of at least 6 m due to precise control of the excavation face stability and reliable control of the surface subsidence. For tunnelling in the Molasse, however, SLS (slurry shield) excavation would involve very costly separation of the excavated material. Earth pressure balanced excavation (EPB) is more suitable. Therefore, experts have planned to excavate the two main Rhine Tunnel tubes with a multi-mode TBM (SLS/EPB). With this type of machine, the combination of SLS and EPB methods is possible through modification of the machine. With the appropriate choice of suspension density (high/low density slurry) for the SLS machine and the operating mode (open/closed) for the EPB machine, it is possible to react flexibly and adequately to the geological conditions and risks.

The settlement analysis shows that construction support measures are necessary in the Klybeck and Badischer Main Station portal areas to prevent damage to buildings and infrastructure. In Klybeck, a large forepoling umbrella is planned. At the Badischer Main Station, the section of loose rock is significantly longer than at Klybeck and the damage potential



Quelle/credit: INGE AFRY-Lombardi c/o AFRY Schweiz AG, Zürich

6 Längsschnitt Rheintunnel mit Prognose Geologie
Longitudinal section of Rhine Tunnel with geological prognosis

3 Besonderheiten

3.1 Einhausungen reduzieren Lärm

Damit alle heutigen Anschlussbeziehungen auch künftig angeboten werden können, braucht es zwischen dem Tunnelportal Birsfelden und der bestehenden Verzweigung Hagnau in beide Fahrtrichtungen einen dritten Fahrstreifen. Um den notwendigen Platz zu erhalten, wird die vorhandene Hafenbahn um circa 20 m in ein neues Trassee verlegt.

Die Autobahn wird auf einer Länge von rund 340 m eingehaust. Damit erfahren die benachbarten Gewerbe- und Wohnquartiere in Muttenz und Birsfelden eine wesentliche Lärmentlastung. Der Kanton Basel-Landschaft hat die Einhausung des Autobahnabschnitts eingebracht und beteiligt sich an deren Finanzierung.

3.2 Multimodales Materialbewirtschaftungskonzept

Während der Vortriebsphasen der einzelnen Tunnelabschnitte fallen insgesamt rund 5 Millionen Tonnen Ausbruchmaterial in unterschiedlichen Qualitäten und Mengen an. Es wurde ein projektbezogenes und multimodales Materialbewirtschaftungskonzept entwickelt. Vom Hauptinstallationsplatz wird das Material mit Förderbändern in den Hafen Birsfelden transportiert. In ergänzenden Puffer- und Sortierungszonen wird das Material so aufbereitet, dass es anschliessend wahlweise auf das Schiff, die Bahn oder den Lastwagen verladen werden kann. Dafür wird die vorhandene Hafeninfrastruktur nachhaltig genutzt.

3.3 Projektorganisation

Der Rheintunnel ist ohne diverse Drittorganisationen weder plan- noch realisierbar. Beispielsweise setzen die Verschiebung der Hafenbahn in Birsfelden, die Gleis-/Oberleitungsanpassungen im Basel Badischen Bahnhof oder die Anpassung einer Abwasserreinigungsanlage den verbindlichen Einbezug des jeweiligen Anlageneigentümers voraus. Diese Organisation setzt neue Massstäbe in der interdisziplinären Zusammenarbeitskultur.

3.4 Kontextprojekte

Im dicht besiedelten Stadtraum von Basel ist eine hohe Anzahl an Kontextprojekten der diversen Stakeholder zu verzeichnen. Diese Hoch-/Tiefbauvorhaben, zum Teil in unterschiedlichsten Phasen und Flughöhen, sind stets mit dem Rheintunnelprojekt so zu koordinieren, dass keine Vorhaben verunmöglicht werden und die zukünftige Aufwärtskompatibilität gewährleistet ist. Dieses Vorgehen erfordert einen hohen Koordinationsaufwand bei allen Beteiligten.

3.5 Testplanung Dreirosenanlage

In den dicht besiedelten Basler Quartieren Matthäus und Klybeck stellt die heutige Dreirosenanlage einen wichtigen Grün-/Freizeit-/Kulturraum dar. Im Rahmen einer Testplanung konnten der Kanton Basel-Stadt und das ASTRA

at the surface varies greatly depending on the section. In this area, a grouting umbrella created from a pilot tunnel above the main tunnel is planned in combination with a large-diameter pipe roofing umbrella. A starter gasket will be provided for the TBM's exit from the excavation pit, and a sealing block will be provided for its entry into the excavation pit.

3 Particularities

3.1 Encasements reduce noise

To ensure that all current connections can continue to be offered in the future, a third lane is needed in both directions between the Birsfelden Tunnel portal and the existing Hagnau junction. In order to obtain the necessary space, the existing port railway will be relocated by about 20 m to a new route.

The motorway will be encased over a length of around 340 m. The neighbouring commercial and residential districts in Muttenz and Birsfelden will therefore experience considerable noise relief. The canton of Basel-Landschaft has contributed to the encasement of the motorway section and is participating in its financing.

3.2 Multimodal material management concept

During the individual tunnel sections' excavation phases, a total of around 5 million tonnes of excavated material in different qualities and quantities will be produced. A project-specific and multimodal material management concept was developed to deal with this. From the main installation site, the material will be transported by conveyor belts to the port of Birsfelden. In supplementary buffer and sorting zones, the material will be processed so that it can then be loaded onto ships, the railway or lorries as desired. The existing port infrastructure will be used sustainably for this purpose.

3.3 Project organisation

The Rhine Tunnel can neither be planned nor realised without various third-party organisations. For example, the relocation of the port railway in Birsfelden, the track/overhead rail adjustments at the Basel Badischer Main Station and the adaptation of a wastewater treatment plant require the mandatory involvement of the respective plant owner. This kind of organisation sets new standards in the culture of interdisciplinary cooperation.

3.4 Context of the projects

In Basel's densely populated urban area, there is a high number of contextual projects by various stakeholders. These structural/civil engineering projects, some of them in a wide variety of phases and scales, must always be coordinated with the Rhine Tunnel project in such a way that no projects are rendered impossible and future forward compatibility is guaranteed. This procedure requires a high degree of coordination on the part of all parties involved.

3.5 Test planning for the Dreirosen recreational area

In Basel's densely populated Matthäus and Klybeck districts, the current Dreirosen recreational area represents an important green/leisure/cultural space. As part of a test plan, the canton of

gemeinsam aufzeigen, wie der sensible Eingriff in diese Anlage während der langen Bauphase mit Alternativen kompensiert werden könnte. In der nächsten Projektphase (Detailprojekt) werden die Massnahmen zu einem baubegleitenden Gesamtkonzept konkretisiert.

Basel-Stadt and FEDRO were able to jointly demonstrate how the sensitive encroachment on this area during the long construction phase could be compensated for with alternatives. In the next project phase (Tender Design), concrete measures will be developed into an overall concept to accompany the construction work.

PROJEKTDATEN

Region
Basel, Schweiz

Bauherr, Projekt- und Oberbauleitung
Bundesamt für Strassen (ASTRA), Filiale Zofingen

Planung Phase Ausführungsprojekt (Phase SIA 33, Auflageprojekt)
- Jauslin Stebler AG, Muttenz, Bauherrenunterstützung
- IG Basilea (moving AG, Rapp AG, Bänziger Partner AG) c/o Gruner AG, Basel, Projektverfasser Trasse und Kunstbauten
- INGE AFRY-Lombardi c/o AFRY Schweiz AG, Zürich, Projektverfasser Tunnel
- AFRY Schweiz AG, Zürich, Projektverfasser BSA
- ILF AG, Zürich, Projektverfasser BSA Lüftung
- PNP AG, Muttenz, Projektverfasser Geologie/ Geotechnik
- EBP Schweiz AG, Zollikon, Projektverfasser UVB
- INGE VRT (infras) c/o B+S AG, Bern, Projektverfasser Verkehr, Nistra
- A. Aegerter & Dr. O. Bosshardt AG, Basel, Projektverfasser Akustik
- Metron AG, Brugg, Projektverfasser Umwelt
- Feddersen & Klostermann, Zürich, Projektverfasser Städtebau/Gestaltung
- Infrakom AG, Bern, Information und Kommunikation

Kenndaten

Aktueller Planungsstand:	Ausführungsprojekt, Auflage Ende 2023/ Anfang 2024
Bauzeit:	rund 10 Jahre
Frühestmöglicher Baubeginn:	2029
Frühestmögliche Inbetriebnahme:	2040
Gesamtlänge aller Tunnelabschnitte:	rund 9.7 km
Baukosten Rheintunnel Basel:	rund CHF 2,3 Mrd.

(inkl. Anpassungen an bestehender Infrastruktur im Betrag von rund CHF 350 Mio.)

PROJECT DATA

Region
Basel, Switzerland

Project owner, project and superstructure management
Federal Roads Office (FEDRO), Zofingen Branch

Planning phase, Final Design
- Jauslin Stebler AG, Muttenz, project owner support
- IG Basilea (moving AG, Rapp AG, Bänziger Partner AG) c/o Gruner AG, Basel, Project designer for train routes and civil engineering structures
- INGE AFRY-Lombardi c/o AFRY Schweiz AG, Zürich, Tunnel project designer
- AFRY Schweiz AG, Zürich, FSA project designer
- ILF AG, Zürich, FSA ventilation project designer
- PNP AG, Muttenz, Project designer for geology/ geotechnical engineering
- EBP Schweiz AG, Zollikon, EIA project designer
- INGE VRT (infras) c/o B+S AG, Bern, Traffic project designer, Nistra
- A. Aegerter & Dr. O. Bosshardt AG, Basel, Acoustics project designer
- Metron AG, Brugg, Environmental project designer
- Feddersen & Klostermann, Zürich, Urban planning/design project designer
- Infrakom AG, Bern, Information and Communication

Key data

Current planning status:	Final Design, Tender Design at the end of 2023/ beginning of 2024
Construction time:	about 10 years
Earliest possible start of construction:	2029
Earliest possible commissioning:	2040
Total length of all tunnel sections:	about 9.7 km
Construction costs for the Rhine Tunnel in Basel:	about CHF 2.3 bill.

(incl. adaptations to existing infrastructure in the amount of around CHF 350 million).

Beat Bircher, Dipl. Bau-Ing. ETH, Basler & Hofmann AG, Esslingen/CH
Felix Stauch, MsC Bau-Ing. TU München, Implenia AG, Opfikon/CH

Modellbasierte Submission und Ausführung QV8

Projektverfasser (PV) und Unternehmer (UN) berichten

Erstmals wurde ein Infrastrukturprojekt im öffentlich-rechtlichen Umfeld komplett modellbasiert ausgeschrieben, ausgeführt und abgerechnet. Es zeigte einerseits auf, was komplette Durchgängigkeit mit der BIM-Methode für Vorteile mit sich bringt, aber auch, welche neuen Ansprüche und Aufgaben an alle Beteiligten entstehen.

Model-based submission and execution of QV8 (cross-connection 8)

Designer and Contractor reports

For the first time, an infrastructure project in the field of public law was tendered, executed and invoiced completely using digital models. On the one hand, it showed the advantages of complete consistency with the BIM (Building Innovation Modelling) method, and on the other hand, new demands and tasks for all parties involved.

1 Einleitung

Im Zuge der Sanierung der St. Galler Stadtautobahn wurde erprobt, was es heisst, in einem öffentlichen Infrastrukturprojekt Bauleistungen direkt ab digitalem Modell zu beschaffen und zu bauen. Beim Projekt handelt es sich um eine neue Querverbindung zwischen den zwei bestehenden Röhren des Tunnels Schoren bei St. Gallen. Das Bauwerk ist ein Teilprojekt der Instandsetzung der St. Galler Stadtautobahn. Die Querverbindung Nr. 8 (QV8) soll als zusätzlicher Fluchtweg die Sicherheit in Tunnel Schoren erhöhen. Gebaut wird die QV8 über einen Logistikschacht. Von diesem aus werden bergmännisch zwei Querstollen erstellt, die an die bestehenden Röhren anschliessen. Das Projekt ist in seiner Ausdehnung klar definiert und vom Betrieb fast komplett entkoppelt. Das Bundesamt für Strassen (ASTRA) hat entschieden, das Bauwerk als BIM-Pilotprojekt zu realisieren – mit dem Ziel: Das Projekt soll modellbasiert ausgeschrieben und gebaut werden.

2 Erstellung der Submission

Das Projekt wurde mit einer klassischen Planung erarbeitet, aufgelegt und genehmigt. Erst für die Submission wurde das Projekt in ein Modell übersetzt. In einer Konzeptphase zwischen Planer und Bauherrn wurde bestimmt, welche Form das Ausschreibungsdossier und der darin enthaltene Leistungsbeschrieb annehmen kann. Gewählt wurde eine klassische Dossierstruktur für eine Ausschreibung, ergänzt um ein BIM-Modell und druckbare Listen von Bauteilen, welche durch den Anbieter bepreist werden können. Pläne waren

1 Introduction

As part of renovating the St. Gallen city motorway, a test was carried out to see what it would be like to procure and build construction services in a public infrastructure project directly from a digital model. This project involves a new cross passage between the two existing tubes of the Schoren Tunnel near St. Gallen. The structure is a sub-project of renovating the St. Gallen urban motorway. Cross passage no. 8 (QV8) is intended to increase safety in the Schoren Tunnel as an additional escape route. QV8 is being built via a logistics shaft. From this shaft, two cross tunnels will be constructed by mining, connecting to the existing tubes. The project is clearly defined in terms of its extent and almost completely separate from operations. The Federal Roads Office (FEDRO) has decided to realise the structure as a BIM (Building Innovation Modelling) pilot project – with the following goal: The project is to be tendered and built based on digital models.

2 Preparing project submission

The project was developed, submitted and approved with classical planning. The project was only translated into a digital model for the tender. During a concept phase between the planner and the contractor, they determined what form the tender dossier and the service description contained therein could take. A classic dossier structure for a tender was chosen, supplemented by a BIM model and printable lists of components that can be priced by the bidder. Plans were not included in the dossier; the bidders calculated the

Soumission et exécution du projet QV8 sur la base d'une maquette

Rapports PV et UN

Hygiène des données, collaboration entre les modèles, accessibilité des données. Tous ces mots clés sont synonymes d'une application intégrale de la méthode BIM (Building Information Modelling). Quand la base de données de la maquette est réellement la « single source of truth » d'un projet et devient partie intégrante du contrat grâce à l'intégration des coûts, on peut voir si la technologie et les personnes interagissent correctement. Cette philosophie a été mise en œuvre de manière cohérente et avec succès en collaboration entre le maître d'ouvrage, l'auteur de projet et l'entrepreneur pour la construction de la nouvelle « liaison transversale n° 8 » (QV8) des tubes existants du tunnel de Schoren.

Gara d'appalto e realizzazione basata su modello del QV8

PV e UN riferiscono

Qualità dei dati, collaborazione sul modello, accessibilità dei dati: tutte parole chiave che rappresentano un applicazione del tutto coerente del metodo BIM. Se la banca dati del modello è realmente la „Single source of Truth" e diviene parte integrante del contratto attraverso l'integrazione dei costi, allora diventa chiaro se la tecnologia e l'uomo interagiscono correttamente. Questa filosofia è stata messa in pratica coerentemente e con successo, insieme al committente, all'autore del progetto e all'imprenditore, per la costruzione del nuovo collegamento trasversale n° 8 (QV8) dei tubi esistenti della galleria Schoren.

in dem Dossier nicht enthalten, die Preise für die Bauteile haben die Anbieter anhand des Modells kalkuliert. Es kam ein selektives Verfahren zur Anwendung.

2.1 Motivation für bauteilbasierte Submission

Warum Bauteile bepreisen? BIM (Building Information Modelling) ist in seiner Grundstruktur eine Datenbank von georeferenzierten und mit Information versehenen Bauelementen. Da diese Grundstruktur bereits in der Planung sowie Ausführung erfolgreich umgesetzt wurde, ist es naheliegend, diese Struktur auch in der Ausschreibungsphase zu erhalten. Die Baukosten sollen direkt den Bauelementen zugeordnet werden können, um eine Durchgängigkeit über die Projektphasen zu erhalten.

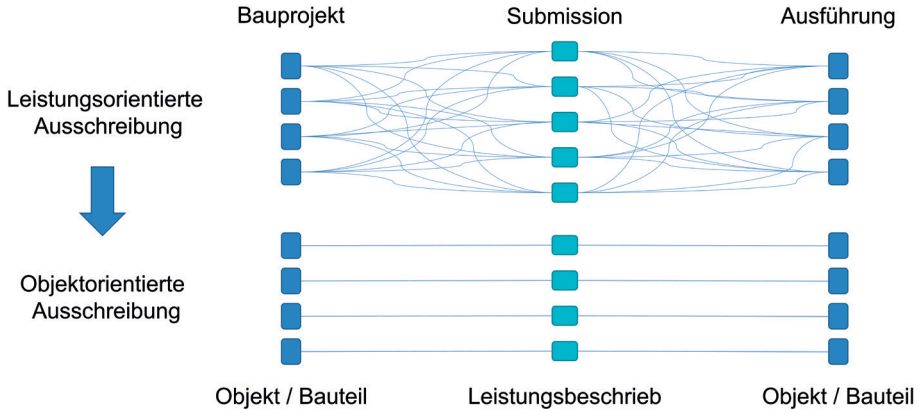
Anstatt die BIM-Modelle lediglich als Datenlieferant für ein klassisches Leistungsverzeichnis zu nutzen, sollen diese als Datenbank auch für Baukosten dienen. Das Versprechen der BIM-Methode ist ein besseres Projektverständnis, höhere Transparenz, gesteigerte Prozesseffizienz und durchgängiger Datenfluss. Dies bedeutet aber nicht, in späten Projektphasen einfacher Anpassungen vornehmen zu können, sondern früher die richtigen Entscheidungen treffen zu können. Dies soll kompensieren respektive ermöglichen, dass nicht mehr jede Leistung einzeln und allenfalls mit versteckten Reserven ausgeschrieben wird, sondern als Stückpreis am Bauteil. Der Fokus soll das geforderte Endresultat sein, nicht die dafür notwendigen Einzelschritte.

prices for the components on the basis of the model. A selective procedure was used.

2.1 Motivation for component-based submission

Why price building components? The basic structure of BIM is a database of georeferenced building elements with pieces of information. Since this basic structure has already been successfully implemented in planning and execution, it is logical to maintain this structure in the tendering phase as well. It should be possible to assign the construction costs directly to the construction elements in order to maintain consistency throughout the project phases.

Instead of merely using the BIM models as a data supplier for a classic list of services, they are to serve as a database for construction costs as well. The promise of the BIM method is better project understanding, higher transparency, increased process efficiency and continuous data flow. How-



Quelle/credit: Basler & Hofmann AG

1 Illustration der Phasen-Durchgängigkeit bei objektorientierter Ausschreibung im Vergleich zur leistungsorientierten Ausschreibung

Illustration of phase consistency in object-oriented tendering compared to performance-oriented tendering

2.2 Aufbau des Leistungsbeschriebes

Die heute gängige Ausschreibungspraxis beruht auf 2D-Plänen und Leistungsverzeichnissen. Diese Leistungsverzeichnisse basieren in der Schweiz oft auf dem etablierten Leistungspositionen-Katalog. Die Bauwerkspläne werden in die erforderlichen Arbeitsschritte und Materialien aufgeschlüsselt – ein bedeutender Aufwand für den Besteller. Zudem ist dieser Schritt risikobehaftet, da eine Entkoppelung von Geometrie und Leistungsbeschrieb stattfindet. Zudem wird dem Unternehmer die Kompetenz abgesprochen, selber die notwendigen Arbeitsschritte identifizieren respektive wählen zu können. Dies lässt dem Unternehmer weniger unternehmerische Freiheit, weshalb oft nur noch Fehlersuche im Dossier, anstelle von Lösungsfindung für effiziente Bauverfahren, übrig bleibt.

Bei dem Projekt QV8 wurde ein hybrider Ansatz gewählt: Alle Leistungen, welche spezifisch für ein Bauteiltyp notwendig sind, sollen je Bauteil berechnet werden. Jene Leistungen, welche nicht zugeordnet werden können, werden klassisch mit Leistungspositionen ausgeschrieben. Ergänzend als Kalkulationsbasis für die Unternehmer wurde je Bauteiltyp ein Steckbrief verknüpft, welcher die einzurechnenden Leistungen umschreibt. Dies ermöglichte auch, nicht komplett alle Details aufwendig „modellieren" zu müssen, sondern als verlinkte Informationen mit dem Bauteil mitzugeben. Dies waren beispielsweise Handskizzen von Abdichtungsübergängen oder Plandetails eines Gitterträgers. Dies erwies sich als verhältnismässig und vermied überladene Modellgeometrien. Der Steckbrief bildete den Verteilschlüssel zwischen den physischen Objekten und den zur Herstellung benötigten Leistungen.

Bei Arbeiten im Untergrund existiert ein Baugrundrisiko. Randbedingungen des Projektes können sich mit zunehmendem Projektfortschritt verändern. Daher wurden zusätzlich Risikopositionen in das Leistungsverzeichnis aufgenommen und für risikobehaftete Bauteile Preisanalysen verlangt. Die Risikopositionen bestanden beispielsweise aus Zuschlägen für Hindernisse für Bohrpfähle oder längeres Vorhalten der Installationen. Mit den Preisanalysen konnte eine Grundlage bei Abweichungen von Leistungen für Bauelemente geschaffen werden.

2.3 Aufbau des Dossiers

Der Aufbau des Ausschreibungsdossiers unterscheidet sich kaum von der bisherigen Struktur, jedoch ohne klassische Pläne. Bisherige Elemente sind beispielsweise der Entwurf der Vertragsurkunde, besondere Bestimmungen, Leistungsverzeichnis und Formulare für Unternehmerangaben. Das Dossier wurde ergänzt um hauptsächlich drei weitere Elemente:

- Die „Besonderen Bestimmungen" wurden ergänzt um die Steckbriefe. Dies waren wie vorgängig beschrieben je Bauteiltyp ein Dokument, welches die einzurechnenden Leistungen listet und spezifisch ergänzt um Skizzen, Details oder anderweitige Informationen.

ever, this does not mean being able to make adjustments more easily in late project phases, but rather being able to make the right decisions earlier. This should compensate for the fact that each service is no longer tendered individually (and possibly with hidden reserves), but as a unit price for the component. The focus should be on the required end result, not on the individual steps necessary to achieve it.

2.2 Structure of the service description

Today's common tendering practice is based on 2D plans and bills of quantities. In Switzerland, these bills of quantities are often based on the established service item catalogue. The construction plans are broken down into the required work steps and materials – a significant effort for the client. In addition, this step is risky, as there is a disconnect between geometry and service description. In addition, the contractor is denied the competence to identify or select the necessary work steps themselves. This leaves the contractor less entrepreneurial freedom, which is why there is often only troubleshooting in the dossier instead of finding solutions for efficient construction methods.

A hybrid approach was chosen for the QV8 project: All services that are specifically necessary for a component type were calculated per component. The services that could not be assigned were tendered in the classic way with service items. In addition, as a calculation basis for the contractors, a profile was linked for each component type, which described the services to be included. This also made it possible not to have to "model" all the details in a time-consuming way, but to provide linked information with the component. These included, for example, hand sketches of sealing transitions or plan details for a lattice girder. This proved to be proportionate and avoided overloaded model geometries. The description sheet formed the distribution key between the physical objects and the services required for production.

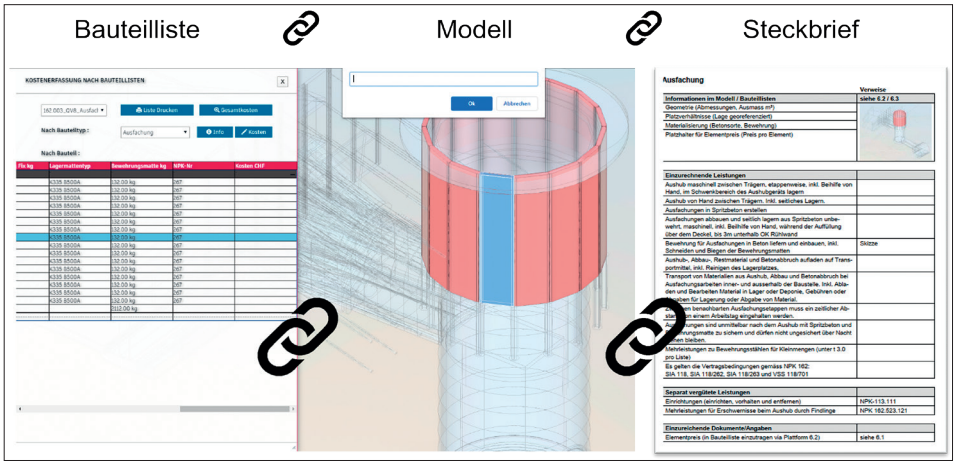
There is a subsoil risk when working underground. Boundary conditions related to the project can change as the project progresses. For this reason, additional risk items were included in the specifications and price analyses were required for risky components. The risk items consisted, for example, surcharges for obstacles for bored piles or prolonged installation maintenance. With the price analyses, a basis was created for deviations in services for construction elements.

2.3 Dossier structure

The structure of the tender dossier hardly differs from the previous structure, but it does not include classic plans. Previous elements are, for example, the draft contract document, special provisions, bills of quantities and forms for contractor details. The dossier has been supplemented by mainly three additional elements:

- The "Special Provisions" were supplemented by "Information Sheets". These were, as described above, a document for each component type listing the services to be includ-

- Dem „Leistungsverzeichnis“ (LV) wurden als Anhang Bauteillisten je Bauteiltyp hinzugefügt. Die Summe je Bauteilliste konnte in das LV in korrespondierende Platzhalterpositionen übertragen werden. Somit konnte mit dem Leistungsverzeichnis wie bis anhin die gesamte Offerte abgedeckt werden. Massgebend für die Abrechnung waren allerdings weiterhin die einzelnen Preise je Bauteil.
- Den „Beilagen der Bauherrschaft“ wurden Zugangsdaten für die Konsultation des BIM-Modelles beigefügt. Dieses Modell ersetzte die klassischen Plangrundlagen. Es wurden aber nicht alle Beilagen komplett im Modell integriert. Beispielsweise waren der geologische Bericht und das Überwachungskonzept hier noch in Dokumentform beigelegt.



Quelle/credit: Basler & Hofmann AG

2 Illustration der Verknüpfung von Modell, Bauteilliste und Steckbrief
Illustration of the link between model, component list and fact sheet

2.4 Publikation via Plattform

Die Form der Submission soll grundsätzlich allen Anbietenden die gleichen Möglichkeiten geben, ein Angebot einzureichen. Jeder Unternehmer muss sein Angebot ohne marktbeschränkende Softwareanforderungen erstellen können. Zudem müssen die finalen Angebote druckbar, unterzeichenbar und per Post in Papierform einreichbar sein.

Um das Submissionsmodell für die Kalkulation nutzen zu können, wurde für das Projekt QV8 ein Web-Zugang eingerichtet. So wurde es den Anbietenden ermöglicht, die Bauteile interaktiv am Modell zu bepreisen und in Listenform zu exportieren. Über eine Auswahlmaske hatten die Anbietenden Zugriff auf die zu bepreisenden Bauteile und Bauteillisten inklusive der verknüpften Steckbriefe. In dem/den ausgewählten Listenelement/en konnte der Angebotspreis direkt eingegeben werden. Die Anbietenden konnten zusätzliche Webzugänge an Subunternehmer verteilen, um deren Teilangebot ebenfalls modellbasiert abzuholen. Waren alle Bauteile mit Preisen versehen, konnte der Anbietende die Bauteillisten und eine Gesamtkostenaufstellung im PDF-Format exportieren. Die Summe je Bauteilliste wurde von den Anbietenden in die dafür vorgesehenen Platzhalter-Positionen im Leistungsverzeichnis übertragen. Somit wurden die Bauteillisten als Anhang des Leistungsverzeichnisses zum integralen Bestandteil des Angebots. Die bepreisten Bauteillisten und die weiteren Unterlagen konnten hiermit in Papierform per Post eingereicht werden.

Mit dem hybriden Vorgehen ist die Brücke zwischen der bauteilorientierten und der leistungsorientierten Denkweise geschlagen. Konzeptuell ist der Ablauf aber durchgängig und praxistauglich. Der Workflow und die Schnittstellen zwischen

ed and specifically supplemented by sketches, details or other information.

- Component lists per component type were added to the “bill of quantities” as an appendix. The sum per component list could be transferred into the specifications in corresponding placeholder positions. Thus, the entire offer was covered by the bill of quantities as before. However, the individual prices per component continued to be decisive for invoicing.
- Access data for consultation of the BIM model were attached to the “contractor’s attachments”. This model replaced the classic planning documents. However, not all attachments were completely integrated into the model. For example, the geological report and monitoring concept were still attached in document form.

2.4 Publication via platform

The submission form should basically give all bidders the same opportunities to submit a bid. Each contractor must be able to prepare their bid without software requirements that restrict the market. In addition, the final bids must be printable, signable and submittable by post in paper form.

In order to be able to use the submission model for calculating costs, web access was set up for the QV8 project. This enabled the bidders to price the components interactively on the model and to export them in list form. The bidders had access to the components and component lists to be priced, including the linked fact sheets, via a selection screen. The bid price could be entered directly in the selected list element(s). The bidders could distribute additional web accesses to subcontractors in order to also collect their partial offers on a model basis. Once all components were priced, the bidder could export the component lists and a total cost breakdown in PDF format. The total for each component list was transferred by the bidder to the placeholder items provided for this purpose in the bill of quantities. Thus, the component lists became an integral part of the tender as an annex to the bill of quantities. The priced component lists and the other documents were submitted in paper form by post.

Modell und Kalkulation sind sicherlich noch optimierbar. Insbesondere wenn die Angebote rein elektronisch, beispielsweise mit dem IFC-Schema (Industry Foundation Classes), übergeben werden können, ergeben sich für Bearbeitung und Weiterbearbeitung massgebende Vorteile. Die Beschaffungspraxis wird sich dahin gehend noch weiterentwickeln. Bestrebungen dazu laufen bereits in verschiedenen Arbeitsgruppen wie beispielsweise der BuildingSmartSchweiz-Arbeitsgruppe zum Usecase „Modellbasierte Devisierung und Kalkulation".

3 Bearbeitung der Submission beim Unternehmer

Die Submission des Projektes ist durch ein zweigeteiltes Leistungsverzeichnis erfolgt. Der erste Teil war nach Leistungspositionen gegliedert und beinhaltete Positionen, welche nicht direkt Objekten im Modell zugeordnet werden konnten, sowie weitere Zusatzleistungen.

Die Bauteile waren im Leistungsverzeichnis in Bauteillisten ähnlicher Art zusammengefasst. Beispielsweise befanden sich in der Liste der Ausbruchsicherung die Bauteiltypen „Ausbruchsicherung Schacht" und „Ausbruchsicherung Stollen".

Für die Kalkulation wurde der Steckbrief in Positionen des Normpositionen-Katalogs (NPK) übersetzt. Die Übersetzung war notwendig, damit die internen Kalkulationsansätze genutzt werden konnten. Diese sind nach NPK-Struktur aufgebaut. Die Übersetzung der Steckbriefe in NPK-Positionen stellte eine Herausforderung für die Kalkulation dar, welche jedoch durch die Erfahrung der Kalkulatoren mit etwas Aufwand gelöst werden konnte. Für jede Position wurde eine Analyse erstellt. In diese Analyse flossen Informationen der Bauteile ein. Es wurden beispielsweise Volumina, Flächen und Materialität von den Bauteilen abgefragt und in der Analyse genutzt.

Während der Kalkulation war die visuelle Darstellung der Bauteile und ihres Kontextes von Vorteil. Das erleichterte das Projektverständnis. Ebenfalls war die detaillierte Darstellung der Bauphasen im Bauablauf eine Hilfe. So konnten die bereits gemachten Überlegungen besser nachvollzogen werden.

4 Ausführung ab Modell

Grundsätzlich wurde für die Ausführungsphase das Prinzip des Modells als „Single source of truth" vereinbart. Da sich aber solch ein Modell mit fortschreitender Detaillierung und Ausführung verändert, ist dieses Prinzip nicht ganz so trivial umzusetzen, wie es sich anhört. Die konkreten Abläufe und Schnittstellen wurden laufend in einem BIM-Projektabwicklungsplan festgehalten und entsprechend den Erfahrungen weitergeschrieben. Folgende Abschnitte beschreiben die wichtigsten drei Themengebiete.

The hybrid approach bridges the gap between the component-oriented and the performance-oriented way of thinking. Conceptually, however, the process is consistent and practicable. The workflow and interfaces between model and calculation can certainly still be optimised. In particular, if the offers can be transferred purely electronically, for example with the IFC (Industry Foundation Classes) schema, there will be significant advantages for processing and further development. Procurement practice will continue to develop in this direction. Efforts are already underway in various working groups, such as the BuildingSmartSwitzerland working group on the "model-based planning and costing" use case.,

3 Processing the submission to the contractor

The submission of the project was carried out by means of a two-part bill of quantities. The first part was structured according to service items and contained items that could not be directly assigned to objects in the model, as well as other additional services.

The components were grouped together in the bill of quantities in lists of similar components. For example, the list of excavation reinforcements included the component types "excavation reinforcement shaft" and "excavation reinforcement gallery".

For the cost estimates, the profile was translated into NPK (Swiss catalogue of building specifications) items. The translation was necessary so that the internal costing approaches could be used. These are structured according to the NPK. The translation of the fact sheets into NPK items was a challenge for the cost estimate, which, however, was solved with a bit of effort due to the cost estimators' experiences. An analysis was made for each specification. Information on the components was included in this analysis. For example, volumes, areas and materiality of the components were queried and used in the analysis.

During the calculation, the visual representation of the components and their context was an advantage. This made it easier to understand the project. The detailed representation of the phases in the construction process was also helpful. This made it easier to understand the considerations that had already been made.

4 Version from the model

In principle, the model was agreed to be the "single source of truth" for the execution phase. However, since such a model changes with progressive detailing and execution, this principle is not quite as simple to implement as it sounds. The specific processes and interfaces were continuously recorded in a BIM project execution plan and further written according to experience. The following sections describe the three most important topics.

4.1 Modellaufbereitung/AVOR

Das Submissionsmodell wurde auf einen Stand ausgearbeitet, welcher alle kostenrelevanten Details beinhaltete. Für die Ausführung musste das Modell allerdings noch weiter verfeinert werden. Grundsätzlich sollten Projekt und somit das Modell vor Ausführung komplett fertig sein. Dies ist aber aufgrund sich ändernder Randbedingungen, neuer Erkenntnisse (Geologie) und Optimierungen selten möglich. Wichtig ist für die Projektpartner, dass jeweils klar ersichtlich ist, welche Information „Gut zur Ausführung" ist und wer wann welche Änderung eingepflegt hat. Hierzu wurden die Daten auf einer Gemeinsamen Datenplattform (CDE) ausgetauscht, wo sie jeweils einen Prüfprozess durchliefen. Dieser erlaubte es, die notwendigen Rückmeldungen direkt auf der Plattform einzuholen sowie automatisiert zu dokumentieren, was wann von wem freigegeben wurde.

Das Modell wurde gemäss dem Bauprogramm in Teilmodelle unterteilt. Ein Teilmodell ist ein räumlicher und gewerkspezifischer Teilbereich und kann mit einem Planpaket verglichen werden. Davon konnte ein Modelllieferprogramm abgeleitet werden, welches die notwendigen Feedbackloops mit einbezieht. Aufgrund der höheren Abdeckung eines Modells ist auch die Anpassungszeit höher. Es sind sowohl Mensch als auch Technik gefordert, um nicht nur effizient am Modell zu kommunizieren, aber auch Änderungen effizient einpflegen zu können. Dies bedarf oft auch einer kooperativen Findung, wie welche Information mithilfe des Modelles transportiert werden kann.

Die bei der QV8 gemachten Erfahrungen zeigen vor allem eines: Der Aufwand für die Erstellung der Ausführungsansichten ist aktuell für die Unternehmungen (noch) grösser, als wenn dies der Planer übernimmt. Dies vor allem deswegen, da der Planer besser weiss, wie das Modell aufgebaut ist. Da die Unternehmung allerdings besser weiss, wie sie den eigentlichen Bau erstellen will, braucht es einen engen Austausch in der AVOR-Phase. Dieser Trend wird sich sicherlich etwas ändern: Die Modelle werden von den Planern standardisierter aufbereitet werden. Zusätzlich werden die Unternehmungen mehr Know-how und Tools zur Verfügung erarbeitet haben, um die Modelle für die Baustelle zu konditionieren. Wie bei konventionellen Projekten ist es schlussendlich projektspezifisch, aber auch teamspezifisch anzuschauen, wer welche Leistung wann erbringt, um möglichst ressourceneffizient zum Ziel zu kommen. Im gemeinsamen Dialog zwischen Planer und Unternehmer findet sich stets eine Lösung. Das Projekt hat gezeigt, dass bei der Erstellung der Modelle für die Realisierung inklusive der geeigneten Aufarbeitung der Daten eine klare vertragliche Regelung sowie deren Vergütung gefunden werden muss.

4.2 Ausführung

Für die Ausführung ab Modell ist die Aufteilung in Teilmodelle sehr hilfreich. Alle Bauteile in einem solchen Modell wurden vorgängig geprüft und freigegeben. Aus diesen Teilmodellen wurden Ausführungsansichten abgeleitet (siehe Kapitel 4.1). Diese Ausführungsansichten beinhalten beispielsweise Mass-

4.1 Model preparation/preliminary work AVOR

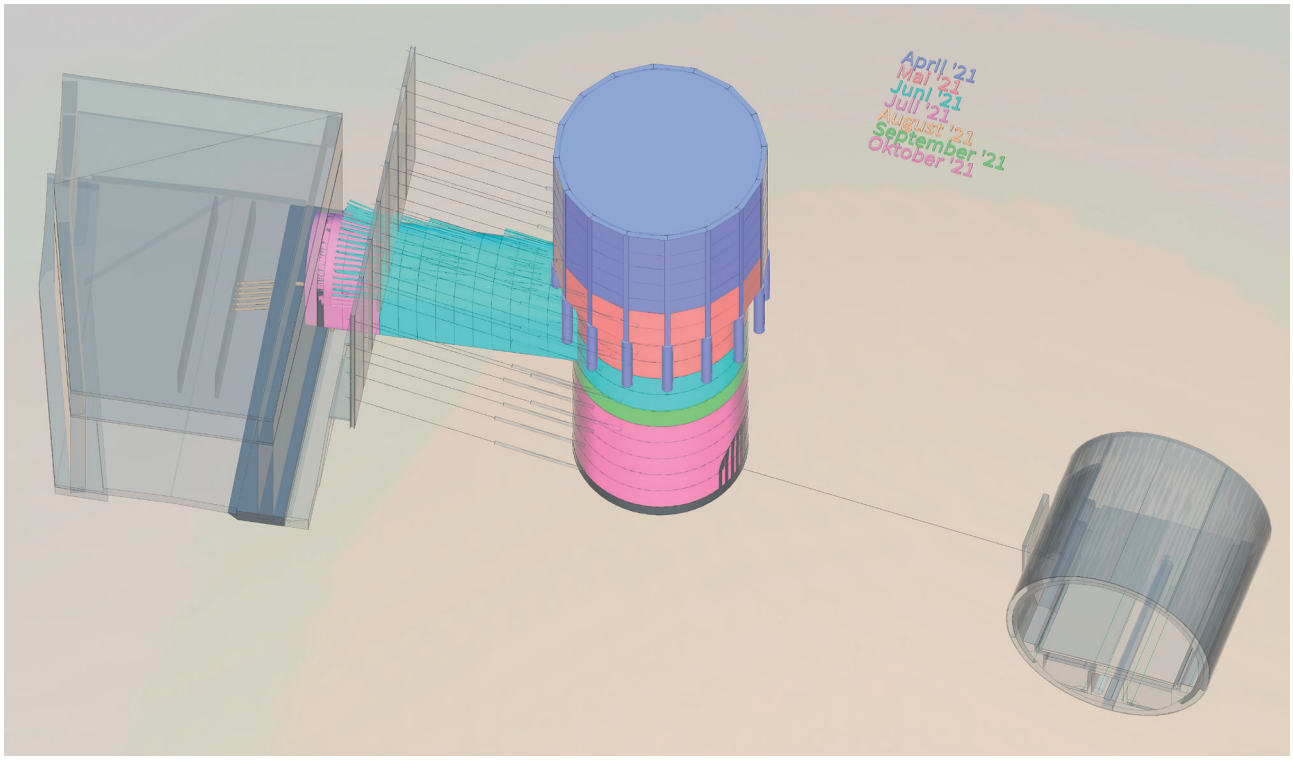
The submission model was developed to a level that included all cost-relevant details. For implementation, however, the model had to be further refined. In principle, the project – and thus the model – had to be completely finished before execution. Unfortunately, this is rarely possible due to changing boundary conditions, new findings (geology) and optimisation requirements. It is important that the project partners can clearly see which information is "approved" and who made which changes and when. For this purpose, the data was exchanged on a common data platform (CDE), where it went through a verification process. This made it possible to obtain the necessary feedback directly on the platform and to automatically document what was released when and by whom.

The model was divided into sub-models according to the construction programme. A sub-model is a spatial and trade-specific sub-area and can be compared with a plan package. From this package, a model delivery programme was derived, which includes the necessary feedback loops. Due to the higher coverage of a model, the adaptation time is also higher. Both people and technology are required not only to communicate efficiently on the model, but also to be able to incorporate changes efficiently. This often requires a cooperative understanding of how which information can be transported with the help of the model.

The experiences gained with the QV8 show one thing above all: The effort made by the contractors to create the implementation views is currently (still) greater than if the planner takes over this task. This is mainly because the planner knows more about how the model is constructed. However, since the contractor knows more about what they want to do with the actual construction, there needs to be a close exchange of information during the preliminary design phase. This trend will certainly change somewhat. The models will be prepared by the planners in a more standardised way. In addition, the contractors will have more know-how and tools at their disposal to condition the models for the construction site. As with conventional projects, it is ultimately project-specific, but also team-specific, to look at who performs which service and when, in order to reach the goal as resource-efficiently as possible. A solution can always be found in joint dialogue between planners and contractors. The project has shown that when creating the models for realisation, including appropriately processing the data, it is necessary to find a clear contractual arrangement as well as remuneration.

4.2 Implementation and design

In order to design the model, it is very helpful to divide into sub-models. All components in such a model were checked and approved beforehand. Implementation views were derived from these sub-models (see chapter 4.1). These implementation views contain, for example, dimensional chains, sections or elevations. Especially at the tunnel face or in the shaft, it is important that the information is available quickly



Quelle/credit: Implenia Schweiz AG

3 *Illustration des monatlichen Baufortschritts als Basis für die modellbasierte Abrechnung*
Illustration of the monthly construction progress as a basis for model-based billing

ketten, Schnitte oder Höhenkoten. Gerade an der Ortsbrust oder im Schacht ist es wichtig, dass die Informationen schnell und übersichtlich zur Verfügung stehen. Da Bauteile teilweise einander überlagern (zum Beispiel Entwässerungsrinnen), müssen diese bei der Erstellung der Ausführungsansichten entsprechend hervorgehoben oder isoliert werden.

Jedes Bauteil soll die für die Ausführung benötigten Informationen enthalten. Hier war es notwendig, auch immer wieder auf die Steckbriefe der Bauteile zu schauen, um Informationen zu Materialität, Oberflächenqualität und Ähnlichem zu finden. Teilweise mussten auch Annahmen getroffen werden, wenn Informationen nicht rechtzeitig zur Verfügung standen. Dies ist sicherlich dem Pilotcharakter des Projektes QV8 geschuldet und kann bei zukünftigen Projekten durch standardisierte Informationsanforderungen vermieden werden.

Um Informationen effizient aus dem Modell abrufen zu können, bedarf es einfacher Werkzeuge, welche auch von Nicht-Spezialisten bedient werden können. Die Bestellung der Bewehrung ab dem BIM-Modell ist hier als Beispiel zu nennen. Alle Bewehrungseisen waren modelliert und mit Informationen versehen. Eine Ableitung der Bewehrungsliste aus dem Modell war somit möglich. Herausfordernd war hierbei die fehlende Standardisierung der Schnittstelle, sodass Informationen manuell in das für die Bestellung benötigte Format übertragen werden mussten.

Im Tunnelbau sind in der Regel alle Bauteile auf die Tunnelachse referenziert. Die zum Zeitpunkt der Projektaus-

and clearly. As some components overlap (e.g., drainage channels), these components must be highlighted or isolated accordingly when creating the implementation views.

Each component should contain the information needed for design and implementation. It was necessary to repeatedly look at the component specifications to find information on materiality, surface quality and the like. Sometimes assumptions had to be made when information was not available in time. This is certainly due to the QV8 project's pilot character and can be avoided in future projects through standardised information requirements.

In order to be able to retrieve information efficiently from the model, simple tools are needed that can also be used by non-specialists. Ordering reinforcement parts from the BIM model is an example. All rebars were modelled and provided with information. It was therefore possible to derive the reinforcement list from the model. The lack of standardisation in the interface was a challenge here – information had to be transferred manually into the format required for ordering.

In tunnel construction, all components are usually referenced to the tunnel axis. The platforms available at the time of project design only allowed work with absolute coordinates. The translation of absolute coordinates into the reference system of the tunnel axis was done by an external surveyor. This also allowed a reference to the axis to be established on the survey system.

führung vorhandenen Plattformen erlaubten lediglich ein Arbeiten mit absoluten Koordinaten. Die Übersetzung von absoluten Koordinaten in das Referenzsystem der Tunnelachse wurde über einen externen Vermesser geleistet. Dadurch konnte auf dem Vermessungsgerät auch eine Referenz zur Achse hergestellt werden.

4.3 Dokumentation

Während der Ausführung wurde am BIM-Modell auch die Dokumentation hinterlegt. Für die Rühlwandträger wurden beispielsweise die Bohrprotokolle am Bauteil im BIM-Modell durch den Unternehmer verknüpft. Der digitale Zwilling des ausgeführten Rühlwandträgers wurde somit Zugang zu den Herstellprotokollen.

Um auch den Baufortschritt am Modell nachvollziehen zu können, wurde das Herstelldatum ebenfalls an den Bauteilen im Modell hinterlegt. Somit konnte nachvollzogen werden, zu welchem Zeitpunkt welches Bauteil erstellt wurde. Damit wurde die Grundlage für die modellbasierte Abrechnung gelegt.

Im Schacht wurden mehrere 3D-Scans mit einem iPad angefertigt. Somit wurde eine durchgehende Dokumentation des Aushubs sichergestellt. Geologie und Stand der Arbeiten sind in der gescannten Punktwolke sichtbar.

5 Abrechnung

5.1 Baufortschritt = Abrechnung

Die Abrechnung gestaltet sich aufgrund der bauteilbasierten Vorgehensweise als sehr einfach und durchgängig. Alle Bauteile, welche erstellt wurden, konnten monatlich von der Unternehmung in Rechnung gestellt werden. Die Bauleitung prüft, ob diese tatsächlich in der geforderten Qualität erstellt wurden, und gibt sie zur Abrechnung frei. Die Bauteillistenposition wird entsprechend prozentual ausgemessen. Wei-

4.3 Documentation

Documentation was also stored in the BIM model during their design. For the drilled pile (wall) for example, the drilling protocols for the component were linked in the BIM model by the contractor. The digital twin of the completed drilled pile (wall) thus became accessible to the production records.

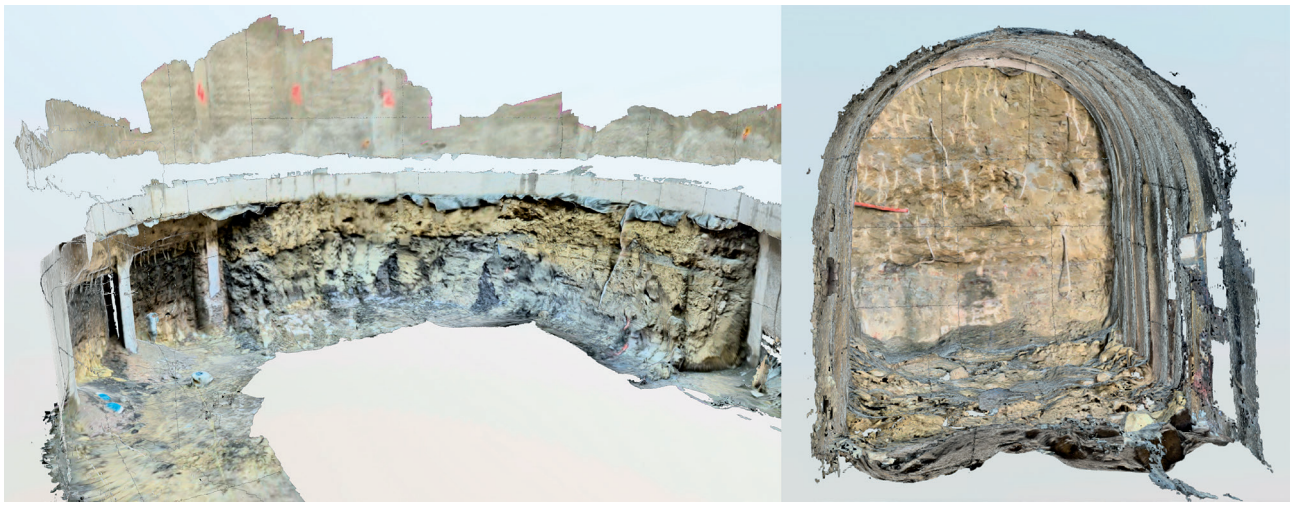
In order to be able to track the construction progress on the model, the date of manufacture was also stored on the components in the model. In this way, it was possible to see at which point in time each component was built. This laid the foundation for model-based accounting.

Several 3D scans were made in the shaft with an iPad. This ensured continuous documentation of the excavation. Geology and status of the work are visible in the scanned point cloud.

5 Billing

5.1 Construction progress = billing

Billing is very simple and consistent due to the component-based approach. All components that were created were invoiced by the contractor on a monthly basis. Construction management then checks whether these were actually created in the required quality and releases them for invoicing. The component list item is measured accordingly on a percentage basis. Other conventional service items, such as pumping hours, are measured in the monthly invoice as before. Since the component prices are stored in the model, the construction progress and the cost development can be mapped directly on the model. The advantages of the so-called 4D or 5D BIM method are thus clearly illustrated. The dimension supplement can be created cleanly and efficiently with the corresponding components.



Quelle/credit: Basler & Hofmann AG

4 Scanaufnahmen der Geologie bei Schacht- und Stollenvortrieb als Beispiele der durchgehenden Dokumentation
Geological scans during shaft and tunnel excavation as examples of continuous documentation

Quelle/credit: Basler & Hofmann AG

5 Ansicht als Beispiel für modellbasierte Kosten- und Fortschrittskontrolle inkl. Soll-Ist-Vergleich
Example view for model-based cost and progress control including target/actual comparison

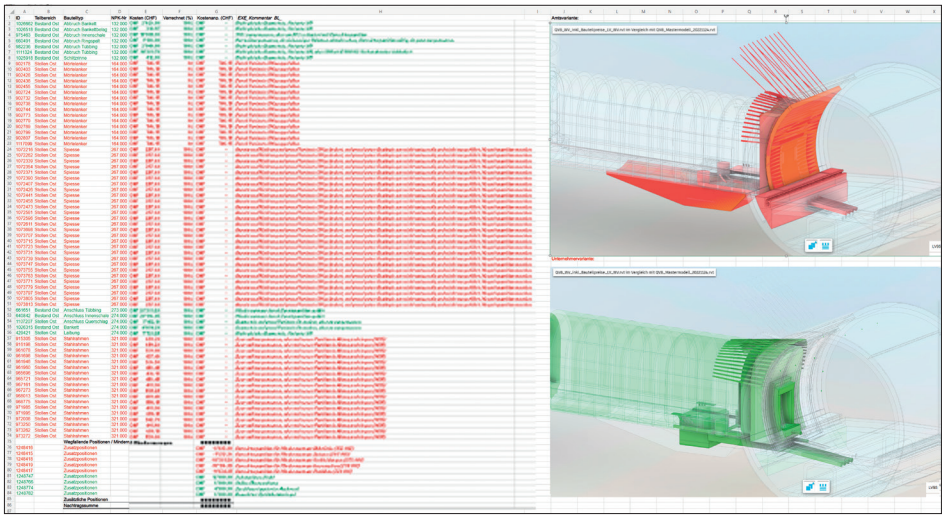
tere konventionelle Leistungspositionen wie beispielsweise Pumpstunden werden wie bis anhin in der Monatsrechnung ausgemessen. Da die Bauteilpreise den Bauteilen im Modell hinterlegt sind, kann sehr direkt sowohl der Baufortschritt als auch die Kostenentwicklung direkt am Modell abgebildet werden. Die Vorteile der sogenannte 4D- respektive 5D-BIM-Methode werden so klar illustriert. Die Ausmassbeilage kann mit den entsprechenden Bauteilen sauber und effizient erstellt werden.

5.2 Vertragsanpassungen aus Projektänderungen

Projektänderungen sind sowohl bauherrenseitig als auch durch den Unternehmer ausgelöst worden. Durch die bauteilbasierte Herangehensweise waren die Leistungen bereits pro Bauteil gebündelt. Dies ermöglichte, solche Leistungspakete einfach aus dem Vertrag zu lösen oder neue hinzuzufügen. Die angewandte Formel lautete: Vertragsanpassung ist die Summe aus hinzukommenden Bauteilen minus wegfallende Bauteile plus die Änderung der beibehaltenen Bauteile. Durch diese Durchgängigkeit konnten die Änderungen am Modell verständlich visualisiert werden und die Verhandlung unterstützen. Diskussionen wurden dadurch nicht hinfällig, aber gezielter und für alle Seiten nachvollziehbarer.

5.2 Contract adjustments from project changes

Project changes were triggered by both the developer and the contractor. Due to the component-based approach, the services were already bundled per component. This made it possible to simply remove such service packages from the contract or add new ones. The formula applied was as follows: Contract adjustment is the sum of added components minus omitted components plus the change in retained components. This consistency made it possible to visualise the changes to the model in a comprehensible way and to support the negotiations. This did not make discussions obsolete, but rather more targeted and comprehensible for all sides.



Quelle/credit: Basler & Hofmann AG

6 Zusammenstellung einer modellbasierten Vertragsanpassung (grün = neue Bauteile, rot= entfallende Bauteile)
Compilation of model-based contract adjustments (green = new construction components, red = omitted components)

6 Schlusswort

Das Pilotprojekt zeigt: Wollen wir die Ausschreibung als letzte Lücke in der digitalen Prozesskette schliessen, braucht es neue Werkzeuge, vor allem aber auch den Mut, sich konsequent auf neue Denkweisen einzulassen.

Neue Prozesse bringen zwangsläufig Unsicherheiten mit sich. Es war entscheidend, dass die Bauherrschaft bereit war, einen klaren Schnitt hin zu neuen Ansätzen zu machen und sich komplett auf die neue Denkweise einzulassen. Das Projektteam war von Beginn weg überzeugt, dass das Risiko gegenüber dem konventionellen Prozess nicht grösser ist, im Gegenteil: Hat ein Modell die Ausschreibungsreife erreicht, sollten die einzelnen Bauteile alle Informationen enthalten, die es braucht, damit der Unternehmer genau versteht, was bestellt wird. Die vielfältigen Visualisierungsmöglichkeiten unterstützten das Projektverständnis beachtlich. Für die Zukunft wird eine Standardisierung der Steckbriefe empfohlen, um die Effizienzgewinne über die Projekte hinweg zu realisieren. Datenhygiene, Modell-Kollaboration und Daten-Zugänglichkeit für alle Beteiligten sind essenzielle Zutaten für erfolgreiche Projekte in der digitalen Zukunft.

6 Conclusion

The pilot project shows that if we want to close the tender as the last gap in the digital process chain, we need new tools, but above all the courage to consistently engage in new ways of thinking.

New processes inevitably bring about uncertainties. It was crucial that the contractor was prepared to make a clear move towards new approaches and to embrace this new way of thinking completely. The project team was convinced from the outset that the risk was no greater than in the conventional process. On the contrary, once a model has reached tender stage, the individual components should contain all the information needed so that the contractor understands exactly what is being ordered. The various visualisation options considerably support the understanding of the project. For the future, standardisation of the fact sheets is recommended in order to realise efficiency gains across projects. Data hygiene, model collaboration and data accessibility for all stakeholders are essential ingredients for successful projects in the digital future.

PROJEKTDATEN

Region
Nordostschweiz, St. Gallen

Bauherr, Projekt- und Oberbauleitung
ASTRA, Filiale Winterthur

Planung und Bauleitung
Basler & Hoffman AG

Ausführung
Implenia Schweiz AG

Kenndaten

Bauzeit:	Feb. 2021–Sept. 2022
Inbetriebnahme:	Frühjahr 2023
Baukosten Tunnel:	ca. CHF 4 Mio.
Gesamtlänge:	ca. 40 m Stollenvortrieb, ca. 30 m Schachtausbruch
Ausbruchquerschnitt:	ca. 6 x 4.5 m (ca. 25 m²)

Besondere Merkmale
Ausbruch im Lockergestein und Fels, vertikaler und horizontaler Vortrieb, Anschluss an Bestand unter Betrieb. Modellbasierte Planung, Ausschreibung, Ausführung, Abrechnung und Schlussdokumentation

PROJECT DATA

Region
North-east Switzerland, St. Gallen

Client, project and superstructure management
FEDRO, Winterthur branch

Planning and construction management
Basler & Hoffman AG

Design
Implenia Schweiz AG

Key dates

Construction time:	Feb. 2021–Sept. 2022
Commissioning:	Early 2023
Construction costs of the tunnel:	approx. CHF 4 mill.
Total length:	approx. 40 m tunnel excavation, approx. 30 m shaft excavation
Breakthrough cross-section:	approx. 6 x 4.5 m (approx. 25 m²)

Special features
Excavation in loose rock and bedrock, vertical and horizontal excavation, connection to existing structures under operation. Model-based planning, tendering, execution, billing and final documentation.

SWISS TUNNEL KOLLOQUIUM
2023

STS Young Members Podium

12. Juni 2023

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

Sarah Ewason, MSc ETH Bau-Ing, AFRY Schweiz AG, Zürich/CH

Entwässerungsstollen Braunwald

Herausforderungen Vortrieb und Drainagebohrungen

Braunwald, ein Dorf im südlichen Glarnerland, liegt auf einer aktiven Rutschung. Die Bewegungen verursachen Schäden an Gebäuden und es besteht die Gefahr von Murgängen in das darunter liegende Haupttal des Kantons Glarus.
Ein Entwässerungsstollen im standfesten Fels mit Drainagebohrungen im First bis in die darüber liegende Rutschmasse wird die Bewegungen reduzieren.

Braunwald drainage tunnel

Challenges associated with excavation and drainage drilling

Braunwald, a village in southern Glarus (central-east Switzerland), is situated on an active landslide zone. As a result, moving rock and debris sometimes cause damage to buildings, and there is a danger of debris flows in Glarus Canton's main valley below.
A drainage tunnel constructed in stable bedrock nearby – with drainage holes throughout the tunnel roof reaching up into the overlying landslide zone material – will reduce these events.

1 Rutschung Braunwald

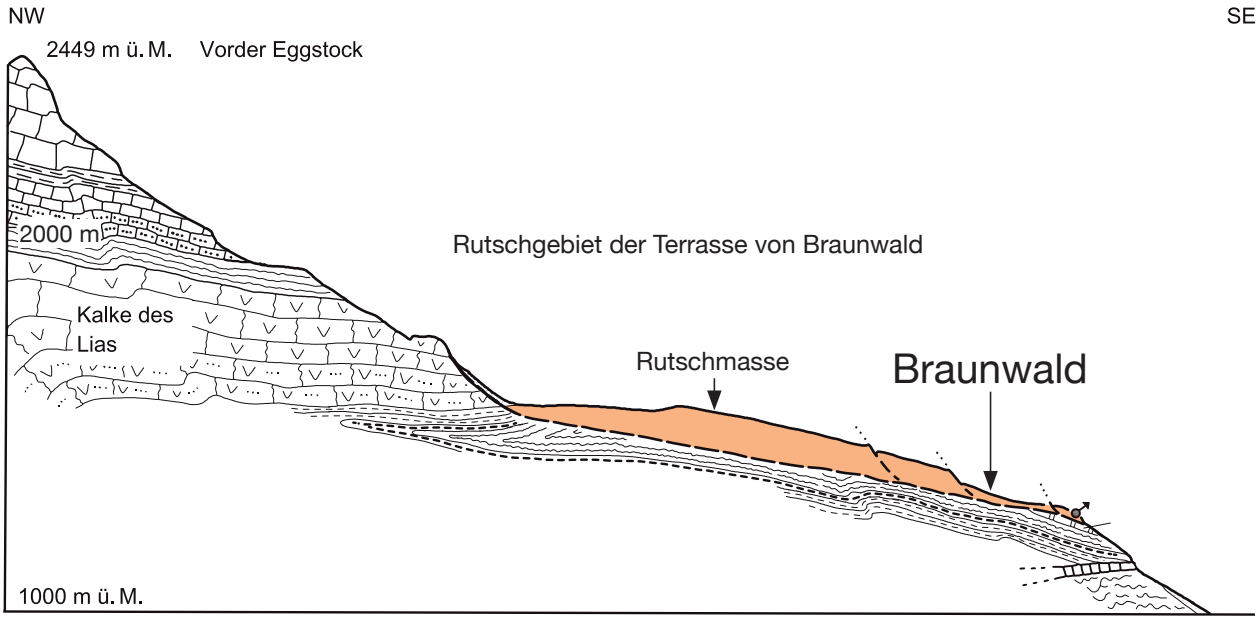
1.1 Problemstellung

Braunwald, ein sonniges, autofreies Dorf im südlichen Glarnerland, liegt auf einer ca. 4 km² grossen Bergterrasse, welche seit 10 000 Jahren ein aktives Rutschgebiet darstellt. Der Dorfkern liegt nahe der Felskante, über die sich das Rutschmaterial in das darunter liegende Haupttal des Kan-

1 Braunwald landslide zone

1.1 The problem

Braunwald, a sunny, car-free village in southern Glarus, is situated on a mountain slope of about 4 km², which has been part of an active landslide zone for 10,000 years. The village centre is close to the cliff's edge, over which landslide material moves into the main valley of the Canton of Glarus below



Quelle/credit: Schindler, C. (1982), Problemreiche Hinterlassenschaften: Geologie und Wasserverhältnisse in Braunwald.

1 Geologischer Querschnitt durch das Rutschgebiet von Braunwald
Geological cross-section of the Braunwald landslide zone

Galerie de drainage à Braunwald

Défis liés à son excavation et aux forages drainants

Le village de Braunwald, dans le sud de la région de Glaris, est situé sur une zone de glissement de terrain active. Il en résulte des dommages aux bâtiments et un risque de coulées de débris dans la vallée principale du canton de Glaris en contrebas. Afin de réduire ces mouvements rocheux, la construction d'une galerie de drainage dans un substrat rocheux stable est prévue. Des forages drainants d'une longueur maximale de 55 m seront réalisés depuis la voûte de la galerie dans la masse de glissement située au-dessus. Les forages drainants et l'excavation de la galerie traverseront l'horizon du glissement de terrain et devront être en mesure d'absorber d'importants déplacements de roches. L'accès à ce chantier alpin n'est possible que par téléphérique monte-charge.

Cunicolo per il drenaggio delle acque a Braunwald

Sfide dell'avanzamento e fori di drenaggio

Braunwald si trova su di un pendio in frana. Ciò provoca danni agli edifici e pericolo di colate detritiche nella sottostante valle principale del Canton Glarona. Al fine di ridurre i movimenti è in programma un cunicolo per il drenaggio delle acque nella roccia stabile, nel colmo del quale verranno praticati dei fori di drenaggio lunghi fino a 55 m fino alla sovrastante massa franosa. I fori di drenaggio, come anche l'avanzamento, attraversano la zona di scorrimento del pendio e devono poter assorbire grandi spostamenti. Il cantiere alpino sarà accessibile soltanto attraverso una teleferica.

tons Glarus bewegt (Bild 1 und Bild 2). In diesem stark bebauten Bereich, umgeben vom Grossbruchrand, liegen die Bewegungen bei durchschnittlich 2 bis 3 cm/Jahr, wobei diese hauptsächlich zwischen März und Juni stattfinden (Bild 3). Extreme Witterungsbedingungen können zu star-

(Fig. 1 and Fig. 2). In this heavily built-up area, surrounded by the edge of the large quarry, rocks and earth move an average of 2 to 3 cm/year, mainly between March and June (Fig. 3). Extreme weather conditions can lead to more significant landslide activity, with displacement rates of up to

Quelle/credit: www.klapperlapapp.ch, (27.02.2023), www.klapperlapapp.ch/index.php?rex_media_type=medium&rex_media_file=braunwald_1.jpg

2 *Vogelperspektive von Braunwald und rechts das beschattete Haupttal des Kanton Glarus*
Bird's-eye view of Braunwald and, on the right, the main valley of Canton Glarus

ken Beschleunigungen der Rutschung mit Verschiebungsraten bis zu 10 cm/Jahr führen. Durch diese Bewegungen entstehen grosse Schäden an bestehenden Bauten im Dorf und erhebliche Schutzdefizite aufgrund der Gefahr von Murgängen für die Infrastruktur und die Siedlungen im Tal.

1.2 Ursache der Rutschung

Die Rutsch- und Sackungsmasse, auf der Braunwald gebaut ist, stammt aus einem alten Bergsturz und ist sehr heterogen aufgebaut. Sie besteht überwiegend aus siltigem Kies und Sand mit Steinen und Blöcken, die bereichsweise häufig auftreten und einen Durchmesser von mehreren Metern haben können. Die Basisgleitfläche der Rutschung liegt innerhalb dieses Lockergesteins in der Zone des sogenannten „blauen Lehms", eines tonig-siltigen Gemischs aus unterschiedlich stark verwitterten und zermahlenen Schieferplättchen mit wenig Kies und Steinen. Die Reibungseigenschaften des „blauen Lehms" sind äusserst schlecht und verschlechtern sich in Kombination mit Wasser. Die Rutschbewegungen in der Gleitfläche erfolgen aufgrund des alljährlich verstärkten Wassereintrags während der Schneeschmelze.

Extreme Witterungsabfolgen, wie eine starke Vorsättigung der Masse in Kombination mit einer schnellen Schneeschmelze oder einer intensiven Niederschlagsperiode, können die Rutschung noch mehr beschleunigen.

1.3 Lösungsfindung

Seit 1981 überwacht und erkundet die Entwässerungskorporation Braunwald das Bewegungsverhalten der Rutschmasse. 1985 wurde eine erste grössere Entwässerungsmassnahme realisiert in Form einer „Sickerwand" mit einer Länge von 160 m. Trotzdem ereignete sich 1999 in unmittelbarer

10 cm/year. These movements can cause major damage to existing structures in the village and considerable deficiencies in protection for the infrastructure in the valley due to the danger of debris flows.

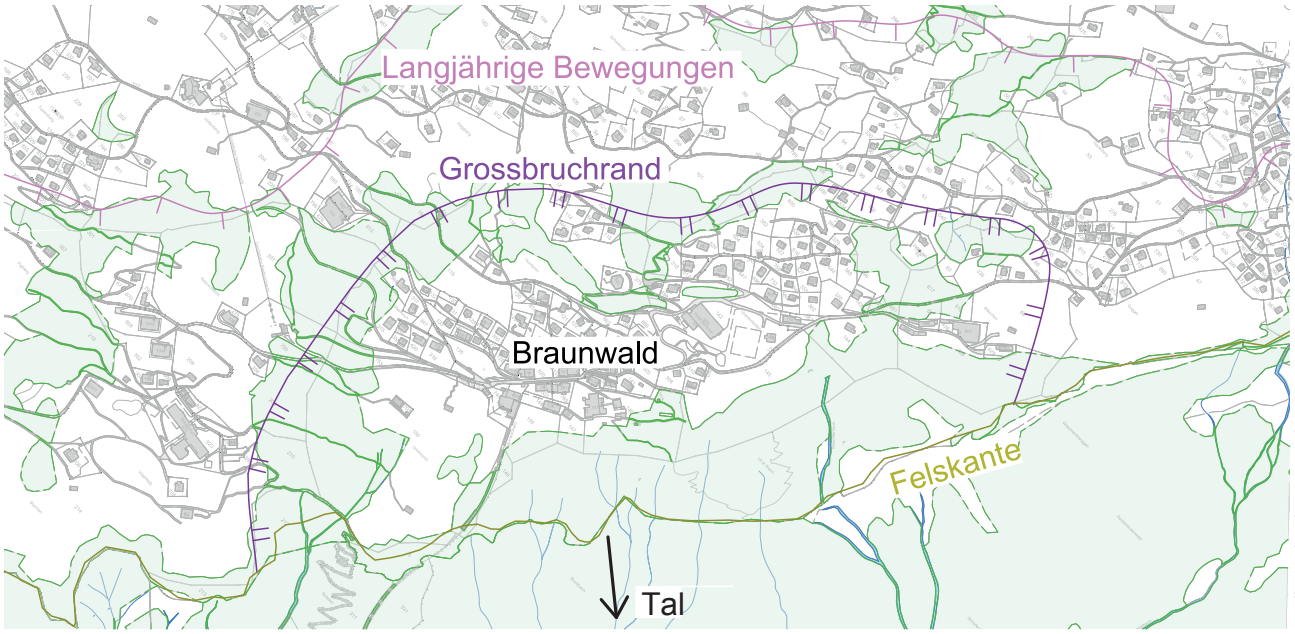
1.2 Landslide causes

The sedimentary mass on which Braunwald is built originates from an ancient landslide and has a very heterogeneous structure. It mainly consists of silty gravel, sand, small stones and boulders that occur frequently in certain areas – the latter can be several metres in diameter. The sliding surface of the landslide lies within this loose rock in the "blue clay" zone, a clayey-silty mixture of variously weathered and crushed shale flakes with a small amount of gravel and stones. The frictional properties of the "blue clay" are extremely poor and deteriorate when combined with water. The sliding movements on the surface occur due to the annual increase in water inflow during snowmelt.

Extreme weather patterns, such as heavy pre-saturation of the landmass combined with rapid snowmelt or an intense period of precipitation, can accelerate the landslide even further.

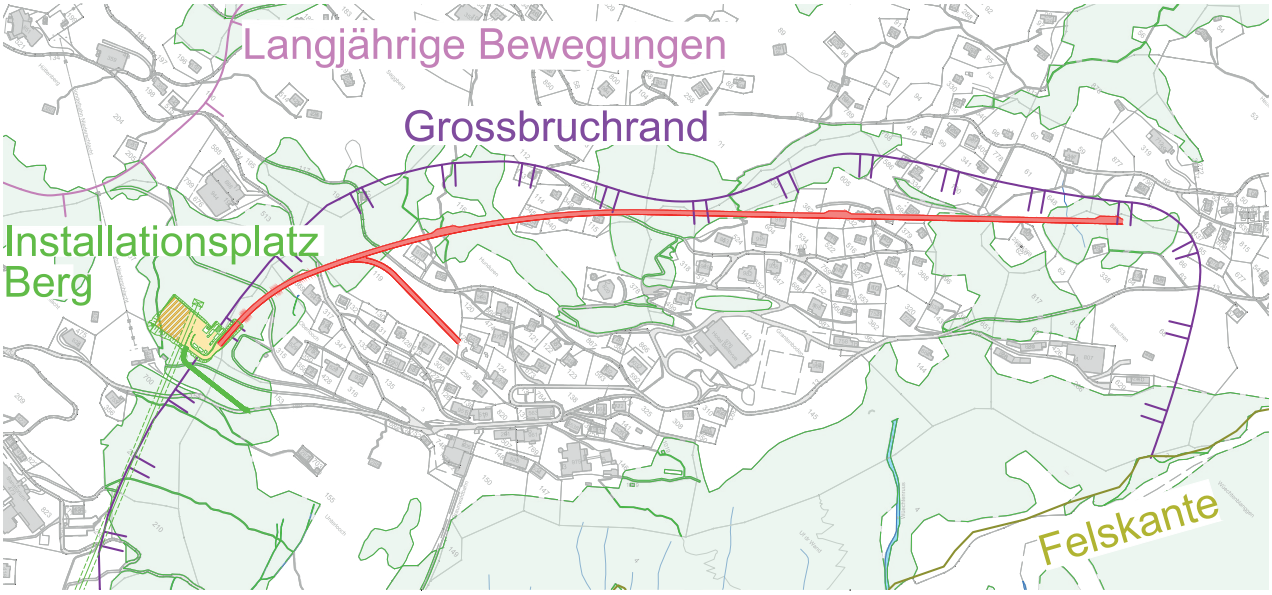
1.3 The solution

Since 1981, the Braunwald Drainage Corporation has been monitoring and investigating the landslide mass' movement behaviour. In 1985, the first major water drainage project was implemented in the form of a "seepage wall" with a length of 160 metres. Nevertheless, in 1999, a large landslide occurred in the immediate vicinity of the seepage wall with several major debris flows and a total volume of about 100,000 m³. The material reached the valley, damming the river Linth. Due to this major event, monitoring and investigations were



Quelle/credit: Plan AFRY Schweiz AG

3 *Rutschungszonen Braunwald*
Braunwald landslide zones



Quelle/credit: Plan AFRY Schweiz AG

4 Situation Entwässerungsstollen Braunwald
Braunwald drainage tunnel situation

Nähe zur Sickerwand eine grosse Rutschung mit mehreren grösseren Murgängen und einer Totalkubatur von ca. 100 000 m³. Das Material gelangte bis ins Tal, wodurch sich die Linth aufstaute. Aufgrund dieses Grossereignisses wurden die Überwachungen und Erkundungen kontinuierlich ausgebaut. 2014 wurde anhand einer 3D-Modellierung gezeigt, dass davon auszugehen ist, dass bauliche Entwässerungsmassnahmen über eine grössere Länge eine bedeutende Bewegungsreduktion zur Folge hätten und Beschleunigungsphasen aufgrund von extremen Nassperioden komplett ausbleiben.

Während des Variantenstudiums zeigte sich, dass ein Entwässerungsstollen mit Drainagebohrungen im First, die in die darüber liegende Rutschmasse reichen, die zweckmässigste Lösung ist und das beste Kosten-Nutzen-Verhältnis hat.

2 Entwässerungsstollen Braunwald

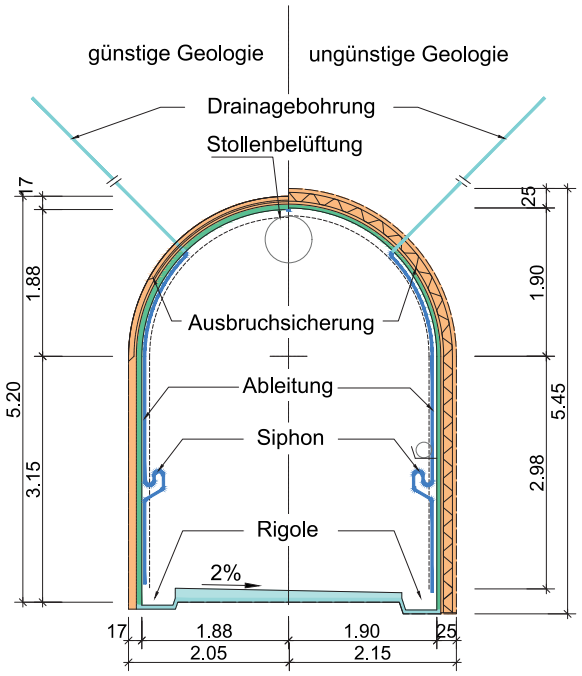
2.1 Situation und Stollenprofil

Der knapp 920 m lange Hauptstollen wird entlang des Grossbruchrandes der Hauptrutschung geführt und mit einem 145 m langen Stichstollen in Richtung Dorfkern zur Erweiterung der Drainagewirkung in diesem Bereich ergänzt (Bild 4). Der Stollen wird grösstenteils im standfesten Fels im Vollausbruch im Sprengvortrieb ausgebrochen. Im Portalbereich liegt eine circa 30 m lange Tagbaustrecke und anschliessend folgt eine circa 150 m lange Lockergesteinsstrecke, die mittels mehrerer Rohrschirmetappen überwunden wird.

Der Stollen besteht aus einem Hufeisenprofil mit einer Querschnittsfläche von 20 m² (Bild 5). Im Lockergesteinsvortrieb oder in Bereichen mit gestörter Geologie wird zur Erreichung eines Ringschlusses ein Sohlgewölbe ausgeführt.

continuously expanded. In 2014, 3D modelling showed that longer drainage structures would result in a significant reduction in rock movements and that periods of landslide acceleration due to extreme wet weather could be almost completely prevented.

While studying different options, it became apparent that a drainage tunnel with drainage holes in the tunnel and reaching into the overlying landslide mass was the most practical solution – and also had the best cost-benefit ratio.



Quelle/credit: Plan AFRY Schweiz AG

5 Querprofil Entwässerungsstollen Braunwald
Cross-section of the Braunwald drainage tunnel

Die Querschnittsabmessungen sind so gewählt, dass ein wirtschaftlicher Vortrieb gewährleistet wird und die Durchfahrt von Unterhaltsfahrzeugen in der Nutzungsphase möglich ist. Der Stollen kann in der Bau- sowie in der Nutzungsphase nur einspurig befahren werden. Im Hauptstollen sind zwei Längsnischen bergseitig vorgesehen, die als Ausweichnische dienen.

2.2 Geologie

Das Gebirge von Braunwald besteht generell aus flachliegenden Faltenstapeln aus kompetenten Lias-Gesteinen mit weicheren Trias-Gesteinen innerhalb der Falten. Der Hauptteil des Felsvortriebs des Entwässerungsstollens liegt in der sogenannten Kneugratfalte. Im Kern dieser Falte liegt die Rötformation, die geprägt ist durch mächtige Dolomitbänke. Abschnittsweise liegt sie als Rauhwacke vor, ein zellig-poröser Dolomit, der durch Auslaugung von Gips oder Anhydrit entsteht. Die Rauhwacke kann in löchrig-poröser Form auftreten oder als tonig-sandiger Schlamm mit Kies aus Dolomitstücken vorliegen.

2.3 Drainagebohrungen

Für die Drainagen wird von bis zu 55 m langen Bohrungen ausgegangen, die im First des Stollens mit einer Neigung von 45° zur Vertikalen über Kopf durch den Fels in die Rutschmasse gebohrt werden. Die Bohrungen werden geneigt ausgeführt, um eine möglichst grosse Fläche zu entwässern. Bergseitig werden die Bohrungen mit einem Abstand von 15 m erstellt und talseitig mit einem Abstand von 30 m, weil davon ausgegangen wird, dass die Hauptmenge des Wassers von der Bergseite her anfällt. Die Bohrungen enden circa 10 m über der Basisgleitfläche der Rutschung (Bild 6).

Im stabilen Fels wird unverrohrt mit einem Durchmesser von 219 mm gebohrt bis circa 2 m unterhalb der Felsoberfläche. Der Rest der Strecke wird verrohrt mit einem Durchmesser von 177.8 mm und einer Rohrwandstärke von 10 mm gebohrt. Die Verrohrung im Lockergestein ist auf der gesamten Länge mit 40 Filteröffnungen pro Meter mit einem Durchmesser von 10 mm versehen. Das Ende der

2 Braunwald drainage tunnels

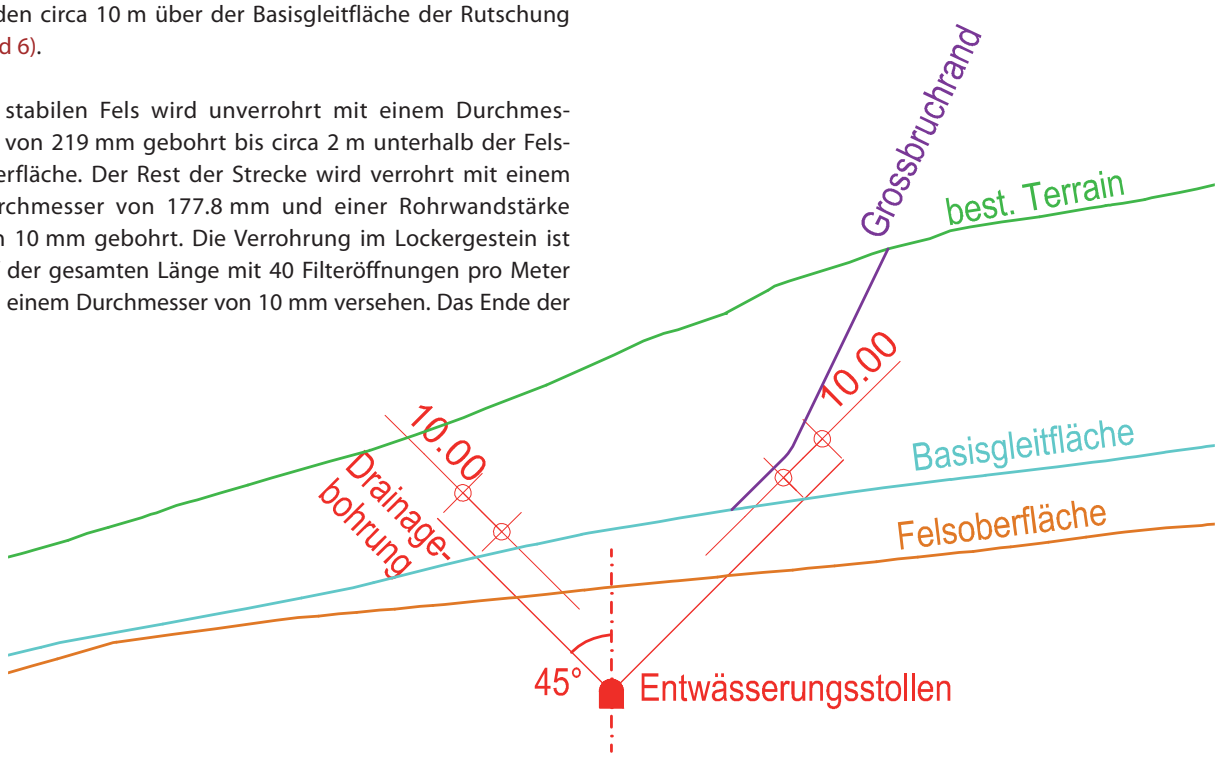
2.1 Situation and tunnel profile

The almost 920-m-long main tunnel will be routed along the edge of the main landslide zone and supplemented with a 145-m-long lateral blind tunnel in the direction of the village centre to increase the drainage effect in this area (Fig. 4). Most of the main tunnel will be excavated in stable bedrock full excavation by drill and blasting methods. There is an approximately 30-m-long cut-and-cover section in the portal area, followed by an approximately 150-m-long section of loose rock, which will be crossed by means of several pipe umbrella sections.

The tunnel consists of a horseshoe-shaped profile with a cross-sectional area of 20 m² (Fig. 5). In loose rock excavation or in areas with unpredictable geological behaviour, an invert arch is constructed to create an arch (ring) closure. The cross-sectional dimensions are chosen in such a way that economic excavation is ensured and the passage of service and maintenance vehicles is possible during the operating phase. The tunnel can only be accessed by a single lane during construction and operation. In the main tunnel, two longitudinal niches are provided on the uphill side to serve as lay-bys.

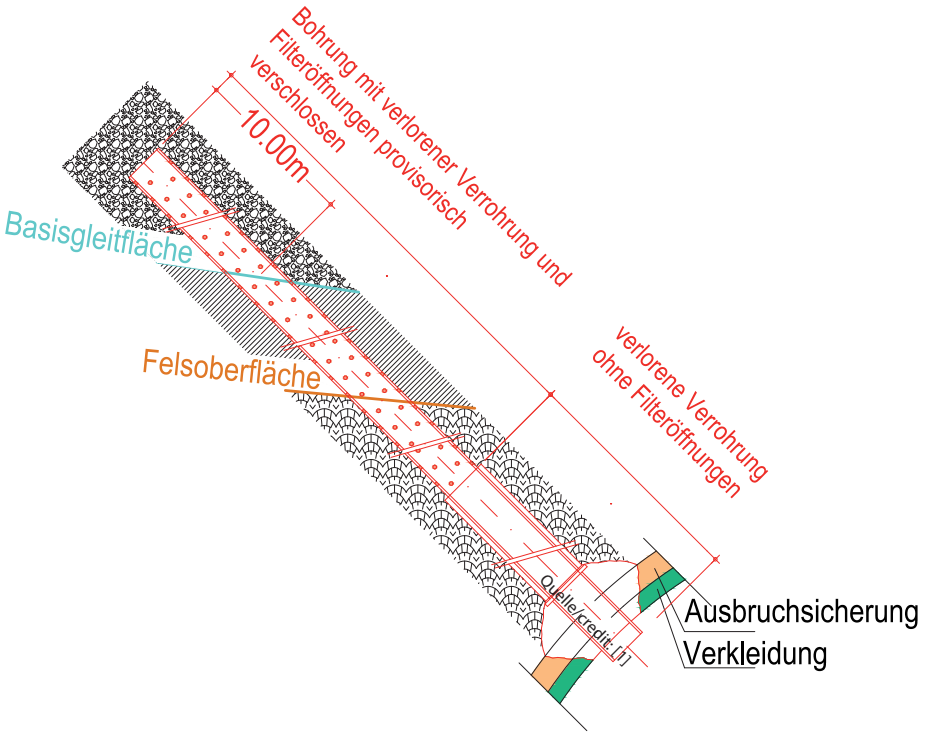
2.2 Geology

The Braunwald mountains generally consist of low-lying folded clusters of competent Lias rocks with softer Triassic Era rocks within the folded clusters. The main part of the draining tunnel's rock excavation lies in the Kneugrat fold.



Quelle/credit: Plan tbf-marti ag

6 *Schemaskizze Drainagebohrungen*
Schematic sketch of the drainage holes



Quelle/credit: Plan tbf-marti ag

7 Details der Drainagebohrungen
Details about drainage drilling

Drainagebohrung wird mit einer Zementkappe gegen den anstehenden Boden verschlossen. Im Bereich des Stollens wird das Drainagerohr durch Einbetonieren mit der Tunnelschale verbunden. Die Filteröffnungen sind während des Bohrvorgangs provisorisch verschlossen und werden danach mit Wasserdruck aufgepresst (Bild 7).

2.4 Entwässerung im Stollen

Das Wasser aus den Drainagebohrungen wird über Rohrleitungen entlang der Tunnellaibung bis zur Tunnelsohle und durch seitliche Rigolen nach draussen geführt. Ein für den Unterhalt gut zugänglicher Siphon auf Brusthöhe sorgt dafür, dass die Versinterung der Verrohrung infolge Luftaustausch vermindert werden kann. Im Portalbereich wird das drainierte Wasser eingedohlt und dem lokalen Abwassernetz zugeführt.

2.5 Logistik

Braunwald liegt auf 1250 m ü. M. und ist alleinig über eine Standseilbahn erschlossen. Diese steht der Baustelle nur für Personentransporte und sehr beschränkt für Materialtransporte zur Verfügung. Daher ist es notwendig, jegliche baurelevanten Transporte über eine eigens erstellte Bauseilbahn oder per Helikopter zu tätigen. Die im Projekt vorgesehene Bauseilbahn verbindet zwei Installationsplätze, einen auf dem Berg beim Stollenportal und einen im Tal neben dem Parkplatz der Standseilbahn Braunwald. Das Ausbruchmaterial aus dem Stollen wird mit der Bauseilbahn ins Tal befördert und von dort per Lkw abtransportiert. Bei Bedarf können bis zu 6400 m³ Ausbruchmaterial auf dem Installationsplatz Tal zwischengelagert werden. Auf dem

Within the core of this fold lies the Rötformation, which is characterised by thick dolomite rock banks. In some sections, it is present as "cellular limestone" (Rauhwacke), a cellular-porous dolomite stone formed when gypsum or anhydrite leaches out. Rauhwacke stone can occur as porous, with holes, or as clayey-sandy mud with gravel made of dolomite fragments.

2.3 Drainage drilling

The drainage drillings are drilled overhead into the tunnel roof with an inclination of 45° from the vertical with a length up to 55 m. The boreholes will be inclined in order to drain the largest possible area. On the uphill side, the boreholes will be drilled at a distance of 15 m from one another, and on the downhill side at a distance of 30 m, as it is assumed that the majority of the water will come from the uphill side. The boreholes end approximately 10 m above the sliding surface of the landslide (Fig. 6).

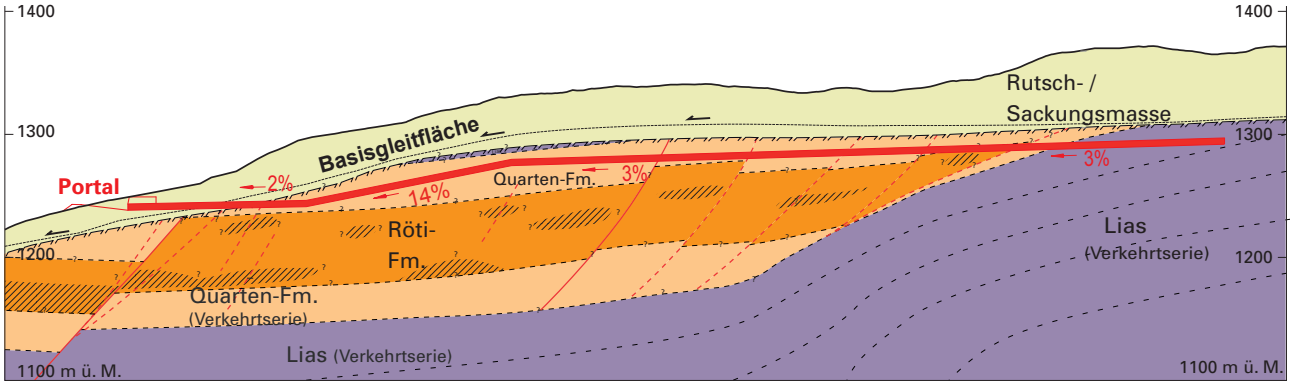
The stable rock is drilled uncased with a bit diameter of 219 mm up to about 2 m below the rock surface. The rest of the section is drilled with a bit diameter of 177.8 mm and a casing wall thickness of 10 mm. The casing in the loose rock has along the entire length of the structure 40 filter holes per metre with a diameter of 10 mm. The upper end of the drainage borehole is sealed with a cement cap to protect it from the existing soil. In the tunnel area, the drainage pipe is connected to the tunnel lining by setting it in concrete. The filter openings are provisionally closed during the drilling process and are then pressed open with water pressure (Fig. 7).

2.4 Tunnel drainage

The water flowing from the drainage boreholes is led through pipelines along the tunnel wall to the tunnel floor and through lateral drainage channels to the outside. A siphon at chest level, which is easily accessible for service and maintenance, ensures that the pipework sintering can be reduced as a result of air exchange. In the portal area, the drained water is culverted and fed into the local sewage network.

2.5 Logistics

Braunwald is located 1,250 m above sea level and is only accessible via a funicular railway. This railway is only available for transporting construction workers to the site and only to a very limited extent for transporting materials. It is



Quelle/credit: Geologische Untersuchung Projekt Entwässerungsstollen, Bericht Nr. 12115, 05.12.2018, Dr. von Moos AG, Zürich

8 *Geologisches Längenprofil mit der Lage und Längsneigung des Stollens*
Geological longitudinal profile showing the location and longitudinal inclination of the tunnel

Installationsplatz Berg ist nur eine reduzierte Lagerung von Ausbruchmaterial vorgesehen. Es können kleinere Mengen von verschmutztem Material zur Beprobung oder Ausbruchmaterial aufgrund von Stillständen der Materialseilbahn zwischengelagert werden.

3 Herausforderungen des Projektes und planerische Umsetzung

3.1 Rauhwacke

Die vertikale Linienführung des Stollens ist massgeblich durch die lokale Geologie beeinflusst. Der Stollen wird in vertikaler Richtung knapp unter der Felsoberfläche geführt, um einen Kontakt mit der Rauhwacke möglichst zu vermeiden, da sie sehr schlechte Bettungseigenschaften hat. Dafür ist der Stollen generell 2 bis 3 % geneigt. In der Mitte wird eine circa 260 m lange Strecke mit einer Steigung von 14 % notwendig (Bild 8). In Bereichen, in denen die Rauhwacke trotzdem noch angetroffen werden könnte, wird der Stollen mit einem Sohlgewölbe ausgebildet und die Ausbruchsicherung entsprechend angepasst.

3.2 Querung Gleithorizont während Lockergesteinsvortriebs

Innerhalb der Lockergesteinsstrecke quert der Vortrieb über circa 50 m schleifend den Gleithorizont. Das bedingt, dass die eingebauten Sicherungsmittel und die Verkleidung die differenziellen Verschiebungen mitmachen müssen, die nach deren Einbau stattfinden. Es wird abgeschätzt, dass aufgrund der Restdeformationsrate über die Dauer von 50 Jahre quer zur Tunnelachse Deformationen von circa 250 mm auftreten. Der bautechnische Nutzraum wird im Bereich der Querung des Gleithorizonts um diesen Betrag vergrössert. Auch werden im First kurze, radiale Drainagebohrungen ausgeführt, um die Gleitfläche lokal verstärkt zu entwässern und so die Bewegungen zu entschleunigen (Bild 9). Um die Verschiebungen in Längsrichtung des Stollens aufzunehmen, werden Schlitze als Sollbruchstellen in die Spritzbetonschale an den Rohrschirmetappenenden

therefore necessary to transport all construction-related materials via a specially constructed cable car or by helicopter. The construction cable car planned for the project connects two installation sites – one on the mountain near the tunnel portal and one in the valley next to the Braunwald funicular car park. The excavated material from the tunnel will be transported to the valley by the cable car and, from there, it will be taken away by truck. If necessary, up to 6,400 m³ of excavated material can be temporarily stored at the valley storage site. Only reduced storage of excavated material is planned at the mountain storage site. Smaller quantities of contaminated material for sampling or excavated material due to shutdowns of the cable car can be stored temporarily.

3 Challenges posed by the project and planning

3.1 Rauhwacke (cellular limestone)

The tunnel's vertical alignment is significantly influenced by the local geology. The tunnel is routed vertically just below the rock surface in order to avoid contact with the Rauhwacke stone as much as possible, as it has very poor bedding properties. Therefore, the tunnel is generally inclined by 2 to 3%. In the middle, an approximately 260-m-long section with a gradient of 14% is necessary (Fig. 8). In areas where the Rauhwacke stone could still be encountered, the tunnel is constructed with a vaulted floor and supports for excavation are adapted accordingly.

3.2 Crossing the slip plane during loose rock excavation

Inside the loose rock, excavation work crosses the slip plane over a distance of about 50 m. This means that the tunnel support elements and the lining have to withstand the differential displacements that occur after their installation. It is estimated that, due to the residual deformation rate, deformations of about 250 mm will occur transversely to the tunnel axis over a period of 50 years. The usable structural tunnel cross-section is increased by this amount at the slip

gefräst. Entstandene Risse werden während der Nutzungsphase durch Risssanierungen und Verstärkung der Spritzbetonschale ausgebessert.

3.3 Wirksamkeit Drainagebohrungen

Die effektive Wirksamkeit der Drainagebohrungen kann im Voraus nur abgeschätzt werden. Der Nachweis erfolgt erst in der Bauphase. Es ist vorgesehen, dass der Felsvortrieb unterbrochen wird, sobald der Stollenmeter 280 erreicht ist. Dann werden die ersten acht Drainagebohrungen erstellt, vier Stücke bergseitig und vier talseitig. Während des restlichen Vortriebs sowie des Einbaus der Verkleidung des Hauptstollens wird die Funktionstüchtigkeit dieser Bohrungen kontrolliert. Dafür wird das drainierte Wasser aus den ersten Bohrungen separat gefasst. Die anfallende Wassermenge wird gemessen und mit den Veränderungen der bestehenden Piezometer verglichen. Auch werden die Rohre visuell durch Kamerabefahrungen begutachtet. Nötigenfalls wird das Bohrkonzept der folgenden Bohrungen für den Haupt- sowie den Stichstollen anhand dieser Daten angepasst (zum Beispiel Abstände der Bohrungen, Anzahl der Bohrungen in Richtung Berg oder Tal, Bohrdurchmesser, Anpassung der Verrohrung, Bohrneigung oder Filteröffnungen).

Falls die Drainagewirkung des Stollens weiter gesteigert werden soll, werden lange, flachliegende Drainagebohrungen aus den Längsnischen oder am Stollenende bis hinter den Gleithorizont gebohrt.

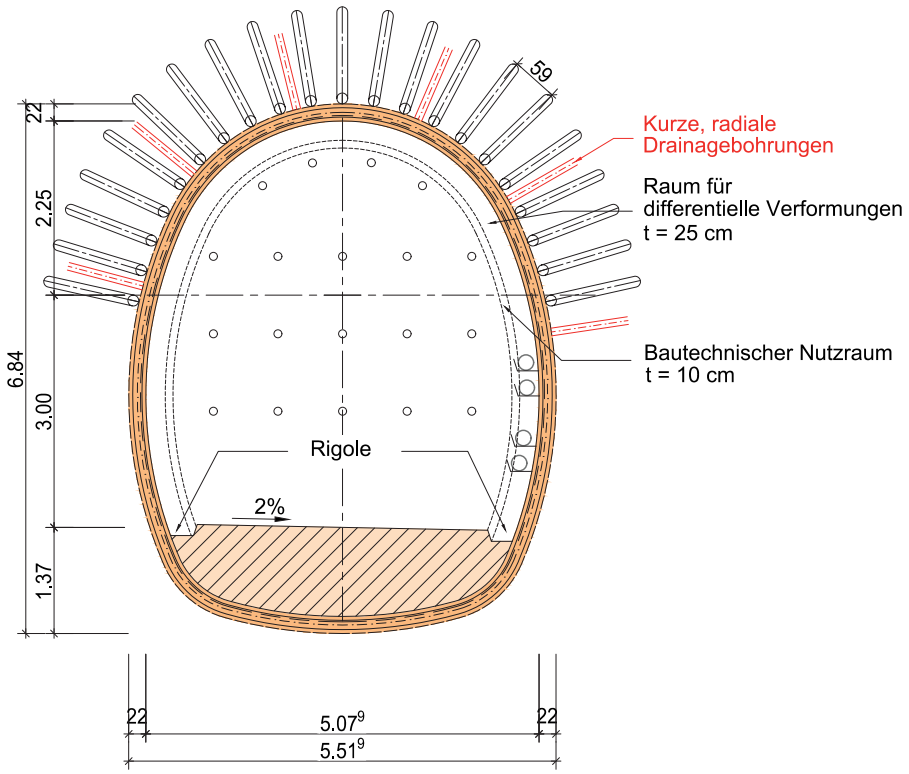
3.4 Betrieb Materialseilbahn

Aufgrund der Nähe der Installationsplätze zu Wohnbauten sind die Arbeitszeiten reduziert, in denen auf den Installationsplätzen lärmintensive Bautätigkeiten möglich sind. Dadurch ist das Befüllen der Behälter der Materialseilbahn auf maximal sieben Stunden pro Tag beschränkt. Das macht die Materialseilbahn zum limitierenden Faktor im Schutterungsprozess. In der Planung wurden verschiedene Schutterungszyklen untersucht, in denen die Nutzlast der Bauseilbahn von 8 t bis 12 t variiert und unterschiedliche Zwischenlagerungsmengen auf dem Installationsplatz Berg angenommen wurden. Es konnte nachgewiesen werden, dass die limitierte Arbeitszeit für lärmige Bautätigkeiten ausreicht, um das anfallende Ausbruchmaterial innerhalb einer Arbeitswoche mit der

plane crossing. Short radial drainage holes will also be drilled in the tunnel crown to increase local drainage of the landslide zone surface and thus decelerate the mass movements (Fig. 9). To accommodate the displacements in the longitudinal direction of the tunnel, slots are cut as predetermined breaking points into the shotcrete lining at the ends of the pipe umbrella segments. Any cracks that occur are repaired during service life by crack repair processes and by reinforcing the shotcrete lining.

3.3 Efficiency of the drainage holes

The efficiency of the drainage holes can only be estimated beforehand. Proof will only be provided during the construction phase. There are plans to interrupt rock excavation as soon as tunnel meter 280 has been reached. Then, the first eight drainage boreholes will be drilled – four on the uphill side and four on the downhill side. During the remainder of the excavation process, as well as during installation of the main tunnel's lining, the functionality of these boreholes will be monitored. For this purpose, the water drained from the first boreholes will be collected separately. The amount of water produced will be measured and compared with the changes in the existing piezometers. The inside of the pipes will also be visually inspected via cameras. If necessary, the drilling concept for the subsequent boreholes in the main tunnel and the lateral blind tunnel will be adapted on the basis of this data (e.g., distances between the boreholes,



Quelle/credit: Plan AFRY Schweiz AG

9 *Querprofil Querung Gleithorizont*
Cross-profile of the slip plane

Materialseilbahn bis ins Tal zu bringen. Es zeigte sich, dass nicht nur die Nutzlast einen Einfluss auf den Seilbahnzyklus hat, sondern auch die gewählte Spritzbetontechnik (Nass- oder Trockenverfahren) sowie die gewählte Sprengstoffart (patronierter oder Emulsionssprengstoff). Je nach gewählter Methodik verändern sich die Liefermengen und Lieferzeiten während eines Arbeitstages und beeinflussen so die zur Verfügung stehende Transportzeit für das Ausbruchmaterial. In der Ausschreibung wurde es dem Unternehmer selbst überlassen, welche Nutzlast er für die Materialseilbahn verwendet und wie er die Prozesse aufeinander abstimmt.

3.5 Beeinträchtigung von schützenswerten Naturgebieten

Der Installationsplatz Berg, der Portalbereich des Stollens sowie Teile des Bauseilbahntrassees liegen innerhalb von Waldzonen und anderen schützenswerten Lebensräumen. Um die Auswirkungen auf die vorhandenen Brutvögel sowie die Winterschlaf haltenden Fledermäuse zu reduzieren, darf der Holzschlag nur in der während des Monats Oktober stattfinden. Vorgängig muss abgeklärt werden, ob der ganzjährig brütende Fichtenkreuzschnabel im Rodungsgebiet brütet und allenfalls die Rodungszeiten angepasst werden müssen.

Ein besonderes Augenmerk liegt auch auf den vorhandenen Baumflechten. Es wurden verschiedene, seltene Flechtenarten entdeckt, die geschützt sind und vor dem Holzschlag an geeignete Bäume ausserhalb des Projektperimeters transplantiert werden müssen.

4 Projektarbeit als Jungingenieurin

4.1 Aufgaben

Nach meinem Masterabschluss im Bereich der Bauingenieurswissenschaften im Sommer 2020 habe ich als Projektingenieurin bei der AFRY Schweiz AG in der Abteilung Tunnelbau zu arbeiten begonnen. Nach ein paar Wochen stieg ich in das Projekt „Entwässerungsstollen Braunwald" für die Erarbeitung des Dossiers Bewilligungsverfahren (SIA-Phase 33) ein. Das Projektteam ist wegen der überschaubaren Grösse des Projektes auf wenige Personen beschränkt. Im Bereich Ingenieurbau sind es der Projektleiter, ein Konstrukteur und ich als Projektingenieurin. Für Fragen bezüglich Umwelt (zum Beispiel Umweltauswirkungen oder mögliche Ersatzmassnahmen) hatten wir Unterstützung von unserer internen Umweltabteilung. Von Anfang an hatte ich die Möglichkeit, viele Fragestellungen eigenständig zu erarbeiten. Ich durfte mich selbstständig mit internen und externen Spezialisten bezüglich Lüftung im Bau- und Endzustand, Materialbewirtschaftung mit einer Materialseilbahn und mögliche Lärmauswirkungen auf die benachbarten Gebäude, Bohren der Drainagebohrungen und vielem mehr absprechen. Frühzeitig konnte ich auch koordinative Aufgaben innerhalb des Projektteams wahrnehmen. So bin ich zuständig für die Betreuung des Konstrukteurs, die termingerechte Erstellung der Pläne sowie die Verarbeitung

number of boreholes in the direction of the mountain or valley, borehole diameter, adjustment of the lining, borehole inclination or filter openings).

If the tunnel's drainage effect needs to be enhanced further, long, shallow drainage holes will be drilled out of the longitudinal niches or at the end of the tunnel to the back of the slip plane.

3.4 Operating the materials funicular

Due to the proximity of the construction sites to residential buildings, working hours during which noise-intensive construction activity on the sites is possible are reduced. As a result, filling the containers used by the materials cable car is limited to a maximum of seven hours per day. This makes the materials cable car the limiting factor in the mucking process. In the planning phase, different mucking cycles were investigated, in which the payload capacity of the cable car buckets varied from 8 t to 12 t and different intermediate storage quantities were assumed at the installation site on the mountain. Evidence showed that the limited working time for noisy construction activity is sufficient to bring the excavated material down to the valley via the materials cable car within one working week. It was shown that it was not only the payload that had an influence on the cable car cycle, but also the selected shotcrete technique (wet or dry method) as well as the selected type of explosives (patronised or emulsion explosives). Depending on the chosen methodology, the delivery quantities and delivery times change during a working day and thus influence the available transport time for the excavated material. The tender left it up to the contractor to decide which payload to use for the materials cable car and how to coordinate the processes.

3.5 Encroachment on natural areas in need of conservation

The uphill construction site, the portal area of the tunnel and parts of the construction cable car route are located within forest zones and other protected habitats. In order to reduce the impact on nesting birds and hibernating bats, logging may only take place during October. Beforehand, it is necessary to clarify whether the spruce crossbill, which breeds all year round, breeds in the logging area; if necessary, the logging times must be adjusted.

Special attention is also paid to existing tree lichens. Various rare lichen species have been discovered that are protected and which need to be transplanted to suitable trees outside the project perimeter before logging.

4 Project work as a young engineer

4.1 Tasks

After completing my Master's degree in civil engineering in the summer of 2020, I started working as a project engineer at AFRY Schweiz AG in the tunnelling department. After a

der erarbeiteten Punkte in die entsprechenden Dokumente und den Abgleich der Dokumente zwischen Umwelt und Ingenieurbau.

In der Folgephase der Ausschreibung (SIA-Phase 41) durfte ich neben der Erarbeitung des kompletten Dossiers viel in der Koordination des Projektteams übernehmen. Ich konnte mich in den Projektierungssitzungen mit dem Kunden einbringen, durfte mit den Unternehmern zusammen den Projektperimeter begehen und während der Auswertung der Offerten war ich an den Unternehmergesprächen dabei.

4.2 Erkenntnisse

Der Arbeitseinstieg als junge, zu Beginn noch unerfahrene Tunnelbauingenieurin mit diesem Projekt erwies sich als Glückstreffer. Aufgrund des kleinen Projektteams kam ich mit jeglichen Fragestellungen und Bearbeitungsaspekten in Berührung, die während einer Tunnelbauprojektierung während den SIA-Phasen 33 und 41 aufkommen. Ich bekam einen Einblick in die Vielfältigkeit des Arbeitsspektrums in der Projektierung.

Ich musste mich auf die Erarbeitung einzelner Punkte konzentrieren, durfte aber das Grosse und Ganze sowie den Projektfortschritt nicht aus den Augen verlieren.

Gerade diese Gratwanderung von detaillierter Ausarbeitung und übergreifender Koordination war herausfordernd, aber sehr wertvoll für mein weiteres Berufsleben.

Schnell lernte ich, dass mehrmaliges Nachfragen keine Schwäche darstellt und dass das Eingestehen eigener Limitationen wichtig ist, damit das Projektteam und speziell der Projektleiter frühzeitig auf mögliche Verzögerungen reagieren kann.

Die Arbeit an dem Projekt bestärkte mich in meiner Begeisterung für den Tunnelbau. Ich durfte erfahren, wie vielfältig Tunnelbau ist und dass es sich nicht nur um Vortrieb und Materialbewirtschaftung handelt, sondern dass Tunnelbau in Kombination mit anderen Massnahmen, wie hier die Drainagebohrungen, eine Lösung für verschiedenste Problemstellungen bietet. Dadurch kann man als junge Ingenieurin und/oder junger Ingenieur sein Wissen in den verschiedensten Fachbereichen erweitern.

5 Ausblick

Die ersten Vorarbeiten für die Ausführung des Projektes starten voraussichtlich im Herbst 2023. Im Frühling 2024 soll der Vortrieb beginnen. Viele Aspekte wurden während der Planung untersucht. Darauf aufbauend wurde die Ausschreibung der Leistungen möglichst flexibel gestaltet, um den unterschiedlichen Verhältnissen gerecht zu werden. Wie sich das in der Praxis bewährt, wird sich während der Umsetzung zeigen.

few weeks, I joined the project "Braunwald drainage tunnel" to prepare the project approval procedure dossier (SIA phase 33). Due to the manageable size of the project, the project team is limited to a few people. In the field of civil engineering, the team consists of a project manager, a designer and me as the project engineer. For environmental questions (for example, environmental impacts or possible alternatives), we had support from our internal environmental department. Right from the start, I had the opportunity to work on many issues independently. I was allowed to discuss matters independently with internal and external specialists regarding ventilation in the construction phase and in the final stage, material management with a materials cable car and possible noise effects on the neighbouring buildings, drainage boreholes and much more. Early on, I was also able to take on organisational tasks within the project team. For example, I am responsible for supervising the draftsperson, preparing the plans on time, and processing all of the items worked out into the corresponding documents and reconciling the documents between environmental and civil engineering teams.

In the follow-up call for tenders phase (SIA phase 41), I was able to take over a lot of coordination within the project team – in addition to working on the complete project dossier. I was able to contribute to the project planning meetings with the contractor, I was allowed to walk the project perimeter and, during the evaluation of the offers, I took part in contractor meetings.

4.2 Findings

Starting work on this project as a young, initially inexperienced, tunnel engineer turned out to be a stroke of luck. Due to the small project team, I was able to handle all of the questions and processing aspects that arose during the SIA phases 33 and 41 in the tunnel construction project planning. I gained insight into the variety of work in project planning.

I had to concentrate on working out individual points, but I couldn't lose sight of the big picture and the project's progress.

It was precisely this balancing act of detailed elaboration and overarching coordination that was challenging, but very valuable for my future career.

I quickly learned that asking for help repeatedly is not a weakness and that admitting one's own limitations is important so that the project team and, in particular, the project manager can react to possible delays at an early stage.

Working on this project strengthened my enthusiasm for tunnelling. I was able to experience how diverse tunnelling is; it's not just about excavation and material management, but tunnelling can also offer a solution to a wide range of problems in combination with other measures, like drainage boreholes in this case. As a young engineer, you can broaden your own knowledge in a wide range of disciplines.

Literatur/References

[1] Bauprojekt Entwässerungsstollen Braunwald, Bericht Version 2, 12. März 2019 tbf-marti ag, Schwanden
[2] Technischer Bericht Stollen, 31. Januar 2019, Gruner AG, Basel
[3] Geologische Untersuchung Projekt Entwässerungsstollen, Bericht Nr. 12 115, 05.12.2018, Dr. von Moos AG, Zürich
[4] Dossier Baueingabe, 01.11.2021, AFRY Schweiz AG
[5] Dossier Ausschreibung, 28.01.2022, AFRY Schweiz AG

5 Overview

The preliminary work for the execution of the project is expected to start in autumn 2023, and tunnelling is scheduled to begin in spring 2024. Many aspects were examined during the planning phase. Based on these examinations, the invitation to tender for the services was designed to be as flexible as possible in order to do justice to the different conditions of the project. How this will prove itself in practice will be seen during implementation.

PROJEKTDATEN

Region
Braunwald, Glarus Süd

Bauherr, Projekt- und Oberbauleitung
Bauherr: Entwässerungskorporation Braunwald, 8784 Braunwald
Bauherrenunterstützung: tbf-marti AG, 8762 Schwanden
Oberbauleitung: Infranext GmbH, 6010 Kriens

Planung (Bau und Umwelt)
AFRY Schweiz AG

Geologie
Dr. von Moos AG, 8037 Zürich

Bauleitung und UBB*
AFRY Schweiz AG

Kenndaten

Baustart:	voraussichtlich Herbst 2023
Inbetriebnahme:	voraussichtlich Sommer 2027
Baukosten Tunnel:	ca. CHF 38.7 Mio.
Gesamtlänge:	Hauptstollen: 920 m Stichstollen: 145 m
Ausbruchquerschnitt:	20–35 m²

Besondere Merkmale
Drainagebohrungen im First, gebohrt aus dem standfesten Fels in die Rutschmasse. Alpine Baustelle erschlossen über eine Materialseilbahn. Querung des Gleithorizonts während des Vortriebs.

PROJECT DATA

Region
Braunwald, South Glarus

Client, project and site management
Client: Braunwald Drainage Corporation, 8784 Braunwald
Client support: tbf-marti AG, 8762 Schwanden
Site management: Infranext GmbH, 6010 Kriens

Planning (Construction and environment)
AFRY Schweiz AG

Geology
Dr von Moos AG, 8037 Zürich

Construction management and UBB*
AFRY Schweiz AG

Key data

Construction start:	most likely autumn 2023
Operation:	most likely summer 2027
Tunnel construction costs:	approx. CHF 38.7 mill.
Total length:	Main tunnel: 920 m Blind tunnel: 145 m
Excavation cross-section:	20–35 m²

Special features
Drainage holes in the tunnel ridge, drilled from the stable rock into the landslide mass. Alpine construction site accessed via a materials cable car. Crossing the slip plane during tunnelling.

* UBB = Umweltbaubegleitung = Environmental Construction Supervision

Luxshan Shanmugaratnam, Master of Science ETH in Bauingenieurwissenschaften, Rothpletz, Lienhard + Cie AG, Zürich / CH

Schützenmatt- und Kannenfeld-Tunnel

Profilanpassung bei Mauerwerktunnel unter Betrieb

Zur Erstellung einer redundanten Bahngütertransportroute nach Nordeuropa wird die Strecke zwischen der französischen Grenze und dem Basel SBB Rangierbahnhof entsprechend den Anforderungen des 4-Meter-Korridors geplant. An dieser ca. 5.7 km langen Trasse sind unter anderem an den innerstädtischen Tunnels Kannenfeld und Schützenmatt Anpassungen für die Erfüllung des Lichtraumprofils erforderlich.

The Schützenmatt and Kannenfeld tunnels

Clearance profile adjustment for brickwork tunnels under operation

To create an alternative rail freight transport route to northern Europe, the route between the French border and the Basel SBB marshalling yard is being planned in accordance with 4 m corridor requirements. On this approx. 5.7-km-long route, adjustments will be required along the Kannenfeld and Schützenmatt inner-city tunnels, among others, to comply with the clearance profile.

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Der mehrwöchige Streckenunterbruch auf der nördlichen Zulaufstrecke zur Neuen Eisenbahn-Alpentransversale (NEAT) bei Rastatt im Sommer 2017 zeigte deutlich einen neuralgischen Streckenabschnitt für den Güterverkehr auf der Nord-Süd-Achse in Europa. Daraufhin wurden Redundanzen für die Rheintalbahn in Deutschland gesucht. Als Alternative bietet sich die linksrheinische Route durch Frankreich an. Dazu muss unter anderem auf der Schweizer Seite im Raum Basel die Strecke zwischen der französischen Grenze (Basel St. Johann) und dem Basel SBB Rangierbahnhof entsprechend den Anforderungen des 4-Meter-Korridors (4mK) ausgebaut werden.

Auf der circa 5.7 km langen Trasse sind Anpassungen an den beiden Doppelspurtunnels Kannenfeld (KFT) und Schützenmatt (SMT), den Flügelmauern und Brücken sowie an diversen weiteren Bauwerken für die Erfüllung des Lichtraumprofils erforderlich (Bild 1). Dabei kann der KFT in drei Teile gegliedert werden: in einen 801 m langen Abschnitt mit überdecktem Hufeisenprofil aus Mauerwerk, die 185 m lange Überdeckung Kannenfeldplatz sowie die 18 m lange Strassenüberführung „Mittlere Strasse“. Der Schützenmatt-Tunnel ist 286 m lang und wurde auf der gesamten Länge mit Hufeneisenprofil in Mauerwerk ausgeführt. Die Hufeisenprofile der beiden Tunnels wurden 1901 im Tagbau auf der „grünen Wiese“ erstellt. Die Überdeckung und die Strassenüberführung wurden später mit der wachsenden Stadt gebaut. Heute stehen die beiden Tunnels mitten in der Stadt.

1 Introduction

1.1 Initial situation

The interruption to the northern access route to the New Rail Link through the Alps (NRLA) near Rastatt, which lasted for several weeks in the summer of 2017, clearly demonstrated that this was a critical section of the route for freight traffic on the north-south axis in Europe. As a result, experts started looking for alternatives along the Rhine Valley railway in Germany. The route on the left bank of the Rhine through France is ideal for this. For that, among other things, the line on the Swiss side in the Basel area between the French border (Basel St. Johann) and the Basel SBB marshalling yard must be upgraded to meet the 4 m corridor (4mC) requirements.

On the approximately 5.7-km-long route, adaptations to the double-track Kannenfeld (KFT) and Schützenmatt (SMT) tunnels, the side walls and bridges, as well as to various other structures, are necessary to comply with the clearance profile (Fig. 1). The KFT can be divided into three parts: an 801-m-long section with a covered horseshoe profile made of brickwork, the 185-m-long Kannenfeldplatz overcap and the 18-m-long Mittlere Strasse road overpass. The Schützenmatt tunnel is 286 m long and was constructed with a brickwork horseshoe profile along its entire length. The two tunnels' horseshoe profiles were built in 1901 in open-cut construction on greenfield land. The overcap and the road overpass were built later on as the city grew. Today, the two tunnels are located in the middle of the city. Strassburgerallee runs parallel across the KFT and Guisan-Promenade across the SMT. Residential buildings stand on both sides of the roads.

Tunnels du Schützenmatt et de Kannenfeld

Ajustement du gabarit de tunnels maçonnés en exploitation

Afin de créer un corridor 4 mètres redondant vers l'Europe du Nord, la ligne ferroviaire existante entre la frontière française et la gare de triage CFF de Bâle fait l'objet d'un projet pour le compte des CFF. Sur cette ligne, il est nécessaire, entre autres, d'ajuster les tunnels urbains maçonnés de Kannenfeld (KFT) et du Schützenmatt (SMT), afin de respecter le gabarit. Dans le KFT, un abaissement du radier de 36 cm à 54 cm et la réfection d'un des murs latéraux seront nécessaires pour respecter le profil de dégagement. Dans le SMT, la conformité avec le profil de dégagement est obtenue en abaissant le radier de 55 cm.

Gallerie di Schützenmatt e Kannenfeld

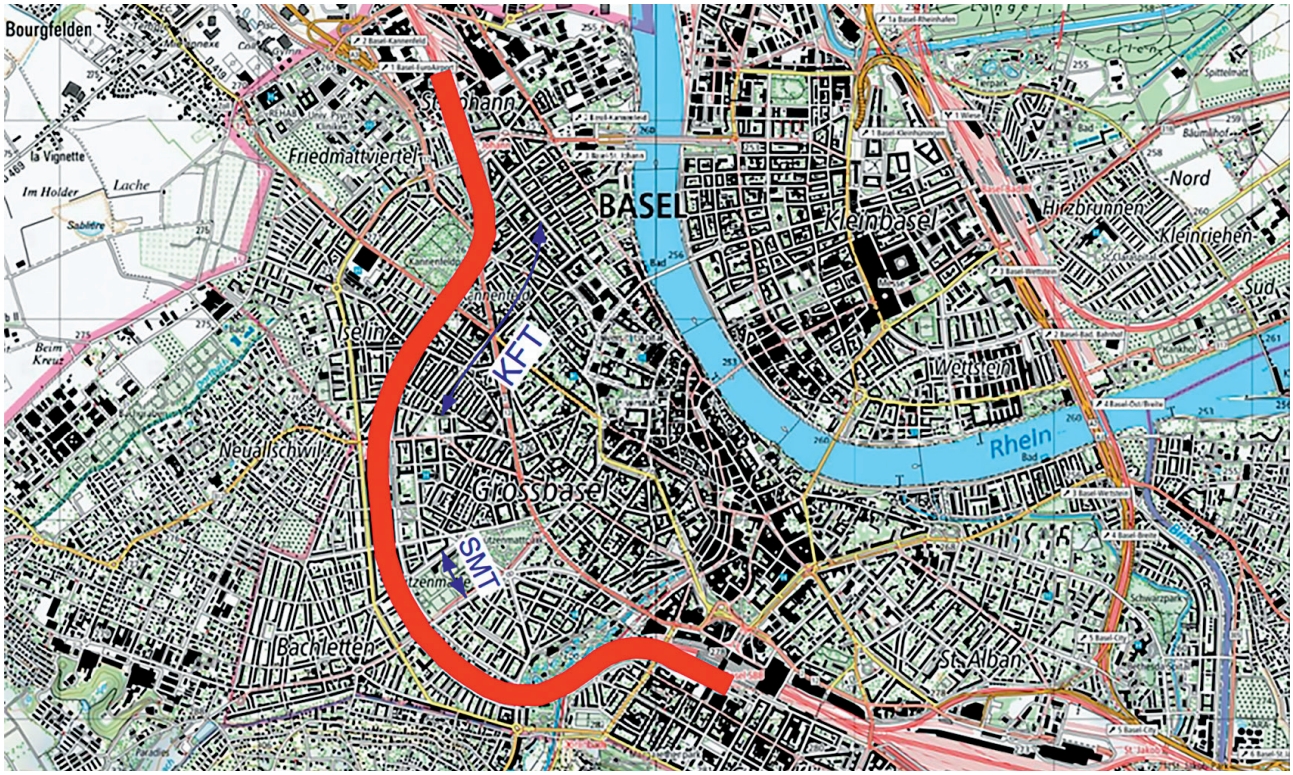
Adeguamento della sezione tipo di gallerie con rivestimento in muratura

Per la realizzazione di un corridoio ferroviario ridondante di 4 m verso l'Europa settentrionale è in programma la tratta tra il confine francese e la stazione di smistamento FFS di Basilea su incarico delle FFS. Su questa tratta sono tra l'altro necessari adeguamenti per poter rispettare la sagoma limite nelle gallerie con rivestimento in muratura di Kannenfeld (KFT) e Schützenmatt (SMT). Per rispettare il profilo dello spazio libero, nel KFT occorre un abbassamento della platea di fondazione dai 36 ai 54 cm e un rimpiazzo da un solo lato del paramento laterale. Nel SMT un abbassamento della platea di fondazione di 55 cm consente di rispettare il profilo dello spazio libero.

Parallel über den KFT führt die Strassburgerallee und über den SMT die Guisan-Promenade. Beidseits der Strassen stehen Wohnbauten. Es queren diverse Strassen und Werkleitungen mit vielseitigen Nutzungen und Anforderungen (wie zum Beispiel an Setzungsbeschränkungen) die Tunnels. Das Wachstum der Stadt hat die Belastungen im Tunnel stark verändert. So queren Tramstrecken und Ausnahmetransportrouten die Tunnels.

Various roads and utility lines with diverse uses and requirements (such as settlement restrictions) cross the tunnels. The city's growth has greatly changed traffic volumes in the tunnels. Tram lines and special transport routes cross the tunnels where they didn't before.

Work in the tunnels is considered to be urban construction sites. This places high demands on sustainability, both socially



Quelle/credit: Rothpletz, Lienhard + Cie AG

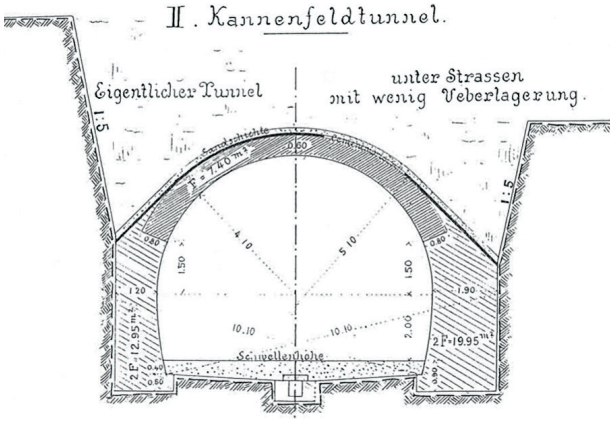
1 Projektperimeter inkl. Tunnelabschnitten Kannenfeld (KFT) und Schützenmatt (SMT)
Project perimeter incl. tunnel sections in Kannenfeld (KFT) and Schützenmatt (SMT)

Ein Eingriff bei dem Tunnelbauwerk stellt eine städtische Baustelle dar. Diese bringt hohe Anforderungen an die Nachhaltigkeit mit sich, sowohl gesellschaftlich (Raumentwicklung, Gesundheit, Sicherheit, Wohlbefinden etc.), wirtschaftlich (Unterhalt, Baukosten, Kosten-Nutzen-Verhältnis etc.) und auch bezüglich Umwelt (Logistik, Lärm oder Erschütterung etc.).

Die betrachtete Strecke wird stark genutzt (Streckenkapazität: 16 Zugfahrten pro Stunde). Die Arbeiten auf diesem Abschnitt müssen unter 1-gleisigem Bahnbetrieb erfolgen. Für kritische Arbeiten zwischen den Gleisen stehen zudem wenige Nacht- und Wochenendtotalsperren zur Verfügung.

1.2 Geologie und Hydrogeologie

Der Baugrund der Region ist durch die vorhandenen Untertagbauten und Erkundungen sehr gut bekannt. Es handelt sich um den eiszeitlich abgelagerten, gut durchlässigen Niederterrassenschotter des Rheins, bestehend weitgehend aus



Quelle/credit: Pläne aus der Bauzeit der Kannenfeld- und Schützenmatttunnel (gescannt), Bauakten SBB, 1901

2 *Querschnitt des Kannenfeld-Tunnels aus den Bauakten*
Cross-section of the Kannenfeld Tunnel from the construction files

sauberen Kiesen und Kiessanden mit einer weitreichenden Kornabstufung. Die Schotterablagerungen sind dicht bis sehr dicht gelagert und damit überwiegend gut tragfähig sowie mässig setzungsempfindlich. Der Grundwasserspiegel und die Felsoberfläche liegen einige Meter unterhalb des Projektes. Das Projekt liegt ausserhalb des Gewässerschutzbereichs Au.

1.3 Aufbau des bestehenden Tunnelgewölbes

Der grösste Teil der Bahntrasse befindet sich in einem v-förmigen Geländeeinschnitt, der von Böschungen mit geschützten Wiesen gebildet wird. Die beiden Tunnels können als lokal überdeckte Abschnitte in diesem Einschnitt betrachtet werden. Die Überdeckung beträgt jeweils 1 bis 5 m.

In den Bauaktenplänen von 1901 (Bild 2 und Bild 3, [1]) sind die 1.2 oder 1.9 m starken Paramente als massive Stützbauwerke aus einer Materialmatrix (Mauerwerk) ohne weitere Spezifikation aufgeführt. Der gemauerte Kalottenbogen wird mit einer Stärke von 60 bis 80 cm und auf die Paramen-

(spatial development, health, safety, well-being, etc.), economically (maintenance, construction costs, cost-benefit ratio, etc.) and environmentally (logistics, noise, vibration, etc.).

The line under consideration is heavily used (line capacity: 16 trains per hour). Work on this section must be carried out under single-track railway operation. For critical work between the tracks, there are also a few night-time and weekend closures in place.

1.2 Geology and hydrogeology

The subsoil of the region is very well known from existing underground constructions and explorations. It is composed of the glacially deposited, well permeable lower Rhein terrace gravel, consisting largely of clean pebbles and gravel sands with a wide range of grain gradation. The gravel deposits are densely to very densely deposited and, thus, predominantly have good load-bearing capacity and are moderately susceptible to settlement. The groundwater table and the bedrock surface lie several metres below the project. The project lies outside the Au water protection area.

1.3 Constructing the existing tunnel vault

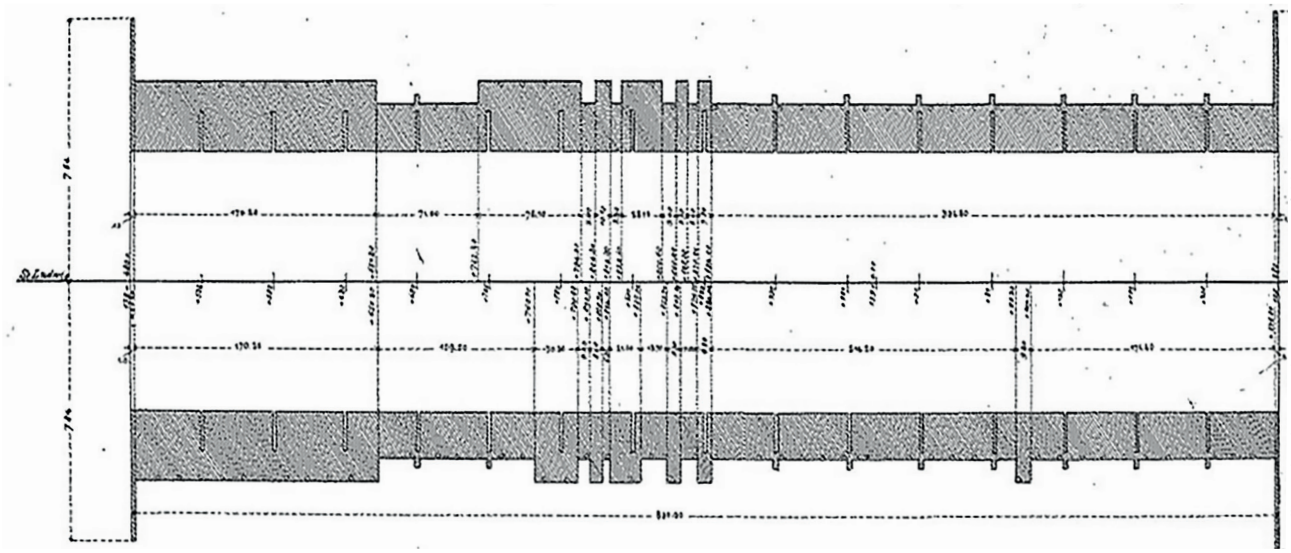
Most of the railway line is located in a v-shaped cut in the terrain formed by embankments with protected meadows. The two tunnels can be considered as locally overcapped sections within this cut. The cover is 1 to 5 m in each case.

In the building file plans from 1901 (Fig. 2 and Fig. 3, [1]), the 1.2 or 1.9 m thick side walls are listed as massive supporting structures made of a material matrix (brickwork) without further specification. The brickwork crown arch is pictured with a thickness of 60 to 80 cm and supported by the side walls. A layer of mortar a few centimetres thick lies on top of the brickwork arch as a waterproofing layer with an overlying layer of sand as drainage.

However, demolitions to build new portal niches during repairs in 2010 to 2011 suggested a different construction method for the side walls. (Fig. 4, [2]) On the inner face of the side walls, workers discovered brickwork made of natural stones about 35 to 40 cm thick, corresponding to robust, directional, layered brickwork. Between this type of brickwork and the lower terrace gravel, workers encountered a "backfill" of quarry stones and tamped concrete, which tended to break down.

As part of the preliminary project for the 4mC, core drilling was carried out in 2020 in the crown, the side walls and the foundation. The drilling confirmed the structure encountered during repairs (Fig. 5). Intact natural stones were observed from the first few decimetres, behind which the samples also consisted of fragments, concrete, loose stones and gravel. The investigations also confirmed the different side wall thicknesses as shown in the building records.

Based on observations from the construction files [1], the outcrops from the repair work [2] and evaluations made from



Quelle/credit: Pläne aus der Bauzeit der Kannenfeld- und Schützenmatttunnel (gescannt), Bauakten SBB, 1901

3 *Situation des Kannenfeld-Tunnels aus den Bauakten*
Situation in the Kannenfeld Tunnel from the construction files

te aufgelagert dargestellt. Auf dem Mauerwerksgewölbe liegt eine wenige Zentimeter dicke Mörtelschicht als Abdichtung mit einer darüber liegenden Sandschicht als Drainage.

Die Abbrüche für die neuen Portalnischen im Rahmen der Instandsetzung 2010 bis 2011 liessen allerdings auf einen anderen Aufbau der Paramente schliessen. (Bild 4, [2]) Auf der inneren Seite des Paraments wurde eine Mauerung aus circa 35 bis 40 cm dicken Natursteinen angetroffen, die einem robusten, gerichteten Schichtenmauerwerk entspricht. Zwischen dieser Mauerung und dem Niederterrassenschotter wurde eine „Hinterfüllung" aus Bruchsteinen und Stampfbeton angetroffen, welche zu Niederbrüchen neigte.

Im Rahmen des Vorprojektes für den 4mK wurden 2020 Kernbohrungen in der Kalotte, im Parament und im Fundament durchgeführt. Die Bohrungen bestätigten den bei der Instandsetzung angetroffenen Aufbau (Bild 5). In den ersten Dezimetern wurden intakte Natursteine beobachtet, dahinter bestanden die Proben auch aus Bruchstücken, Beton, losen Steinen und Kies. Mit den Untersuchungen konnten

the exploratory drilling, an idea of the structure of the tunnel vault analogous to Fig. 6 emerges, whereby somewhat larger and better aligned natural stones are likely to be present on the inner face of the side walls. Wet sprayed concrete was subsequently applied locally to the vault as a seal.

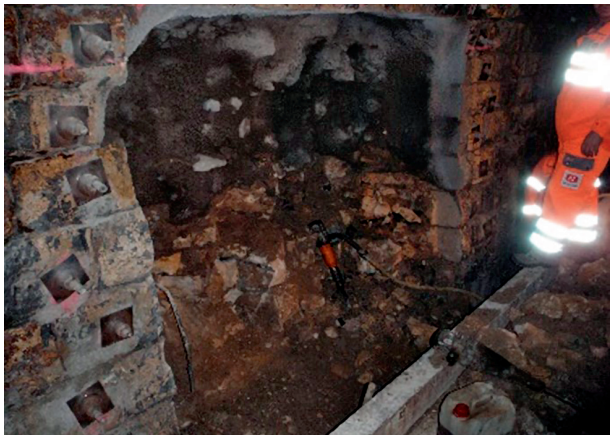
2 Studying different options

2.1 Objective

In order to improve the sustainability of the project, possible options for the clearance profile, superstructure and structural measures in the tunnel were studied in the preliminary project. Driving speeds of 75 km/h will need to be maintained.

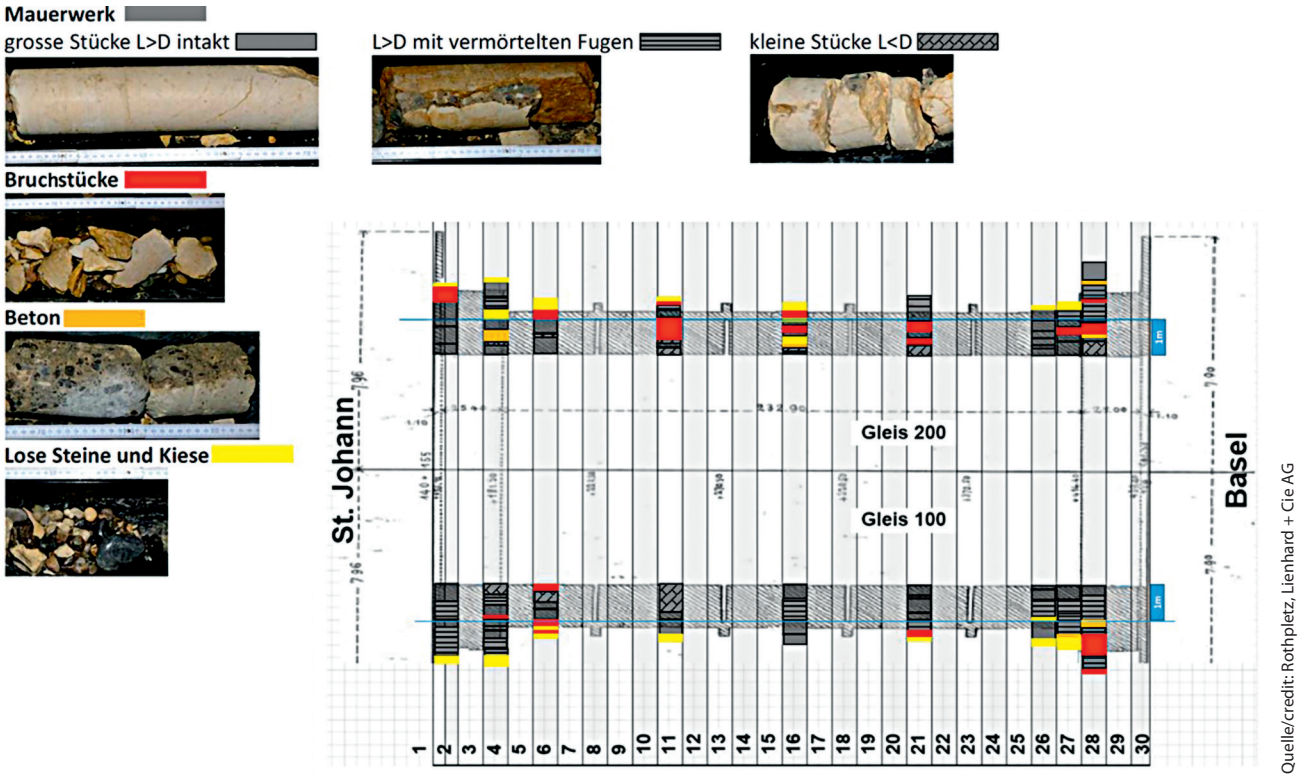
2.2 Clearance profile and superstructure

For the existing structures, the clearance profile (CP) meets the requirements of the Swiss Railway Ordinance (EBV2 S2) with special parameters without escape routes, with a track spacing of 3.56 m. The existing contact wire height is 4.85 m. The superstructure consists of wooden sleepers with a ballast thickness of approx. 25 cm.



Quelle/credit: [2], Rothpletz, Lienhard + Cie AG

4 *Aufschlüsse beim Ausbruch der Portalnischen während der Instandsetzung 2010–2011*
Outcrops during excavation of the portal niches during repairs in 2010–2011



Quelle/credit: Rothpletz, Lienhard + Cie AG

5 Auswertung der Erkundungsbohrungen im Parament des Schützenmatt-Tunnels
Assessment from exploratory boreholes in the side walls of the Schützenmatt tunnel

ebenfalls die unterschiedlichen Paramentstärken, wie in den Bauakten dargestellt, bestätigt werden.

Aus den Betrachtungen der Bauakten [1], den Aufschlüssen aus der Instandsetzung [2] und der Auswertung der Erkundungsbohrungen ergibt sich eine Vorstellung zum Aufbau des Tunnelgewölbes analog zu Bild 6, wobei auf der Innenseite des Paraments etwas grössere und besser gerichtete Natursteine vorhanden sein dürften. Nachträglich wurde lokal Spritzbeton als Abdichtung an das Gewölbe aufgetragen.

2 Variantenstudium

2.1 Zielsetzung

Um die Nachhaltigkeit des Projektes zu verbessern, wurde im Vorprojekt ein Variantenstudium zu Lichtraumprofil (LRP), Oberbau und den baulichen Massnahmen im Tunnel durchgeführt. Die Fahrtgeschwindigkeiten von 75 km/h sollen dabei erhalten bleiben.

2.2 Lichtraumprofil und Oberbau

Bei den bestehenden Bauwerken erfüllt das Lichtraumprofil (LRP) die Anforderungen der EBV2 S2 mit Sonderwerten ohne Fluchtwege bei einem Gleisabstand von 3.56 m. Die vorhandene Fahrdrahthöhe beträgt 4.85 m. Der Oberbau besteht aus Holzschwellen mit einer Schotterstärke von circa 25 cm.

Das Anforderungsprofil beinhaltete die Anforderungen an das Lichtraumprofil gemäss EBV3 S2 mit einem Gleisabstand von 3.6 m und beidseitigen Fluchtwegen. Im SMT soll-

The requirement profile included the clearance profile requirements according to EBV3 S2 with a track spacing of 3.6 m and escape routes on both sides. The escape routes were supposed to be 60 cm wide in the SMT and 75 cm wide in the KFT. The ballast thickness was supposed to be increased to 30 cm. This would have led to a drop of 72 cm in the KFT and 85 cm in the SMT and massive interventions in the tunnel vaults due to their enlargement.

In cooperation with the SBB and the Federal Office of Transport (FOT), the requirements for the clearance profile were optimised in the preliminary project, taking into account proportionality in favour of sustainability. The EBV3 S2

Quelle/credit: Marco Galli

6 Vergleichbarer Aufbau des Tunnelgewölbes; Bahnunterführung in Bever 2018
Comparable construction of the tunnel vault and railway tunnel in Bever, 2018

ten die Fluchtwege 60 cm, im KFT 75 cm breit ausgebildet werden. Die Schotterstärke sollte auf 30 cm erhöht werden. Dies hätte zu einer Gleisabsenkung von 72 cm beim KFT und 85 cm beim SMT und massiven Eingriffen in die Tunnelgewölbe aufgrund der Verbreiterung geführt.

In Zusammenarbeit mit der SBB und dem BAV wurden die Anforderungen an das Lichtraumprofil unter Berücksichtigung der Verhältnismässigkeit zugunsten der Nachhaltigkeit im Vorprojekt optimiert. Als Zielgrösse wurden die Anforderungen des EBV3 S2 mit Sonderwerten neu festgelegt. Der Gleisabstand soll auf 3.6 m und die Fahrdrahthöhe inklusive einer Gleishebungsreserve von 10 cm auf 5.08 m erhöht werden. Die Schotterstärke soll mindestens 30 cm betragen und die Schwellen durch B91-Betonschwellen ersetzt werden. Im KFT ist ein einseitiger Fluchtweg von 60 cm Breite vorgesehen. Im SMT wird aufgrund seiner Länge von unter 300 m auf einen Fluchtweg verzichtet. Dadurch konnten die notwendigen baulichen Massnahmen reduziert werden.

2.3 Entwässerung

Untersuchungen im Vorprojekt zeigten auf, dass die bestehende, zwischen den Gleisen platzierte Entwässerungsleitung kein Wasser führt. Aufgrund der grossen Durchlässigkeit des Bodens und des Fehlens einer dichten Sohle ist davon auszugehen, dass das anfallende Wasser diffus im Baugrund versickert. Für das Vorprojekt wurden die Tunnelabschnitte in die Gesamtbetrachtung des Streckenabschnitts miteinbezogen. Dabei wurden Varianten mit dichter Sohle mit beidseitiger Versickerung oder beidseitiger Ableitung sowie eine diffuse Versickerung (analog Ist-Zustand) untersucht. Beide Massnahmen mit dichter Sohle erhöhen im Tunnel die Konstruktionshöhen und stehen im Konflikt mit den Widerlagerkonstruktionen. Neben den daraus erforderlichen, erheblichen baulichen Massnahmen würde ein unterhaltstechnischer Mehraufwand entstehen. Aus diesem Grund wurde im Tunnel, wie auch auf der gesamten Strecke, die diffuse Versickerung favorisiert. Aufgrund des geringen Wasseranfalls im Tunnel, der Lage ausserhalb des Gewässerschutzbereichs und des grossen Abstands zum Grundwasserspiegel wird diese Variante in Absprache mit den entsprechenden Fachstellen als genehmigungsfähig beurteilt und im Projekt so umgesetzt.

2.4 Bauliche Massnahmen am Gewölbe

Die Vergrösserung eines bestehenden Tunnelquerschnitts kann grundsätzlich mit zwei bewährten Eingriffen beziehungsweise durch deren Kombination erreicht werden (Tabelle 1). Die erste Möglichkeit ist eine Sohlabsenkung, wodurch Höhe im Profil gewonnen wird. Dabei kann unterteilt werden in eine Sohlabsenkung mit oder ohne Unterfangung des Gewölbes. Die zweite Möglichkeit ist eine Gewölbeanpassung, mit der gezielt Fehlstellen ausgeglichen beziehungsweise Breite gewonnen werden kann. Das Gewölbe kann durch Schrämung, Parament- oder Gewölbeersatz bis in den Scheitelbereich angepasst werden. Eine Kombination dieser baulichen Massnahmen auf jeder Tunnelseite ist

requirements with special values were redefined as the target value. The track spacing will be increased to 3.6 m and the contact wire height, including a track elevation reserve of 10 cm, increased to 5.08 m. The ballast thickness will be at least 30 cm and the sleepers will be replaced by B91 concrete sleepers. In the KFT, a one-sided escape route of 60 cm width is planned. In the SMT, due to its length of less than 300 m, an escape route is not required. This made it possible to reduce the necessary structural measures.

2.3 Drainage

Investigations in the preliminary project showed that the existing drainage pipe placed between the tracks does not carry any water. Due to the high permeability of the soil and the lack of a dense base, it can be assumed that the water seeps diffusely into the ground. For the preliminary project, the tunnel sections were included in the overall consideration of the section. Options investigated included a dense base with seepage on both sides or drainage on both sides, as well as diffuse seepage (analogous to the current state). Both dense base measures increase the structural heights in the tunnel and conflict with the abutment constructions. In addition to the considerable structural measures required as a result, additional maintenance work would be required. For this reason, diffuse seepage was favoured in the tunnel as well as along the entire route. Due to the low water accumulation in the tunnel, the location outside the water protection area and the large distance to the groundwater table, this variant was assessed as approvable in consultation with the relevant authorities and implemented in the project.

2.4 Construction measurements at the vault

The enlargement of an existing tunnel cross-section can basically be achieved with two proven procedures or by combining them (Table 1). The first possibility is lowering the floor, which increases the height of the profile. This can be divided into lowering the base with or without underpinning the vault. The second possibility is an adjustment of the vault, which can be used to compensate for deficiencies or to gain width. The vault can be adjusted by milling (enlarging old profile) or replacing side walls or vaults up to the apex area. A combination of these structural measures on each side of the tunnel is also possible. In extreme cases, an almost total replacement of the tunnel in operation is possible, which corresponds to a vault replacement on both sides. The critical point here is the crown area, as measures that need to be carried out there can only be implemented in total service shutdowns.

With a low cover and the possibility of surface interventions, a top-down method could also be used. Due to the main road and structures above the tunnel, this option was quickly discarded.

Due to these requirements (corner height of the 4mC and uplift reserve) and the existing construction height of the vault, lowering the base in the SMT and KFT is indispensable. In order to lower and maintain the width of the EBV3 S2

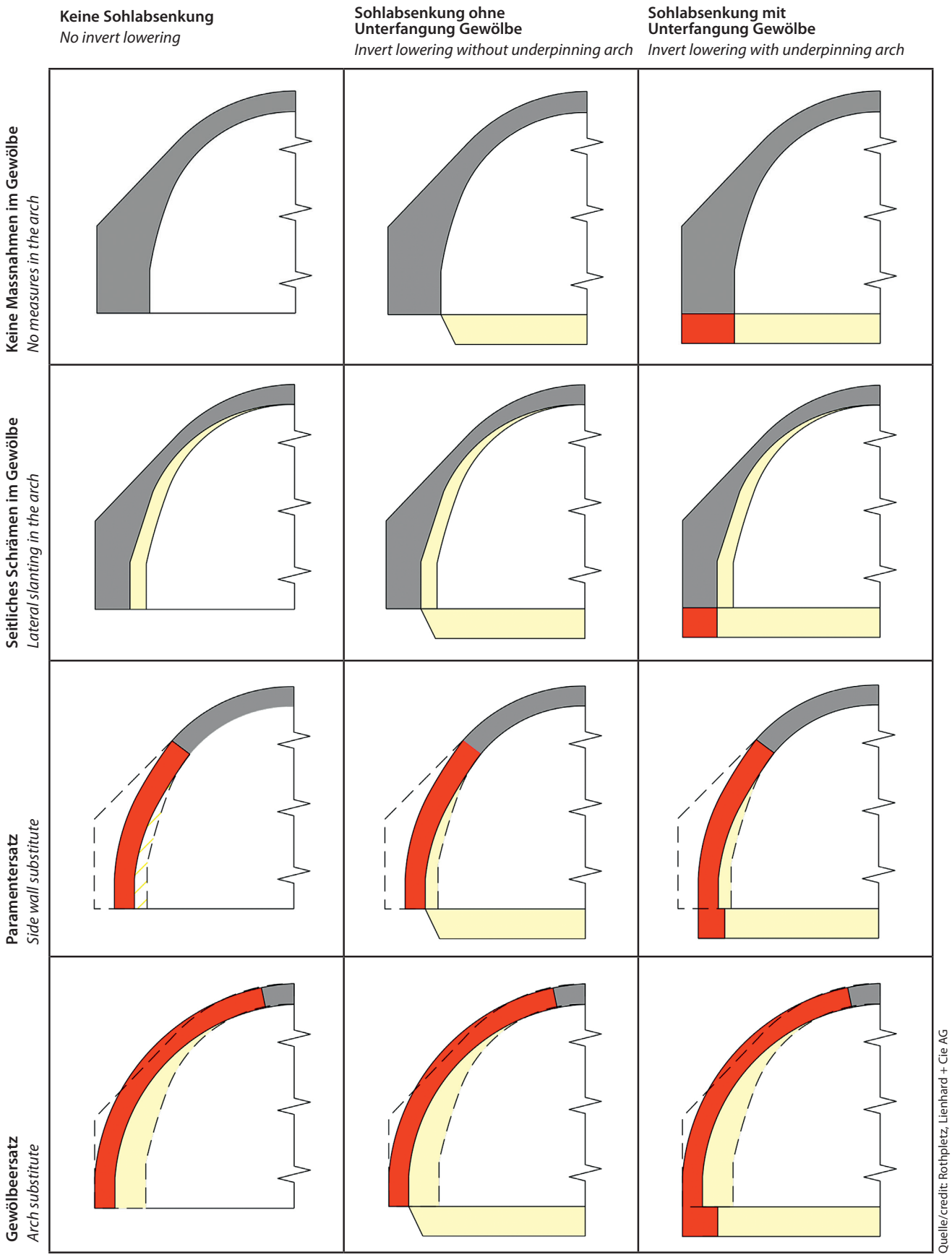


Tabelle 1 *Grafische Darstellung der Ansätze zur Profilaufweitung (rot: Ersatz, gelb: Abbruch)*
Table 1 *Graphical representation of the proposals for clearance profile widening (red: replacement, yellow: demolition)*

ebenfalls möglich. Im Extremfall kann so beinahe ein Totalersatz des Tunnels unter Betrieb vorgesehen werden, was einem beidseitigen Gewölbeersatz entspricht. Der kritische Punkt ist hierbei der Scheitelbereich, da dort auszuführende Massnahmen nur in Totalsperrungen umgesetzt werden können.

Bei geringer Überdeckung und mit der Möglichkeit von Eingriffen an der Oberfläche könnte auch die Deckelbauweise zur Anwendung gelangen. Aufgrund der über dem Tunnel liegenden Hauptverkehrsstrasse und Bauwerke wurde diese Option rasch verworfen.

Aufgrund der Anforderungen (Eckhöhe 4mK und Hebungsreserve) und der vorhandenen Bauhöhe des Gewölbes sind Sohlabsenkungen im SMT und KFT unabdingbar. Für die Absenkung und die Einhaltung der Breite des Lichtraumprofils EBV3 S2 mit Sonderwerten ist ein Schrämen im Fundamentbereich der Hufeisenprofile unerlässlich.

Für die Einhaltung eines Fluchtweges wurde die erforderliche Schrämtiefe relativ zur Gewölbedicke von wenigen Dezimetern als zu hoch abgeschätzt. Ein Gewölbeersatz bis in den Scheitel wurde ebenfalls ausgeschlossen. Die geringe Überdeckung lässt einen Abbruch und Ersatz aus dem bestehenden Tunnel aus statischen Gründen nicht zu. Somit blieben für die Gewölbe nur noch die Optionen, auf den Fluchtweg zu verzichten (Erhaltung des Bestands) oder einen Paramentersatz vorzunehmen.

2.5 Bestvariante

Im KFT wird für die Einhaltung der Profilfreiheit eine Sohlabsenkung von 36 cm bis 54 cm und ein einseitiger Paramentersatz notwendig (einseitiger Fluchtweg). Dies beinhaltet auch lokales Schrämen im Fundamentbereich (Bild 7). Zusätzlich wird lokal das Mauerwerksgewölbe und die Spritzbetonabdichtung instand gesetzt.

clearance profile with special values, slanting in the horseshoe profile base area is essential.

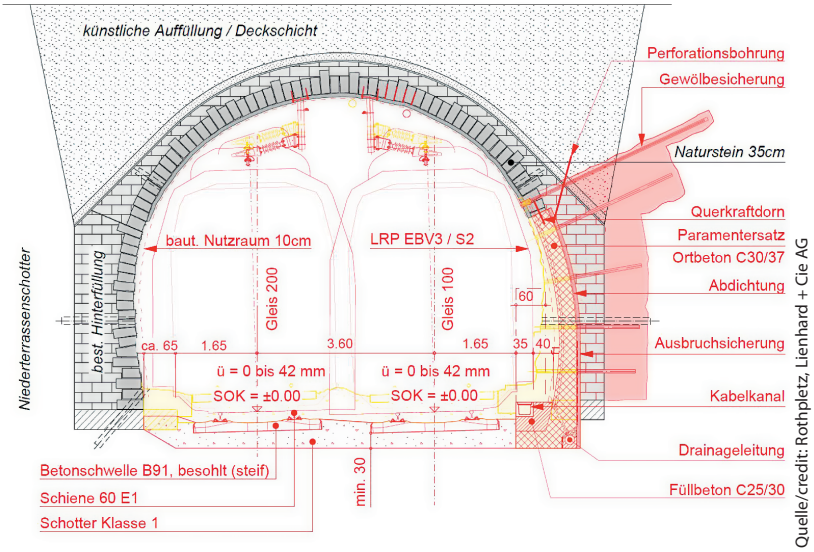
The required milling depth relative to the vault thickness of a few decimetres was estimated to be too high to maintain an escape route. Replacing the vault all the way to the crown was also ruled out. The low cover does not allow for demolition or replacement from the existing tunnel for structural reasons. Thus, the only options left for the vaults were to do without the escape route (preservation of the existing structure) or to carry out a side wall replacement.

2.5 Best option

In the KFT, lowering the base by 36 cm to 54 cm and replacing the side wall on one side is necessary to comply with the profile clearance (one-sided escape route). This also includes local milling in the base area (Fig. 7). In addition, the brickwork vault and the shotcrete seal will be repaired locally.

In the SMT, compliance with the clearance of the profile is achieved by lowering the base by 55 cm (without measures in the vault). Due to the short length of the tunnel (300 m), an escape route is not required. Local milling in the foundation area and repair work on the brickwork vault as well as on the shotcrete seal are also necessary here (Fig. 8).

In the preliminary project, feasibility was checked with the help of scans and static calculations. These solutions were confirmed in the in-depth project documentation. This documentation included, among other things, structural safety and serviceability verifications. Due to the significant changes in requirements since the tunnel was built, new structural analyses were carried out for various load cases (overbuilding, road and tram traffic, exceptional transport, earthquakes, etc.) that had not been taken into account during construction.



7 Normalprofil Kannenfeld-Tunnel
Standard profile of the Kannenfeld Tunnel

3 Planned measurements

3.1 Overview

Due to their dimensions, no structural measures are necessary for the Kannenfeldplatz overcap or the Mittlere Strasse overpass. Only the base needs to be lowered due to the ramps. In the SMT, the vault will remain intact and the required clearance profile will be met by lowering the floor. Selected structural measures in the tunnel are described below.

3.2 Side wall replacement

The load-bearing system in the KFT will be changed by the one-sided side wall replacement. In the area of the side wall replacement, the geometric shape of the tunnel profile will be adjusted. This will enable an escape route to be arranged on that side.

Im SMT wird durch eine Sohlabsenkung um 55 cm (ohne Massnahmen im Gewölbe) die Einhaltung der Profilfreiheit erreicht. Auf einen Fluchtweg wird aufgrund der geringen Länge des Tunnels (300 m) verzichtet. Lokales Schrämen im Fundamentbereich und Instandsetzungsarbeiten beim Mauerwerksgewölbe sowie an der Spritzbetonabdichtung sind auch hier erforderlich (Bild 8).

Im Vorprojekt wurde mithilfe von Scanaufnahmen und statischen Berechnungen die Machbarkeit überprüft. Im Auflageprojekt wurden diese Lösungen in der Projektvertiefung bestätigt. Dies beinhaltete unter anderem Tragsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise. Aufgrund der seit dem Bau des Tunnels stark veränderten Anforderungen wurden statische Nachweise für diverse Lastfälle (Überbauung, Strassen- und Tramverkehr, Ausnahmetransport, Erdbeben etc.) neu erbracht, welche bei der Erstellung nicht berücksichtigt worden waren.

3 Geplante Massnahmen

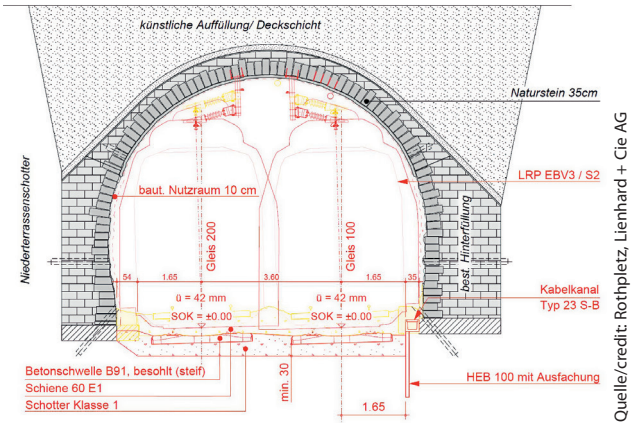
3.1 Übersicht

Aufgrund ihrer Dimensionen sind bei der Überdeckung Kannenfeldplatz sowie bei der Strassenüberführung Mittlere Strasse keine baulichen Massnahmen notwendig. Hier sind lediglich Sohlabsenkungen zwecks Rampen notwendig. Im SMT bleibt das Gewölbe erhalten und durch eine Sohlabsenkung wird das geforderte Lichtraumprofil erfüllt. Im Folgenden wird auf ausgewählte bauliche Massnahmen im Tunnel eingegangen.

3.2 Paramentersatz

Das Tragsystem im KFT wird durch den einseitigen Paramentersatz verändert. Im Bereich des Paramentersatzes wird eine Anpassung der geometrischen Form des Tunnelprofils vorgenommen. Dadurch kann auf dieser Seite ein Fluchtweg angeordnet werden.

Der Paramentersatz wird in Etappen von etwa 3 m mit genügend Abstand zwischen zwei Ausbruchsfenstern erstellt (Pilgerschrittverfahren). Dafür wird im Bauzustand eine Abfangung des verbleibenden Gewölbes (Anker, Longarinen) und eine Verfestigung der Hinterfüllung (Injektionen) vorgesehen. Die Injektionen werden abhängig von der Paramentstärke ausgeführt. Beim 1.9 m breiten Parament wird die Injektion nur im oberen Bereich des Paramentersatzes eingesetzt, da die Hinterfüllung ab dieser Höhe an Stärke verliert. Wird jedoch 1.2 m breites Parament erwartet, sind Injektionen über die ganze Höhe vorgesehen. Das neue Parament wird mit einer Noppenfolie angedichtet (Bild 7). Durch die Injektionen besteht die Gefahr, dass sich im Kämpferbereich des Tunnels Wasser aus Niederschlägen aufstaut. Dadurch kann sich ein Wasserdruck auf dem Gewölbe bilden. Für den Abbau des potenziellen Wasserdrucks werden abhängig von der Versiegelung der Oberfläche mindestens alle 12 m Perforationsbohrungen vorgesehen. Das Grundwasser wird damit gefasst und entlang der Noppenfolie in den Grund hinter dem neu erstellten Parament geleitet. Der Kraftschluss zwischen dem neuen Parament, dem bestehenden Mauerwerksgewölbe und den Schutznischen für das Personal wird durch Querkraftdornen sichergestellt.



8 *Normalprofil Schützenmatt-Tunnel*
Standard profile of the Schützenmatt Tunnel

The side wall replacement will be constructed in stages of about 3 m with sufficient distance between two excavation windows (pilgrim step method). To achieve this, the remaining vault will be supported (rock bolts, steel beams) and the backfill will be consolidated (grout injections). The grout injections will be carried out depending on the side wall thickness. In 1.9-m-wide side walls, grout injection is only used in the upper part of the side wall replacement, as the backfill loses strength from this height. However, if 1.2-m-wide side walls are expected, grout injections are provided over the entire height. The new side walls are sealed with an air gap membrane (Fig. 7). Due to the grout injections, there is a risk that water from precipitation will accumulate in the abutment area of the tunnel. This can cause water pressure to build up on the vault. Depending on the surface sealant, perforation drilling will be provided at least every 12 m to reduce the potential water pressure. The groundwater will thus be captured and channelled along the air gap membrane into the ground behind the newly constructed side walls. The force connection between the new side walls, the existing brickwork vault and the protective niches for the staff will be ensured by shear force dowels.

3.3 Protective niches for personnel

Safety niches are located every 50 m on both sides of both tunnels. Reinforced concrete portal niches were created at the portals during renovation from 2010 to 2011. In total, there are 30 niches and four portal niches in the KFT and eight niches and four portal niches in the SMT. The dimensions of the niches are approximately 2.2 m high x 1 m deep x 2 m long, which means that both the normal and the special values according to the AB-EBV cannot be met. According to the plan of the executed work 2011 [2], the dimensions of the portal niches are approximately a 2.45 m high x 1.3 m depth x 2 m length, which means that the special values – but not the normal values – are met. Taking proportionality into account, and after consultation with the client, all niches will not be extended in length or depth, despite

3.3 Schutznischen für das Personal

Personenschutznischen sind in beiden Tunnels beidseitig alle 50 m angeordnet. An den Portalen wurden bei der Instandsetzung von 2010 bis 2011 Portalnischen aus Stahlbeton erstellt. Insgesamt liegen im KFT 30 Nischen und vier Portalnischen sowie im SMT acht Nischen und vier Portalnischen vor. Die Abmessungen der Nischen betragen circa 2.2 m (H) x 1 m (T) x 2 m (L), womit sowohl die Normal- als auch die Sonderwerte gemäss AB-EBV nicht eingehalten werden können. Die Abmessungen der Portalnischen betragen gemäss PAW 2011 [2] circa 2.45 m (H) x 1.3 m (T) x 2 m (L), womit die Sonderwerte – jedoch nicht die Normalwerte – erfüllt werden. Unter Berücksichtigung der Verhältnismässigkeit wird in Absprache mit dem Auftraggeber bei sämtlichen Nischen trotz der Verletzung der normgerechten Abmessungen auf eine Ausweitung sowohl in die Länge als auch in die Tiefe verzichtet. Hingegen wird der Nischenboden aller Nischen auf das Niveau der neuen Bankette abgesenkt.

4 Ausblick

Das Plangenehmigungsverfahren startet im zweiten Quartal 2023. Die Submission ist für den Winter 2024/2025 vorgesehen. Im Rahmen des Projektes ist der Einbau von provisorischen Spurwechseln in der zweiten Jahreshälfte 2025 im Rahmen von Wochenend-Totalsperren geplant. Im ersten Quartal 2026 werden Vorbereitungsarbeiten für die Schotterhalterung und Schutzmassnahmen umgesetzt. Danach erfolgt im Einspurbetrieb unter anderem die Tunnelsanierung im SMT und anschliessend wird der KFT aufgeweitet und instand gesetzt. Mitte 2029 soll die Realisierung mit dem Rückbau der provisorischen Spurwechsel enden.

5 Zum Autor

Als junger Ingenieur bin ich seit Beginn des Vorprojektes 2020 an der Planung der Sanierungen der Tunnel Kannenfeld (KFT) und Schützenmatt (SMT) beteiligt. Im Projekt vertrete ich den Fachplaner Tunnel in allen projektspezifischen Belangen, werte die Sondageergebnisse aus, erstelle Variantenstudien (Tabelle 1), begleite die Planerstellung, verfasse Berichte und mache statische Berechnungen (insbesondere für die Tunnelabschnitte und Überführungen), nehme an allen Koordinationssitzungen bezüglich Tunnelsanierung und Gesamtprojektsitzungen teil und bearbeite diverse Schnittstellenproblematiken mit verschiedenen Fachbereichen.

non-compliance with the standard dimensions. On the other hand, all the niches' bases will be lowered to the level of the new shoulders.

4 Outlook

The planning approval procedure will start in the second quarter of 2023. The tender is scheduled for the winter of 2024/2025. As part of the project, temporary lane changes are scheduled to be installed in the second half of 2025 as part of weekend total closures. In the first quarter of 2026, preparatory work for the ballast support and protective measures will be implemented. This work, along with other small projects, will be followed by tunnel renovation in the SMT during single-track operation; subsequently, the KFT will be widened and repaired. Implementation is scheduled to end in mid-2029 when the temporary lane change devices are dismantled.

5 About the author

As a young engineer, I'm involved in planning repairs to the Kannenfeld (KFT) and Schützenmatt (SMT) tunnels since the start of the preliminary project in 2020. In this project, I represent the tunnel specialist planner in all project-specific matters, evaluate the probing results, prepare alternative studies (Table 1), accompany plan preparation, write reports and make static calculations (especially for the tunnel sections and overpasses), take part in all coordination meetings regarding tunnel renovation and overall project meetings and work on various interface problems involving different specialisations.

Literatur/References

[1] Pläne aus der Bauzeit der Kannenfeld- und Schützenmatttunnel (gescannt), Bauakten SBB, 1901
[2] SBB, Basel St. Johann – Basel SBB, Substanzerhaltung, Pläne des ausgeführten Werkes, Rothpletz, Lienhard + Cie AG, 08.11.2011

PROJEKTDATEN

Region
Basel, Schweiz

Bauherr
Schweizerische Bundesbahnen SBB AG, Projektmanagement Region Mitte

Planung
SIA Phase 31: INGE IG BSSJPlus bestehend aus:
- Rothpletz, Lienhard + Cie AG
- F, Preisig AG

SIA Phase 32-53: INGE IG BSSJ++ bestehend aus:
- Rothpletz, Lienhard + Cie AG
- F, Preisig AG
- Flückiger + Bosshard AG

Geologie
Niederterrassenschotter des Rheins

Kenndaten

Bauzeit:	2025–2029
Inbetriebnahme:	1900/1901
Baukosten	CHF 107 Mio.
Gesamtlänge:	Schützenmatttunnel 286 m; Kannenfeldtunnel 1004 m (inkl. Überdeckung 185 m und Überführung 18 m)

Besondere Merkmale
Sanierung und Ausbau eines innerstädtischen Mauerwerkstunnels unter Betrieb

PROJECT DATA

Region
Basel, Switzerland

Client
Swiss Federal Railways SBB AG, Project Management Central Region

Planning
SIA Phase 31: INGE IG BSSJPlus comprising:
- Rothpletz, Lienhard + Cie AG
- F, Preisig AG

SIA Phase 32-53: INGE IG BSSJ++ comprising:
- Rothpletz, Lienhard + Cie AG
- F, Preisig AG
- Flückiger + Bosshard AG

Geology
Low terrace gravels along the Rhine

Key data

Construction time:	2025–2029
Commissioning:	1900/1901
Construction costs:	107 million
Total length:	Schützenmatt Tunnel 286 m; Kannenfeld Tunnel 1,004 m (incl. overcap 185 m and overpass 18 m)

Special features
Renovation and extension of an inner-city brickwork tunnel under operation

Guadalupe González Fernández, MSc Bau-Ing. EPFZ, Lombardi SA, Giubiasco/CH

Entonnement Haussmann – Saint-Lazare à Paris

Dimensionnement de cavernes dans le centre-ville densément bâti de Paris pour le prolongement du réseau ferroviaire

L'entonnement Haussmann – Saint-Lazare (HSL) est situé dans le centre-ville de Paris, en dessous de plusieurs structures souterraines existantes, ainsi que de monuments haussmanniens sensibles. Il s'agit d'un complexe de cavernes reliant la gare d'HSL au futur tunnel de la ligne EOLE, creusé au tunnelier. Cet article décrit le processus de dimensionnement dans ce contexte particulier.

Haussmann – Saint-Lazare cavern system in Paris

Designing caverns in Paris' densely built-up city centre to extend the railway network

The Haussmann – Saint-Lazare (HSL) cavern system is located in the centre of Paris, below several existing underground structures and sensitive Haussmann monuments. It comprises a complex network of caverns linking the HSL station to the future EOLE (East West Express Link) rail tunnel, excavated with a tunnel boring machine. This article describes the dimensioning process in this particular context.

1 Introduction et contexte

L'entonnement HSL est situé dans le 8e arrondissement de Paris, au sein d'un tissu urbain dense, juste en dessous de plusieurs lignes de métro existantes, ainsi que de monuments haussmanniens historiques et sensibles. L'entonnement est un complexe de cavernes reliant la gare d'HSL existante au futur tunnel de la ligne EOLE, creusé au tunnelier. La couverture est d'environ 20 m et la longueur totale de l'entonnement est d'environ 173 m.

1.1 Structures souterraines existantes

L'entonnement se trouve à proximité de plusieurs structures souterraines existantes :

1 Position de l'entonnement HSL à Paris
Location of the HSL cavern system in Paris

1 Introduction and context

The HSL cavern system is located in the 8th arrondissement of Paris, within dense urban areas, just below several existing metro lines and historical and sensitive Haussmann buildings. The cavern system is a complex group of caverns linking the existing HSL station to the future EOLE (East West Express Link) rail tunnel, excavated with a tunnel boring machine. The caverns have a cover of approximately 20 m and the total length of the cavern system is approximately 173 m.

1.1 Existing underground structures

The cavern system is located in the vicinity of several existing underground structures:

- Tunnel and station, Line 3
- Tunnel and station, Line 13
- Tunnel and station, Line 14
- Back of the station

These structures were taken into account in the 3D calculation models, in order to study the impact of the excavation and the cavern system upon them.

1.2 Surrounding buildings

Fig. 3 shows the above-ground buildings located above the cavern system and their sensitivity to differential settlements.

Haussmann – Saint-Lazare-Kavernensystem in Paris

Bemessung von Kavernen im dicht bebauten Pariser Stadtzentrum zur Erweiterung des Eisenbahnnetzes

Das HSL-Kavernensystem liegt in einem sehr dichtbebauten städtischen Umfeld. Um die Setzungen unter Berücksichtigung der vorhandenen Strukturen zu ermitteln, ist eine detaillierte Analyse erforderlich. Mithilfe von numerischen 3D-Modellen konnte der maximale Vorentlastungsfaktor ermittelt werden, damit die Setzungen der bestehenden Strukturen innerhalb der vertraglichen Grenzen bleiben. Die aus den Berechnungen resultierenden Lasten wurden als Grundlage für die Bemessung der Ausbruchsicherung verwendet, deren Ausführungsplanung die Begrenzung von Verformungen als Haupteinschränkung hat.

Sistema di caverne Haussmann – Saint Lazare di Parigi

Dimensionamento di caverne nel centro densamente edificato di Parigi per l'estensione della rete ferroviaria.

Il sistema di caverne HSL richiede, a causa della sua localizzazione in un ambiente urbano densamente edificato, degli studi progettuali che considerino le strutture esistenti per poterne determinare i cedimenti. Mediante dei modelli numerici 3D è stato possibile determinare il tasso massimo di deconfinamento per il quale i cedimenti delle strutture esistenti rispettano i limiti contrattuali. I carichi risultanti da questi calcoli hanno costituito la base per il dimensionamento degli elementi di sostegno dell'opera in questione, il cui fasaggio costruttivo aveva come vincolo principale il contenimento delle deformazioni.

- Tunnel et station de la Ligne 3
- Tunnel et station de la Ligne 13
- Tunnel et station de la Ligne 14
- Arrière-gare

Ces structures ont été prises en compte dans les modèles de calcul 3D, afin d'étudier l'impact du creusement et de la réalisation de l'entonnement sur celles-ci.

1.2 Voisinage de l'entonnement

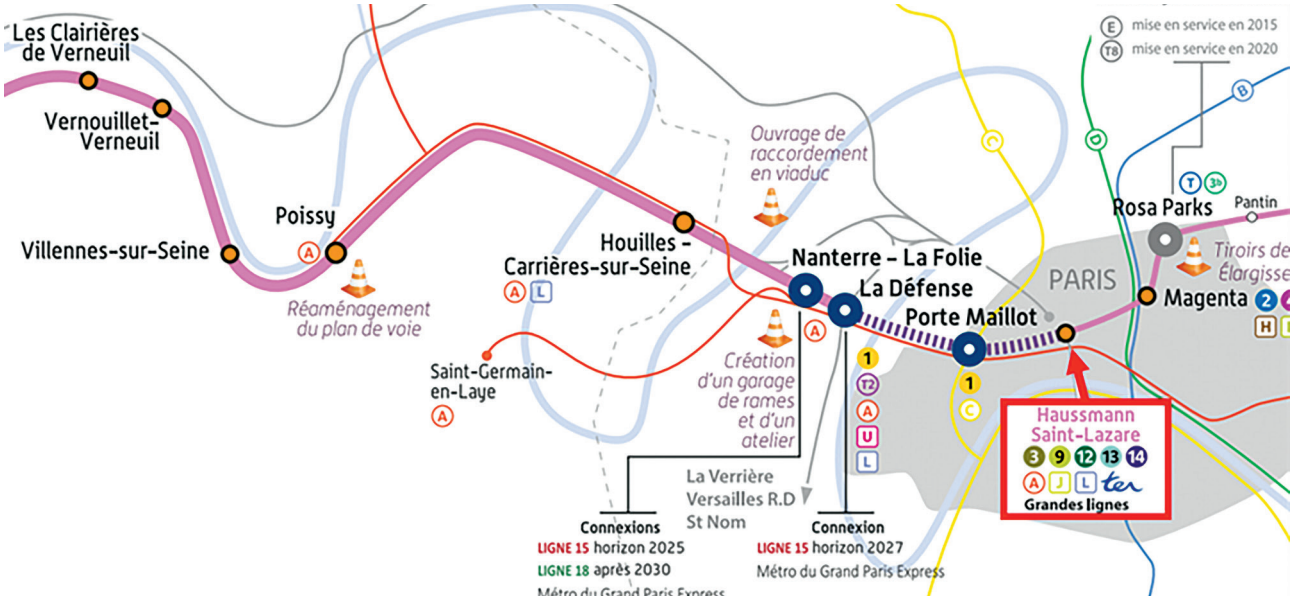
La fig. 3 illustre les bâtiments en surface situés au-dessus de l'entonnement, ainsi que leur niveau de sensibilité lié au tassement différentiel.

1.3 Limiting conditions for existing structures

The type of support for this structure was chosen on the basis of its limiting conditions, notably the existing structures' very limited deformation thresholds.

Two control thresholds (caution threshold and warning threshold) were defined at the beginning of excavation work on the basis of the design studies, constituting the reference scenario.

The caution threshold is used to detect deviations between what was observed and what was expected. Beyond this threshold, the contractor should increase the number and



2 Carte du projet : prolongement jusqu'à La Défense du tunnel existant (ligne violette pointillée)
Project map: extending the existing tunnel to La Défense (dotted purple line)

1.3 Conditions limites pour les structures existantes

Le type du soutènement de cet ouvrage a été choisi en fonction des conditions limites de celui-ci, notamment les seuils de déformation très limités des structures existantes.

Deux seuils de pilotage (seuil de vigilance et seuil d'alerte) ont été définis au début des travaux sur la base des études d'exécution, constituant le scénario de référence.

Le seuil de vigilance sert à détecter les écarts entre le constaté et les prévisions. Au-delà de ce seuil, l'Entrepreneur devait renforcer le nombre et la fréquence des mesures et analyser les résultats en rapport avec le contexte rencontré.

Le seuil d'alerte correspond au scénario de référence avec une marge raisonnable de variabilité. Il a le même objectif que le seuil de vigilance, plus celui d'éviter la poursuite des déformations en cas de dépassement

Finalement le seuil contractuel, qui permet de répartir le risque avoisinant entre le Maître d'Ouvrage et l'Entrepreneur. Contrairement aux seuils de pilotage, qui peuvent être adaptés au cours des travaux en fonction du suivi de leur avancement, le seuil contractuel reste inchangé tout au long de l'exécution du contrat.

Pour les ouvrages avoisinants souterrains, les seuils devaient être respectés sont présentés dans le tableau 1.
Tandis que pour les secteurs courants du tracé, les seuils contractuels à respecter pour les bâtiments sont récapitulés dans le tableau 2.

1.4 Contexte géologique

Le projet EOLE est situé au sein de la série tertiaire parisienne et de sa couverture quaternaire. Le profil longitudinal montre que les formations tertiaires sont subhorizontales dans la partie est de l'entonnement et s'inclinent légèrement vers le bas dans la partie ouest.

Source: Projet d'exécution, Entonnement HSL, ICARUSS

3 *Vue en plan du projet avec bâtiments existants (les couleurs représentent le niveau de sensibilité aux tassements différentiels : les bâtiments rouges étant très sensibles, jaunes sensibles et verts peu sensibles)*

View of the project with existing buildings (the colours represent the level of sensitivity to differential settlements: red buildings are very sensitive, yellow are sensitive and green are not very sensitive)

frequency of measurements and analyse the results in relation to the context encountered.

The warning threshold corresponds to the reference scenario with a reasonable margin of variability. It has the same objective as the caution threshold, plus that of avoiding further deformation in the event that the threshold is exceeded.

Finally, there is the contractual threshold, which makes it possible to distribute the risk between the project owner and the contractor. Unlike the control thresholds, which can be adapted during the course of the work according to its progress, the contractual threshold remains unchanged throughout the execution of the contract.

Table 1 shows the thresholds that had to be met for underground neighbouring structures.

Ligne 3, 9, 13, 14, RER A, galeries subsurfaces, arrière gare HSL – section courante et zone de transitions	Seuils de pilotage		Seuil contractuel
	Seuil de vigilance	Seuil d'alerte	
Déplacement vertical différentiel	0.7 ‰	1 ‰	1.2 ‰
Déplacement horizontal différentiel	0.7 ‰	1 ‰	1.2 ‰
Déplacement vertical	10 mm	12 mm	15 mm
Déplacement horizontal	10 mm	12 mm	15 mm
Déplacement total	12 mm	15 mm	18 mm

Source: Projet d'exécution, Entonnement HSL, Lombardi

Tableau 1
Seuils de déplacement des ouvrages avoisinants souterrains
Displacement thresholds for surrounding underground structures

For the current sectors of the layout, the contractual thresholds for buildings are summarised in the table 2.

1.4 Geological context

The EOLE project is located within the Parisian tertiary series and its quaternary cover. The longitudinal profile shows that the tertiary formations are subhorizontal in the east part of the cavern system and slope slightly downwards in the west part.

The cavern system is primarily located in coarse limestone, but

L'entonnement se trouve essentiellement dans le Calcaire Grossier, mais il concerne également les Sables de Cuise en radier est et les Marnes et Caillasses en voûte à l'ouest.

Les paramètres de résistance de ces matériaux sont présentés ci-dessous :

- Marnes et Caillasses : φ' = 35°, c' = 25 kPa
- Calcaire Grossiers : φ' = 35-40°, c' = 50-75 kPa
- Sables de Cuise : φ' = 35°, c' = 0 kPa

Seuils contractuels	Tassements différentiels [mm/m]	Tassements absolus liés aux travaux de GC [mm]
Voirie et zones inoccupées	2	30
Bâti peu sensible	2	30
Bâti sensible	1.6	20
Bâti très sensible	1.2	15

Source: Projet d'exécution, Entonnement HSL, Lombardi

Tableau 2
Seuils contractuels de tassements différentiels et absolus
Contractual, differential and absolute settlement thresholds

2 Description des ouvrages

2.1 Puits Pasquier

Le puits Pasquier a comme but l'accès aux travaux de l'entonnement HSL et aux secours en phase d'exploitation. Il est situé au carrefour du Boulevard Haussmann et de la rue Pasquier. L'ouvrage se trouve à proximité de la ligne 9 du métro et du RER A (positionné à 0,75 m et 1,50 m de l'extrados de la ligne 9 et du RER A respectivement). Il présente une section en L et est excavé à l'abri d'une paroi moulée. La structure est illustrée en figure 5.

2.2 Rameaux

Le rameau Pasquier fait la liaison entre le puits Pasquier et l'entonnement avec un tracé en Y dissociant les fonctionnalités travaux de celles en exploitation avec :

- Un rameau technique à environ 5,10 m NGF et de 122 m de longueur dont 69 m en commun avec le rameau pompiers. Il permet l'accès à l'entonnement par la chambre B. En phase travaux, ce rameau est l'accès principal à l'entonnement ;

it also crosses the Cuise sands in the eastern invert and marls and limestones in the western vault.

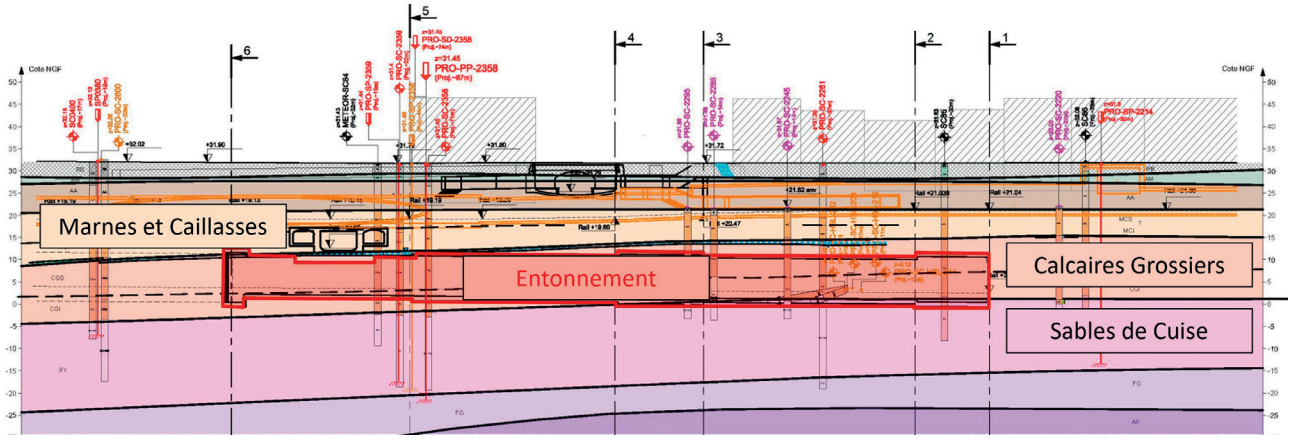
The resistance parameters of these materials are presented below:

- Marls and limestones: φ' = 35°, c' = 25 kPa
- Coarse limestone: φ' = 35-40°, c' = 50-75 kPa
- Cuise sands: φ' = 35°, c' = 0 kPa

2 Description of the structures

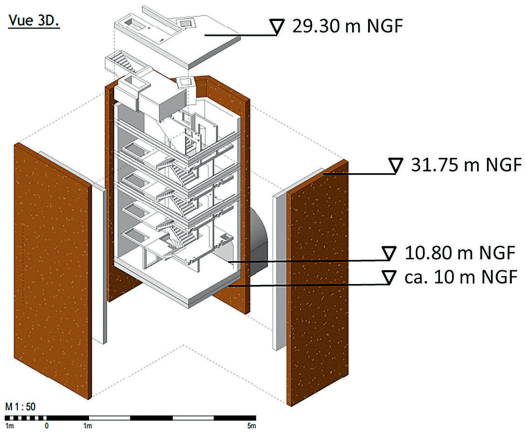
2.1 Pasquier shaft

The purpose of the Pasquier shaft is to provide access to the HSL cavern system during the construction and to provide emergency access during the operating phase. It is located at the Boulevard Haussmann and Rue Pasquier intersection. The structure is close to metro line 9 and RER A (positioned at 0.75 m and 1.50 m from the extrados of line 9 and RER A respectively). It has an L-shaped cross-section and was excavated in the shelter of a diaphragm wall. The structure is illustrated in figure 5.



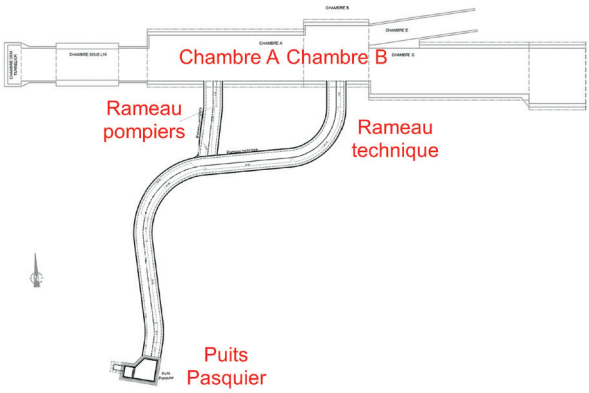
Source: DCE Entonnement HSL, Egis Tunnels

4 *Profil géologique au droit de l'entonnement HSL*
Geological profile at the HSL cavern system



Source: Projet d'exécution, Entonnement HSL, Lombardi

5 Visualisation 3D du puits Pasquier
3D visualisation of the Pasquier shaft



Source: Projet d'exécution, Entonnement HSL, Lombardi

6 Vue en plan des rameaux Pasquier
View of the Pasquier tunnels

- Un rameau pompiers pour l'accès de secours à environ 4,50 m NGF et d'une longueur réduite à 91,5 m dont 69 m en commun avec le rameau travaux. Il permet l'accès à l'entonnement par la chambre A.

2.3 Entonnement

L'entonnement constitue l'ouvrage qui relie l'arrière-gare HSL existante à 4 voies au futur tunnel d'EOLE à 2 voies, creusé au tunnelier. Le niveau des rails est compris entre 2,50 et 3,75 m NGF et le terrain naturel est à environ 32 m NGF.

L'entonnement est composé de 7 chambres de dimensions et de structures différentes. Les chambres principales sont décrites par la suite.

Les chambres A, B, C et D possèdent une ouverture de 13,60 m (chambres A et C) ou 16,45 m (chambres B et D) à l'intrados du revêtement. Elles comportent une voûte et une contre-voûte de 8 m et 20 m de rayon respectivement à l'intrados pour les chambres A et C et de 10 m et 23,50 m respectivement pour les chambres B et D. Les structures comportent :

- une voûte d'épaisseur variable de 0,51 m (chambres A et C) ou 0,72 (chambres B et D) en clef à 1,10 m sur l'appui ;
- des culées de 1,80 m de largeur et 2,06 m à 2,85 m de hauteur ;
- des piédroits de 1 m d'épaisseur ;
- une contre-voûte de 1 m d'épaisseur.

Elles sont creusées à partir de deux galeries de culée. Le soutènement de ces galeries est constitué de cintres HEB et d'une couche de béton projeté. Avant le bétonnage des culées, une rangée de jet grouting est réalisée sous l'emplacement de la culée, afin d'augmenter la sécurité au moment d'excaver dans les sables.

Après achèvement du bétonnage des culées, l'excavation et le soutènement de la calotte supérieure sont réalisés à l'avancement. Le soutènement de la calotte supérieure est constitué d'une couche de béton de confinement et de cin-

- A technical tunnel at about 5.10 m FGL (France Geographical Levelling) and 122 m long, 69 m of which are shared with the fire service tunnel. It provides access to the cavern system via chamber B. During the construction phase, this tunnel is the main access to the cavern system;
- A fire service tunnel for emergency access at around 4.50 m FGL and with a reduced length of 91.5 m, 69 m of which are shared with the construction tunnel. It allows access to the cavern system via chamber A.

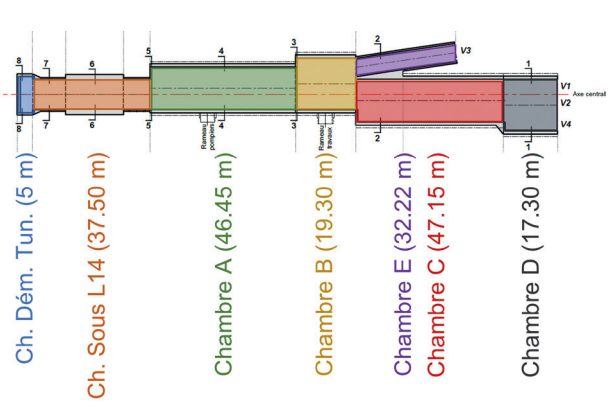
2.2 Tunnels

The Pasquier tunnel connects the Pasquier shaft to the cavern system with a Y-shaped layout that separates the construction and operation functions with:

2.3 Cavern system

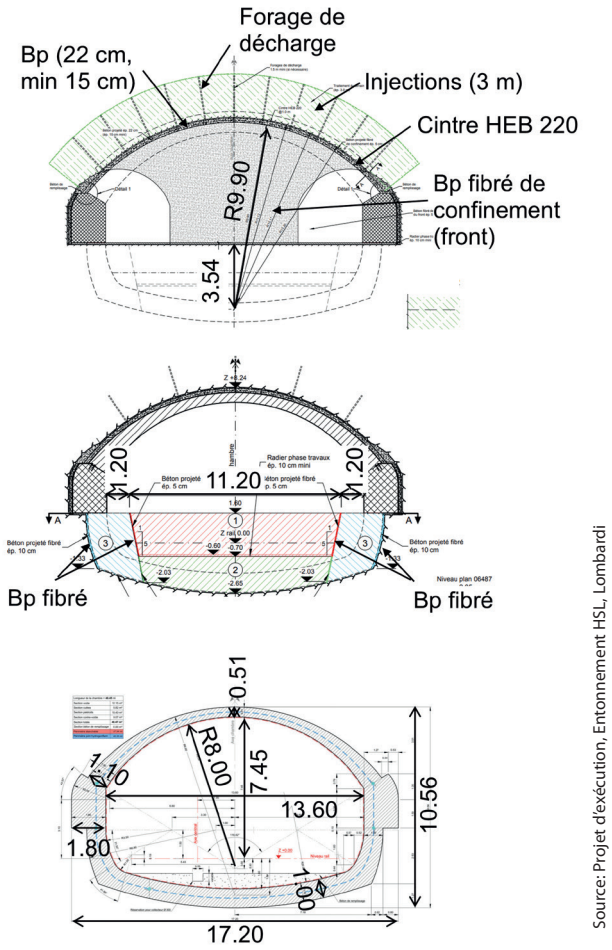
The cavern system connects the existing four-track HSL station to the future EOLE two-track tunnel, which will be excavated by tunnel boring machine. The level of the tracks is between 2.50 and 3.75 m FGL and the natural ground level is approximately at 32 m FGL.

The cavern system consists of seven chambers of different sizes and structures. The main chambers are described below.



Source: Projet d'exécution, Entonnement HSL, Lombardi

7 Schéma de principe de repérage de l'entonnement
Schematic diagram of the cavern system



Source: Projet d'exécution, Entonnement HSL, Lombardi

8 *Section courante de la chambre A pour différentes phases (Bp = Béton projeté ; en haut : excavation de la calotte ; au centre : excavation du stross ; en bas : revêtement final)*

Current section of chamber A for different phases (Bp = Shotcrete; top: crown excavation; centre: bench excavation; bottom: final lining)

tres HEB 220 posés avec un espacement de 1 m reposant sur les culées. Les cintres de la voûte sont posés de manière décalée par rapport aux cintres du soutènement de la galerie de culée.

Le stross et la contre-voûte sont excavés après l'achèvement du bétonnage de la voûte. L'excavation des piédroits est réalisée par plots de 3 m de longueur.

3 Dimensionnement

Les difficultés majeures du dimensionnement objet de ce rapport sont liées notamment :

- à la géologie (présence de sables dans la fondation de l'ouvrage) ;
- aux espaces réduits dans le souterrain (dimensions maximales des éléments préfabriqués) ;
- aux limitations très strictes des déformations et tassements dus au contexte urbain.

Chambers A, B, C and D have an intrados opening of 13.60 m (chambers A and C) or 16.45 m (chambers B and D). They have a vault and an invert with a radius of 8 m and 20 m respectively for chambers A and C and 10.0 m and 23.5 m respectively for chambers B and D. The structures comprise:

- a vault of variable thickness from 0.51 m (chambers A and C) or 0.72 m (chambers B and D) at the crown to 1.10 m at the top of the abutment;
- abutments 1.80 m wide and 2.06 m to 2.85 m high;
- 1-m-thick side walls;
- a 1-m-thick invert.

They are excavated from two abutment tunnels. These tunnels are supported by HEB steel arches and a layer of shotcrete. Prior to casting the abutments, a row of jet grouting is carried out under the abutment site – to increase safety when excavating in the sand below.

Once the abutments have been casted, excavation and support of the upper crown are carried out progressively. The upper crown support consists of a layer of confining concrete and HEB 220 arches placed at a distance of 1 m from each other on the abutments. The vault arches are laid offset from the abutment tunnel support arches.

The bench and the invert are excavated after the vault has been casted. Excavation of the bench is carried out in 3-m-long blocks.

3 Dimensioning

The main difficulties in the dimensioning covered by this report relate to:

- the geology (presence of sand in the foundation of the structure);
- limited spaces underground (maximum dimensions of the prefabricated elements);
- the very strict limitations of deformations and settlements due to the urban context.

As I was mainly charged with the dimensioning of the supports, the following sections focus on this aspect.

3.1 Method

In order to consider the influence of all existing structures as well as the influence of the cavern system on these structures, different numerical models were made using the FLAC3D software (Fast Lagrangian Analysis of Continua, a three-dimensional software based on the explicit finite difference method).

The main objectives of these models were:

- to assess the impact of the structure's construction on pre-existing structures in terms of induced displacement;
- to determine the forces on the new structures for their dimensioning.

M'étant principalement occupée du dimensionnement du soutènement, les chapitres suivants sont centrés sur cet aspect.

3.1 Méthode

Afin de considérer l'influence de toutes les structures existantes ainsi que l'influence de la réalisation de l'entonnement sur ces structures, différents modèles numériques ont été réalisés à l'aide du logiciel FLAC3D (Fast Lagrangian Analysis of Continua, logiciel tridimensionnel basé sur la méthode des différences finies explicites).

Les objectifs principaux de ces modèles sont :

- l'évaluation de l'impact de la construction de l'ouvrage sur les structures préexistantes en termes de déplacements induits ;
- la détermination des efforts sur les nouvelles structures pour leur dimensionnement.

L'idée était de déterminer le taux de déconfinement maximal applicable pour que les déplacements et tassements induits restent dans les limites contractuelles. La pression radiale obtenue de cette manière est ensuite appliquée comme pression sur le soutènement et constitue ainsi la base du dimensionnement de celui-ci.

Pour cette étude, quatre modèles tridimensionnels ont été présentés (un du puits Pasquier, trois pour l'entonnement), ainsi que quatre modèles bidimensionnels (sections du rameau Pasquier).

3.2 Modèles numériques de l'entonnement

En considérant la complexité des ouvrages souterrains à réaliser au niveau du secteur de l'entonnement HSL, et la potentielle interaction avec les ouvrages existants, les analyses numériques ont été effectuées en trois dimensions. L'ensemble des ouvrages de l'entonnement a été simulé par trois modèles indépendants :

- Chambre A : une analyse 3D détaillée des différentes phases d'excavation de la chambre A. Cette analyse a permis la vérification du développement des déformations dans la zone du front de taille avant la mise en place et l'activation du soutènement. Le maillage est préparé afin de permettre une bonne description de l'évolution de la convergence autour de l'excavation, en fonction de la distance du front de la section excavée et du type de soutènement envisagé. Le but était d'estimer les déplacements engendrés par les différentes phases de construction et de voir com-

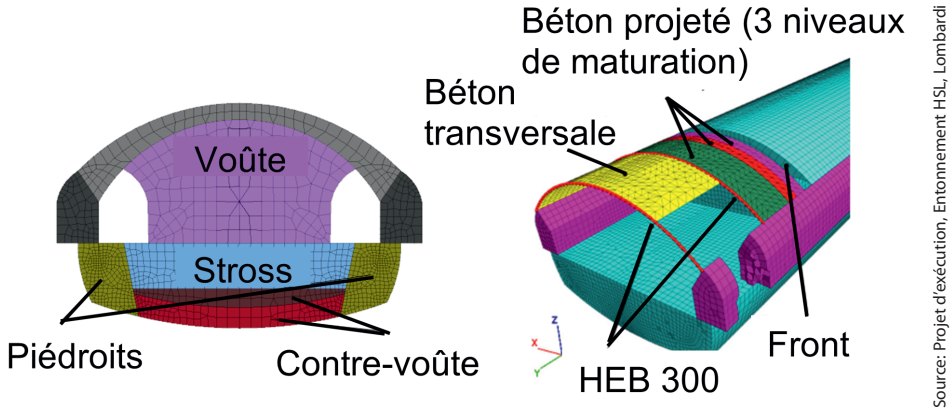
The idea was to determine the maximum applicable deconfinement rate so that the induced displacements and settlements would remain within the contractual limits. The radial pressure obtained in this way is then applied as pressure on the supports and thus forms the basis for the design of the supports.

For this study, four three-dimensional models were presented (one of the Pasquier shaft, three for the cavern system), as well as four two-dimensional models (sections of the Pasquier tunnels).

3.2 Numerical models of the cavern system

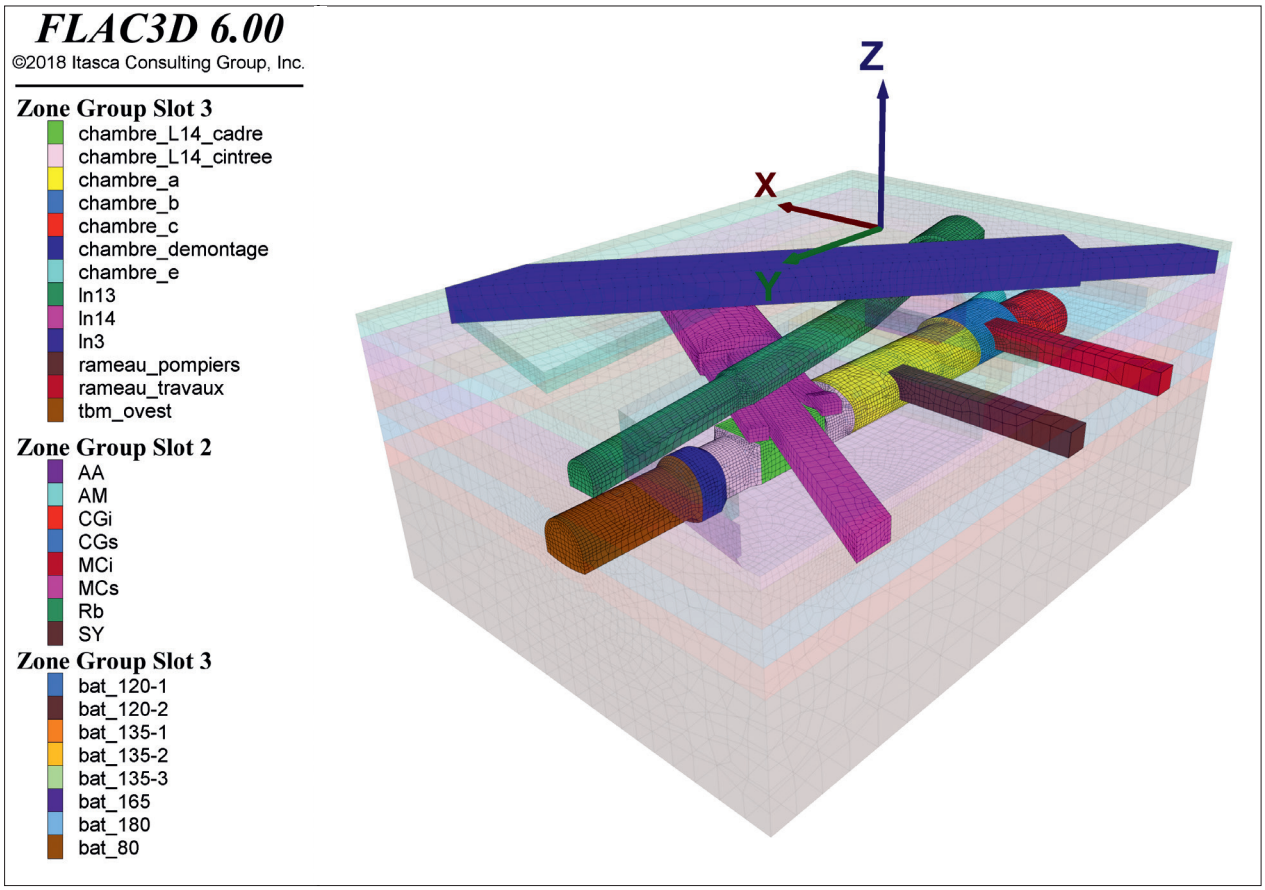
Considering the complexity of the underground structures to be built in the HSL cavern system area, and the potential interaction with the existing structures, numerical analyses were carried out in three dimensions. All the structures of the cavern system were simulated by three independent models:

- Chamber A: A detailed 3D analysis of the different phases of excavation in chamber A. This analysis allowed the verification of the development of deformations in the area of the working face before installing and activating the support. The mesh is prepared to allow good description of the evolution of the convergence around the excavation, as a function of the distance from the face of the excavated section and the type of support envisaged. The aim was to estimate the displacements generated by the different construction phases and to see how these same results can be simulated by a deconfinement rate that can be integrated in the following models, which are in turn less detailed in the Chamber A but more detailed in the other areas of interest.
- Cavern system west: The purpose of this model was to model the interaction between the construction of the cavern system and the existing structures. The mesh is detailed close to the most critical elements and less detailed when moving away from these areas. The presence of the different metro lines is simulated in a schematic way in order to define the loads acting upon the HSL cavern system.
- Cavern system east: similar to the west cavern system.



Source: Projet d'exécution, Entonnement HSL, Lombardi

9 *Images de FLAC du modèle numérique 3D de la chambre A*
FLAC images of the 3D numerical model of chamber A



Source: Projet d'exécution, Entonnement HSL, Lombardi

10 *Images de FLAC du modèle numérique 3D de l'entonnement ouest*
FLAC images of the 3D numerical model of the west cavern system

ment ces mêmes résultats peuvent être simulés par un taux de déconfinement intégrable dans les modèles suivants, qui sont à leur tour moins détaillés au droit de la Chambre A mais plus détaillés dans les autres zones d'intérêt.

- Entonnement ouest : ce modèle avait pour but de modéliser l'interaction entre la réalisation de l'entonnement et les ouvrages existants. Le maillage est détaillé pour les éléments plus critiques (à proximité de ces ouvrages) et moins détaillé en s'éloignant de ces zones. La présence des différentes lignes de métro est simulée de façon schématique afin de définir les charges agissant au niveau de l'entonnement HSL.
- Entonnement est : analogue au modèle Entonnement ouest.

3.3 Procédure de dimensionnement

3.3.1 Galeries transversales

Le premier défi dans le dimensionnement de l'entonnement était la conception des galeries transversales. Il s'agit des galeries qui partent depuis la fin des rameaux (pompiers et technique) et qui permettent l'excavation des galeries de culée des chambres A et B.

L'excavation et le soutènement des galeries transversales ont été réalisés avec un profil longitudinal suivant la géométrie

3.3 Dimensioning procedure

3.3.1 Transverse tunnels

The first challenge in dimensioning the cavern system was designing the transverse tunnels. These are the tunnels that start from the end of the fire service and technical tunnels and that allow the excavation of the abutment tunnels of chambers A and B.

The excavation and lining of the transverse tunnels were carried out with a longitudinal profile following the geometry of the vault. The lining was designed to maximise the stiffness and thus minimise deformations – and consequently reduce induced settlements in the surrounding area.

In general, the support is divided into three levels:

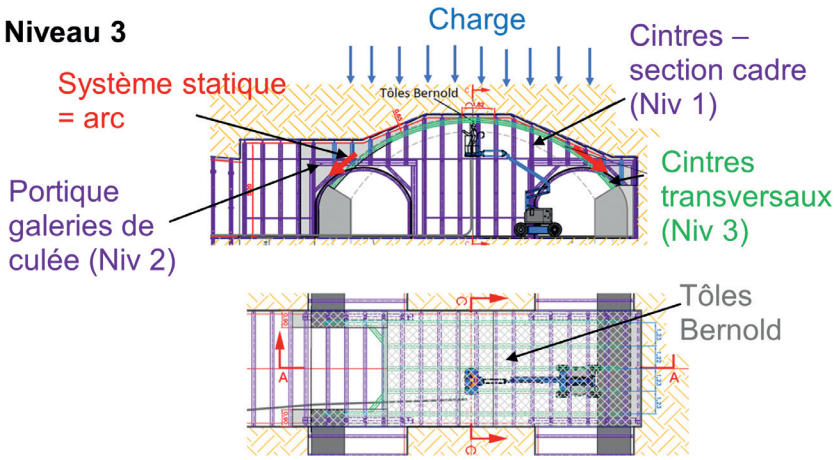
Level 1: Transverse tunnel support (steel arches – frame section)

- Purpose: Support the excavation of the transverse tunnel
- Structure: Steel arches (frame section) + shotcrete

Level 2: Abutment tunnel portals

- Purpose: Support the side wall structures of level 1 and allow the excavation of the abutment tunnels
- Structure: Steel frame section

Level 3: Transverse steel arches



11 Schéma de l'exécution de la phase finale des galeries transversales
Scheme of the final phase of the transverse tunnels

Source: Projet d'exécution, Entonnement HSL, Lombardi

de la voûte. Le soutènement a été conçu pour maximiser la raideur et minimiser les déformations, et en conséquence réduire les tassements induits sur les avoisinants.

En général, le soutènement se subdivise en trois niveaux :
Niveau 1 : Soutènement de la galerie transversale (cintres – section cadre)
- But : Soutenir l'excavation de la galerie transversale
- Structure : Cintres en acier (section cadre) + béton projeté

Niveau 2 : Portiques des galeries de culée
- But : Tenir les forces des piédroits du niveau 1 et permettre l'excavation des galeries de culée
- Structure : Section cadre en acier

Niveau 3 : Cintres transversaux
- But : Soutenir l'excavation pendant le creusement des premiers plots latéraux de la Chambre A (ou B), et transmettre les forces de réaction aux culées en béton (effet arc)
- Structure : Cintres en acier + tôles Bernold + béton

Les charges appliquées aux structures proviennent de la simulation numérique 3D et dépendent principalement de l'ouverture de la section. Elles sont représentées dans la fig. 12 pour les deux situations de calcul déterminantes.

Compte tenu du niveau de déformations imposées, les vérifications de celles-ci ont été généralement déterminantes. Par conséquent on avait accordé la priorité à des solutions de construction privilégiant intrinsèquement la raideur.

Chaque système statique (cadres, portiques, arcs) a ensuite été modélisé avec le logiciel STATIK de la CUBUS AG en appliquant ces charges pour calculer les efforts dans les profils ainsi que les déformations

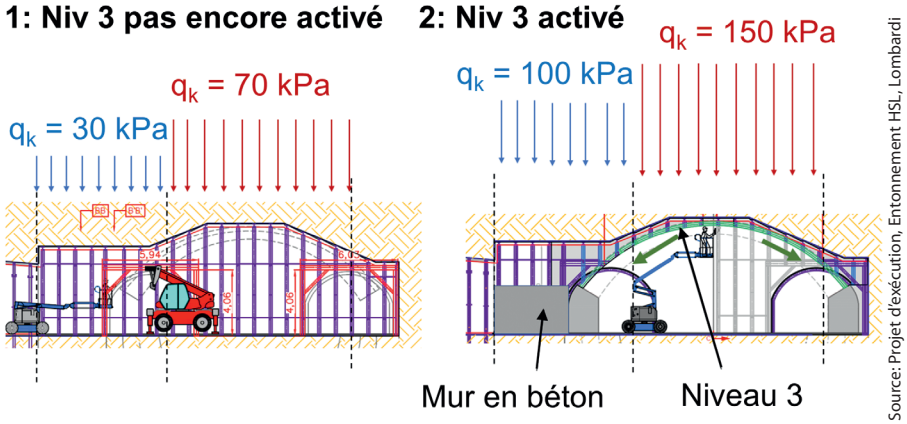
- Purpose: Support the vault while excavating the first side blocks of Chamber A (or B), and transmit the reaction forces to the concrete abutments (arch effect)
- Structure: Steel arches + Bernold sheets + concrete

The loads applied to the structures are obtained from the 3D numerical simulation and depend mainly on the cross-sectional area. They are shown in Fig. 12 for the two relevant calculation situations.

Given the level of deformations imposed, the verification of these deformations was generally decisive. Consequently, priority was given to construction solutions that were inherently stiff.

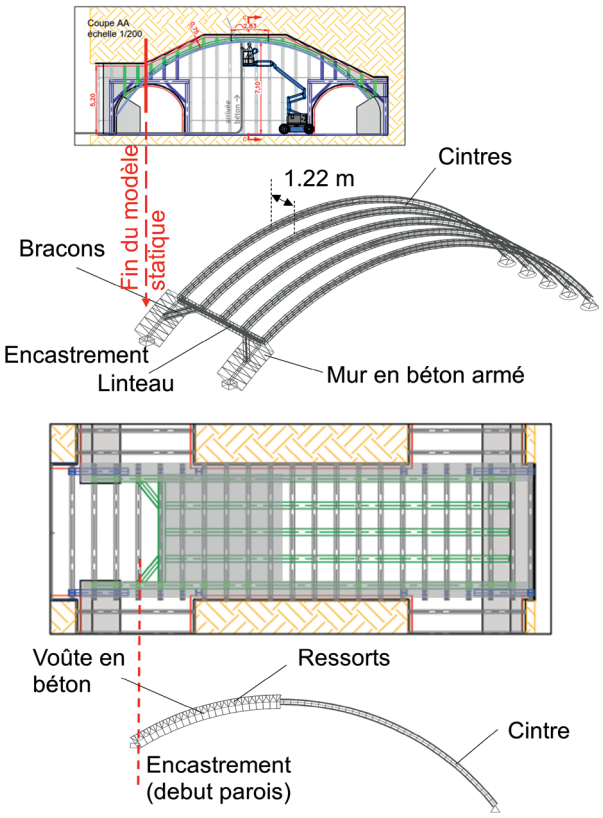
Each static system (frames, portals, arches) was then modelled with the STATIK software from CUBUS AG, applying these loads to calculate the cutting forces in the profiles and the deformations in these systems. Modelling the Level 3 arches was particularly complex. The static system consists of different structural elements, with sections initially only consisting of metal profiles, with the weight of the fresh concrete (hydrostatic distribution) in the first cast half of the arch as a load. In the next stage, this concrete hardens and becomes part of the load-bearing structure, while the fresh concrete on the other side of the structure is to be considered as a hydrostatically distributed load. For the last phase, the whole structure is modelled with mixed sections (steel profile and concrete) with a radial pressure from the numerical model as a load.

As all the elements had to be transported through the shaft and the tunnels, their maximum dimensions were given by their clearance. Each arch of the crown was thus composed



12 Charge et système statique de la galerie transversale
Load and static system of the transverse tunnel

Source: Projet d'exécution, Entonnement HSL, Lombardi



Source: Projet d'exécution, Entonnement HSL, Lombardi

13 *Modèles statiques pour différentes phases de la galerie transversale*

Static models for different phases of the transverse tunnel

de ces systèmes. La modélisation des arcs du niveau 3 a été particulièrement complexe. Le système statique est constitué de différents éléments structuraux, avec des sections initialement constituées uniquement de profilés métalliques, ayant comme charge le poids du béton frais (distribution hydrostatique) de la première moitié bétonnée de l'arc. Dans l'étape suivante, ce béton durcit et devient part de la structure portante, pendant que le béton frais de l'autre côté de la structure est à considérer comme charge à distribution hydrostatique. Pour la dernière phase, toute la structure est modélisée avec des sections mixtes (profil métallique et béton) avec comme charge la pression radiale issue du modèle numérique.

Tous les éléments devant être transportés à travers le puits et le rameau, leurs dimensions maximales étaient données par le gabarit de ceux-ci. Chaque arc de la calotte était ainsi composé de 4 parties indépendantes, devant être assemblées par boulonnage of four independent parts, which had to be bolted together on site. As it was not possible to weld underground for safety reasons, the connections requiring this type of assembly had to be made before the descent into the shaft, making them even more bulky.

3.3.2 Chamber B

The dimensioning of the support for chamber B is similar to that for chambers A, C and D. It begins with designing the abutment tunnels. These are horseshoe-shaped tunnels with an opening of 5.38 m and a height of 3.96 m. The geometry is identical in the four main chambers.

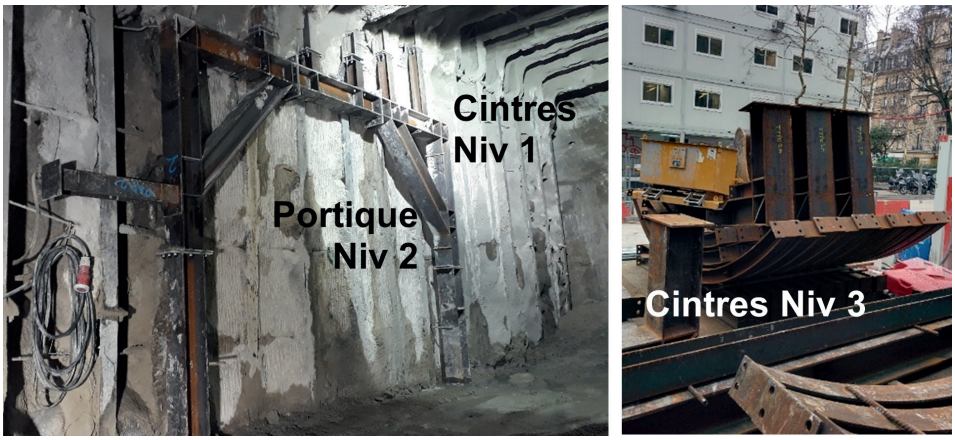
The support was designed using static models developed with the STATIK software, applying a radial pressure of 45 kPa in the vault (characteristic value resulting from numerical calculations).

Then, the support of the vault was dimensioned, starting with the HEB arches. The load applied for this structure, depending on the chamber opening, was 70 kPa for chamber B (characteristic value from numerical calculations).

A static model was made to check the strength of the profiles, as well as to check the deformations of the structure (comparison with the deformations from the numerical models).

The next step concerns the dimensioning of the connections on the abutments previously casted in the tunnels. The applied loads correspond to the reactions in the arch supports. The verifications carried out for the dimensioning of the connections are shown in Fig. 17.

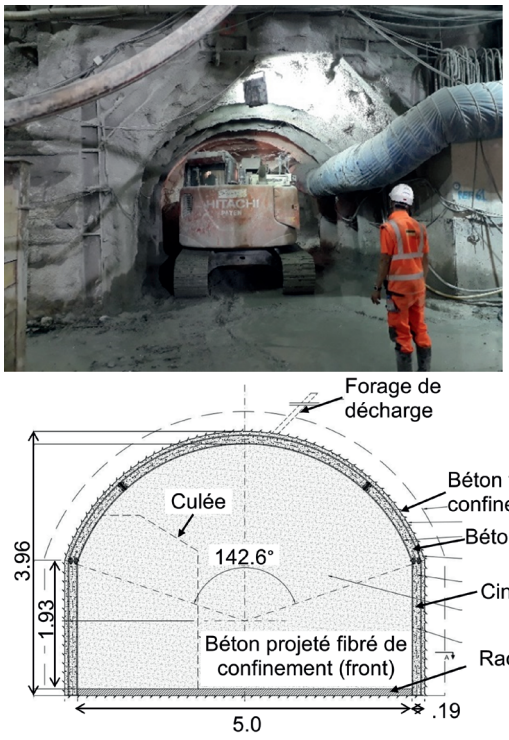
The last step was to check the bench excavation. This phase was a real challenge, since it was necessary to excavate under the abutments and therefore under the supports of the vault, whose final lining was completed at that time. The pressure on the vault results from numerical models



Source: Projet d'exécution, Entonnement HSL, Lombardi

14 *Impressions du chantier : Cadres de soutènement de la galerie transversale et portique pour ouverture des galeries de culée, cintres soudés avant transport dans l'entonnement*

Impressions of the construction site: Supporting frames of the transverse tunnel and portal for opening the abutment tunnels, welded arches before transport into the cavern system



Source: Projet d'exécution, Entonnement HSL, Lombardi

15 *Image de l'ouverture de la galerie de culée sous le portique (en haut), plan de la section courante de la galerie de culée (en bas)*

Image of the abutment tunnel opening under the portal (top), plan of the current abutment tunnel section (bottom)

sur place. Comme il n'était pas possible d'effectuer des soudures en souterrain pour raisons de sécurité, les connexions requérant un tel type d'assemblage devaient être réalisées avant la descente dans le puits, les rendant encore plus encombrantes.

3.3.2 Chambre B

Le dimensionnement du soutènement de la chambre B est analogue à celui des chambres A, C et D. Il commence par la conception des galeries de culée. Il s'agit de tunnels en forme de fer à cheval avec une ouverture de 5,38 m et une hauteur de 3,96 m. La géométrie est identique dans les quatre chambres principales.

Le soutènement a été dimensionné au moyen de modèles statiques élaborés avec le logiciel STATIK en appliquant une pression radiale de 45 kPa en calotte (valeur caractéristique issue des calculs numériques).

Ensuite le soutènement de la calotte a été dimensionné, en comas 150 kPa for chamber B, resulting in a vertical load on the abutments of 2,082 kN/m. Considering the block excavation phasing, this load would be transmitted to 2-m-wide rock "pillars" (Fig. 18), with blocks excavated over a width of 4 m, resulting in a load per pillar of 12,492 kN/m.

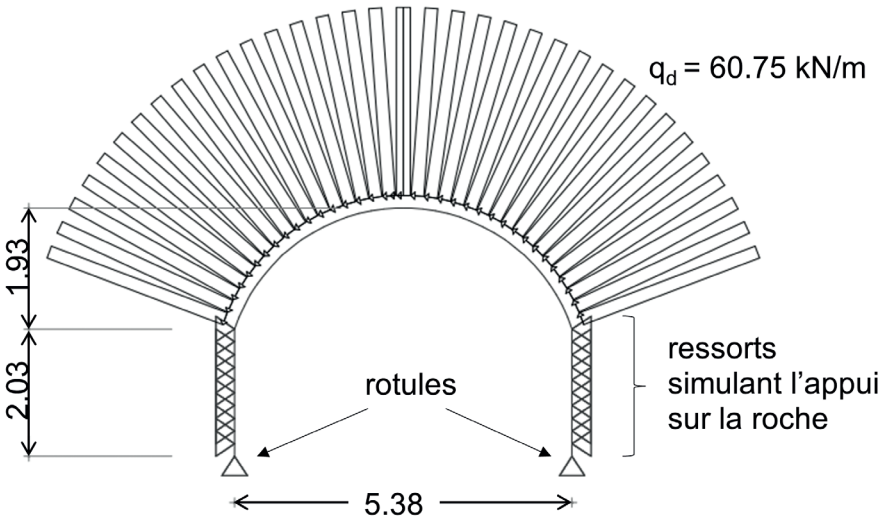
The diffusion of the forces within the coarse limestone is not taken into account, assuming that sub-vertical discontinuities may be present. The treatment involves jet grouting columns in the Cuise sands at the abutments, up to 2 m below the extrados of the invert. The forces are considered to be diffused within the jet grouting at an angle of 30° over a depth of 2 m. The pressure is therefore applied over an area 2.0 m wide and 4.31 m long.

The verification was carried out according to Vesic (1975) [1] and the pressure effectively applied directly on the sands obtained was 1,449 kPa (without jet grouting 3,470 kPa). As the bearing capacity of the sands was 2,420 kPa, this calculation showed the need for jet grouting columns.

3.3.3 Particularities

During the design and execution of this project, we encountered various challenges, complicating our approach or requiring in-depth analyses to find a solution to situations that did not seem critical at first glance.

The abutment tunnels were originally planned to be supported by means of lattice girders and shotcrete. During the excavation of the abutments, significant water ingress was observed. Since the presence of water caused difficulties in the application of the shotcrete, it was decided to change this method, using HEB arches which, from a static point of view, do not rely on the effect of shotcrete.



Source: Projet d'exécution, Entonnement HSL, Lombardi

16 *Modèle statique pour le dimensionnement du soutènement de la galerie de culée (charge majorée pour le dimensionnement à l'état limite ultime avec un facteur de 1.35)*

Static model for dimensioning the abutment tunnel support (increased load for dimensioning at the ultimate limit state with a factor of 1.35)

mençant par les arcs de cintres HEB. La charge appliquée pour cette structure, dépendant de l'ouverture de la chambre, était de 70 kPa pour la chambre B (valeur caractéristique issue des calculs numériques).

Un modèle statique a été réalisé pour vérifier la résistance des profils, ainsi que pour contrôler les déformations de la structure (comparaison avec les déformations issues des modèles numériques).

L'étape suivante concerne le dimensionnement des appuis sur les culées préalablement bétonnées dans les galeries. Les charges appliquées correspondent aux réactions dans les appuis des cintres. Les vérifications effectuées pour le dimensionnement des appuis sont montrées dans la fig. 17.

Le dernier pas consistait à vérifier l'excavation du stross. Cette phase était un vrai défi, puisque l'on devait excaver sous les culées et donc sous les appuis de la voûte, dont l'exécution du revêtement final était achevée à ce moment. La pression sur la voûte est issue du calcul numérique et est de 150 kPa pour la chambre B, engendrant une charge verticale p sur les culées de 2082 kN/m. En considérant le phasage d'excavation par plots, cette charge serait transmise à des « piliers » de roche de 2 m de largeur (fig. 18), avec des plots excavés sur une largeur de 4 m, ce qui résulte en une charge par pilier de 12 492 kN/m.

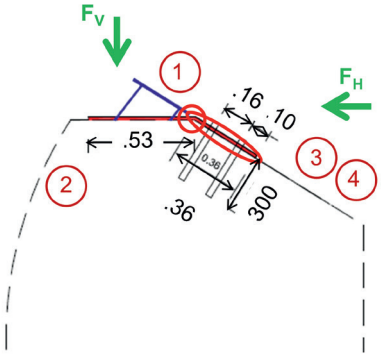
La diffusion des efforts au sein des Calcaires Grossiers n'est pas prise en compte, en assumant que des discontinuités sub-verticales puissent y être présentes. Le traitement prévoit la réalisation de colonnes de jet grouting dans les Sables de Cuise au droit des culées, jusqu'à 2 m en dessous de l'extrados de la contre-voûte. On considère que les efforts se diffusent au sein du jet grouting avec un angle de 30° sur une profondeur de 2 m. La force est donc appliquée sur une surface d'une largeur de 2 m et une longueur de 4.31 m.

La vérification a été effectuée selon Vesic (1975) [1] et la pression effectivement appliquée directement sur les sables obtenus était de 1449 kPa (sans jet grouting 3470 kPa). La capacité portante des sables étant de 2420 kPa, ce calcul a montré la nécessité de réaliser des colonnes de jet grouting.

3.3.3 Particularités

Pendant la conception et l'exécution de ce projet, nous avons rencontré différents défis, ayant requis un changement de soutènement ou une analyse approfondie pour trouver une solution à des situations qui a priori ne semblaient pas critiques.

Le soutènement des galeries de culées était initialement prévu au moyen de cintres réticulés et de béton projeté. Durant l'excavation des rameaux, d'importantes venues d'eau ont été observées. Puisque la présence d'eau engendre des difficultés dans l'application du béton projeté, il a été préféré de changer



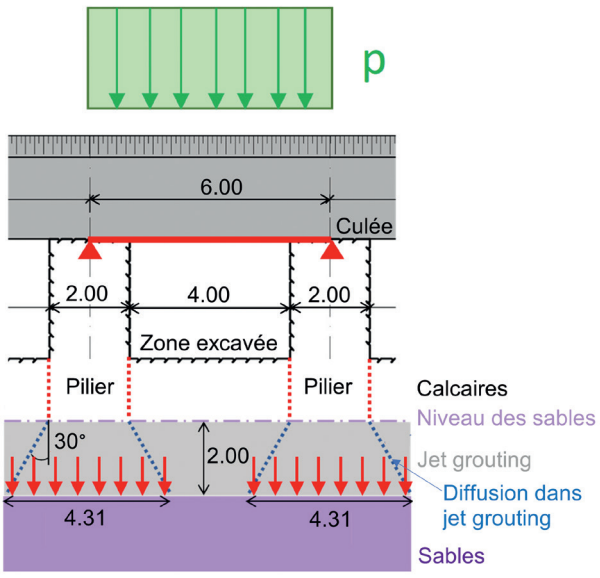
1 Vérification de la section en acier
2 Vérification de la surface de rupture au cisaillement
3 Vérification des barres d'ancrage
4 Vérification de la pression diamétrale dans la plaque

Source: Projet d'exécution, Entonnement HSL, Lombardi

17 *Vérifications de l'appui sur les culées*
Verifications for the support on the abutments

Another particular issue was the abutment tunnel supports in the transition area between the chambers, such as between chambers B and C.

As the deformation limits imposed were very strict, a very stiff support had to be provided. At the same time, the dimensions of the support elements were limited by the space available for transport in the tunnels. In addition, the support could not be too bulky, as it had to allow the passage of machines and material in the curves.



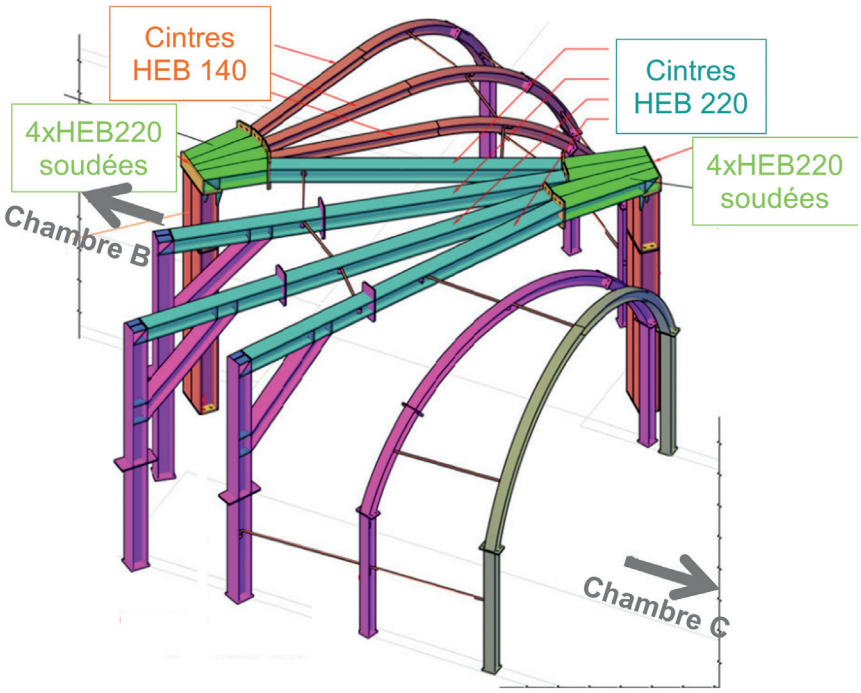
Source: Projet d'exécution, Entonnement HSL, Lombardi

18 *Schéma de la descente de charge des culées dans les sables (vue latérale)*
Scheme of the abutments' load transfer in the sand (side view)

le type de soutènement, en utilisant des cintres HEB n'ayant, d'un point de vue statique, pas besoin de l'effet du béton projeté.

Un autre point particulier a concerné les soutènements des galeries de culée dans la zone de transition entre les chambres, comme entre les chambres B et C.

Les limites de déformation imposées étant très strictes, un soutènement très raide devait être prévu. En même temps, les dimensions des éléments du soutènement étaient limitées par l'espace disponible pour le transport dans les rameaux. En plus, le soutènement ne pouvait pas être trop encombrant, du fait qu'il devait permettre le passage des machines et du matériau dans les courbes.



Source: Projet d'exécution, Entonnement HSL, Lombardi

19 *Visualisation 3D de la charpente métallique de la transition finalement adoptée*
3D visualisation of the final steel structure of the transition

3.4 Validation de la méthode de dimensionnement après achèvement des travaux

Les travaux de génie civil étant achevés, une évaluation de la méthode de dimensionnement, basée sur des modèles numériques, a été possible. En effet, les déformations des différentes structures existantes ont constamment été monitorées durant l'exécution de l'ouvrage. Ceci a permis de comparer leurs déplacements réels avec ceux calculés avec les modèles, qui ont été la base essentielle de tous les calculs de conception de l'ouvrage. Un exemple de ces résultats est montré dans la fig. 20.

Le graphique montre que le développement des tassements mesurés correspond très bien au développement des tassements dans le modèle. Ceci est également le cas pour les autres ouvrages, ce qui valide donc les modèles, en montrant qu'ils ont représenté la situation et simulé le phasage correctement.

4 Conclusion

Les résultats de ce travail ont été très positifs : les déformations mesurées correspondaient bien avec celles prévues et les travaux se sont poursuivis comme prévu. À ce jour, les travaux de génie civil sont achevés avec succès.

Ce projet a montré comment une analyse approfondie des exigences des modèles numériques, dont la réalisation est très complexe et très coûteuse en termes d'heures de travail, peut faciliter énormément les travaux de dimensionnement successifs, quand on connaît exactement les résultats nécessaires et les éléments devant être simulés avec plus de précision. Cela a réduit le nombre de modèles 2D approxi-

3.4 Validation of the dimensioning method after completion

With the civil engineering works completed, an evaluation of the dimensioning method, based on numerical models, was possible. Indeed, the deformations of the various existing structures were constantly monitored during the execution of the works. This made it possible to compare their actual displacements with those calculated in the models, which were the essential basis for all design calculations of the structure. An example of these results is shown in Fig. 20.

The graph shows that the measured settlement development corresponds very well with the settlement development in the model. This is also the case for the other structures, which validates the models, showing that they have represented the situation and simulated the phasing correctly.

4 Lessons learned

The results of this work were very positive. The measured deformations corresponded well with those expected and the work was carried out as planned. To date, the civil engineering works have been successfully completed.

This project has shown how a thorough analysis of the requirements of the numerical models, which are very complex and costly in terms of person-hours to produce, can make successive dimensioning work much easier when you know exactly what results are needed and which elements

matifs nécessaires pour estimer les charges, déformations et interactions entre les structures dans un contexte urbain aussi complexe.

5 Contribution et expérience personnelle

Ce projet était un des premiers grands projets dans lesquels j'ai eu l'opportunité de travailler de manière aussi approfondie, dimensionnant ces structures jusqu'au plus petit détail et intégrant des feedbacks du chantier pour modifier certains détails pendant l'avancement des travaux.

Je me suis occupée des calculs de dimensionnement de toutes les structures de soutènement présentées, depuis la réalisation de modèles statiques jusqu'à la vérification de tous les détails de la construction (connexions boulonnées, soudures) pour toutes les phases jusqu'à la réalisation des revêtements de toutes les structures composant cet ouvrage (puits Pasquier, rameaux, entonnement).

Ce projet m'a permis de rentrer dans le monde de la modélisation numérique, en ayant vu les possibilités de cet instrument et en ayant suivi de près le travail de mes collègues experts dans ce domaine.

Littérature/Références

[1] Vesic A. S., Bearing capacity of shallow foundations, 1975

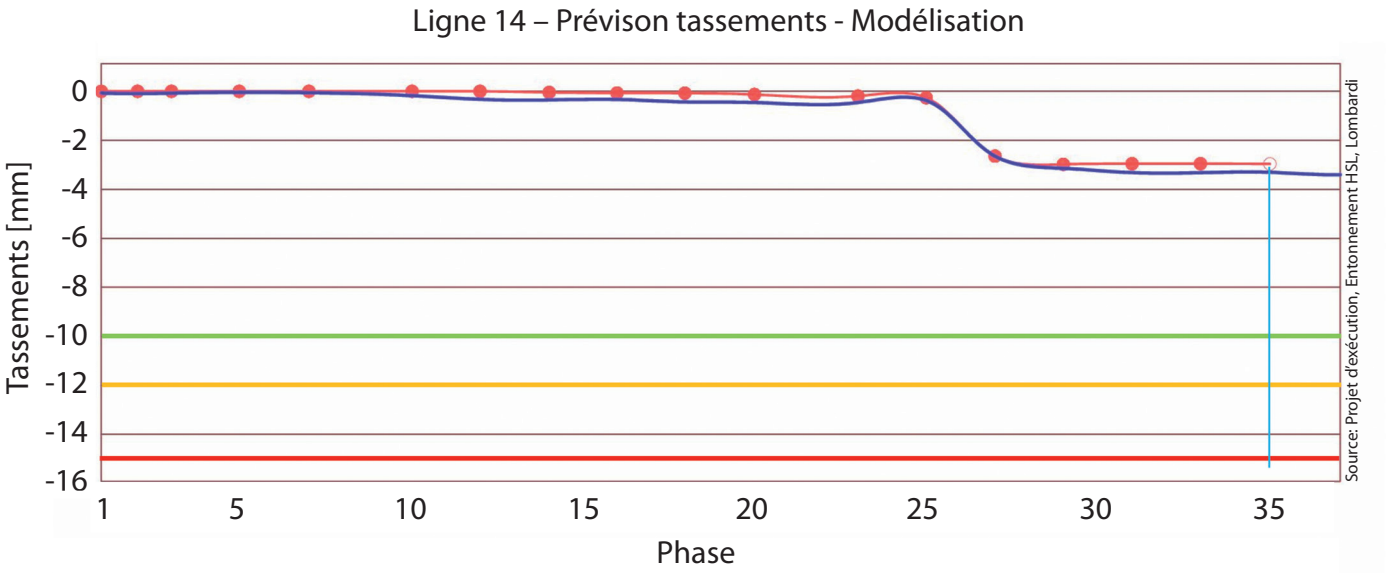
need to be simulated more accurately. This has reduced the number of approximate 2D models needed to estimate loads, deformations and interactions between structures in such a complex urban context.

5 Personal contribution and experience

This project was one of the first major projects in which I had the opportunity to work in such depth, dimensioning these structures down to the smallest detail and incorporating feedback from the site to modify certain details as the work progressed.

I was in charge of the dimensioning calculations of all the support structures presented, from the realisation of static models to the verification of all the construction details (bolted connections, welds) for all the phases up to the realisation of the linings of all the structures composing this work (Pasquier tunnels, branches, cavern system).

This project allowed me to enter the world of numerical modelling, having seen the possibilities of this instrument and having closely followed my colleagues' expert work in the field.



20 *Graphique de comparaison des tassements prévus par modélisation 3D (ligne bleue) et tassements mesurés (ligne rouge avec points) pour la ligne 14 (seuils marqués en vert, jaune et rouge)*

Graph comparing the settlements predicted by 3D modelling (blue line) and measured settlements (red line with dots) for Line 14 (thresholds marked in green, yellow and red)

DONNÉES DU PROJET

Région
Paris, France

Client
Société Nationale des Chemins de fer Français

Conception
Lombardi SA

Géologie
Egis Tunnels

Supervision du site et gestion des travaux
Groupement Alliance (Demathieu & Bard, NGE, Pizzarotti)

Exécution
Groupement Alliance (Demathieu & Bard, NGE, Pizzarotti)

Données clés

Période des travaux:	2017–2022
Mise en service:	prévue en 2023
Coût des travaux:	58 M€
Longueur totale:	173 m (entonnement)
Section d'excavation:	max. 190 m²

Caractéristiques particulières
Dimensionnement de cavernes dans un centre-ville densément bâti, utilisation de modèles numériques 3D

PROJECT DATA

Region
Paris, France

Client
French National Railway Company (Société Nationale des Chemins de fer Français)

Conception
Lombardi SA

Geology
Egis Tunnels

Site supervision and construction management
Groupement Alliance (Demathieu & Bard, NGE, Pizzarotti)

Execution
Groupement Alliance (Demathieu & Bard, NGE, Pizzarotti)

Key data

Construction period:	2017–2022
Commissioning:	planned for 2023
Construction costs:	€ 58 mill.
Total length:	173 m (cavern system)
Excavation section:	max. 190 m²

Special features
Dimensioning caverns in a densely built-up city centre, use of 3D numerical models

Nicolas Jungo, MSc ETH Bau-Ing., B+S AG, Bern

Städtischer Tunnelbau im Herzen von Bern

Die aussergewöhnlichen Herausforderungen des neuen Zufahrtstunnels für den Ausbau des RBS-Bahnhofs

Im Rahmen des Ausbaus Bahnhof Bern RBS wird im Abschnitt „Wildpark" eine zweispurige Abzweigung ab dem bestehenden RBS-Schanzentunnel im Tagbau realisiert. Während der Aushubarbeiten der Baugrube Wildpark wurde der in den 1960er-Jahren bergmännisch erstellte Schanzentunnel unter laufendem Bahnbetrieb freigelegt. Es handelt sich dabei um eine einzigartige, beispiellose Herausforderung.

Urban tunnelling in the heart of Bern

The unusual challenges presented by the new access tunnel to extend the RBS railway station

As part of the Bern railway station (RBS) extension, a two-lane junction from the existing RBS Schanzen tunnel is being built in the "Wildpark" section using open-cut construction. While excavating the Wildpark pit, the old Schanzen tunnel, which was built in the 1960s using tunnelling techniques, was uncovered while the railway was in operation. This posed a unique, unprecedented challenge.

1 Ausgangslage und Überblick

Der bestehende RBS-Tiefbahnhof wurde im Jahr 1965 als schweizweit erster Tiefbahnhof feierlich eröffnet. Damals für 16 000 Fahrgäste/Tag konzipiert, hat er seine ursprüngliche Kapazität mit heute an Spitzentagen bis zu 60 000 Fahrgästen um ein Vielfaches übertroffen [1]. Ein Ausbau der Infrastruktur ist unumgänglich, da die vorhandenen Perronanlagen keine längeren Züge zulassen und eine weitere Fahrplanverdichtung nicht mehr möglich ist. Bereits heute müssen ein- und aussteigende Fahrgäste aus Sicherheitsgründen im Perronbereich räumlich und zeitlich getrennt werden.

Die Zufahrt zum neuen Tiefbahnhof erfolgt von Worblaufen her ab dem bestehenden Schanzentunnel über einen ebenfalls neuen, zweispurigen, circa 1.5 km langen Tunnel. Sie mündet circa 25 m unterhalb der bestehenden Gleisanlage des SBB-Bahnhofs Bern in zwei neue Grosskavernen mit je zwei Gleisen und dazwischen liegendem Mittelperron. Das Gesamtprojekt Zukunft Bahnhof Bern beinhaltet ebenfalls den Ausbau der Publikumsanlagen des Bahnhofs Bern mit einer neuen Unterführung sowie neuen städtischen Zugängen. Die Investitionskosten für den Teil RBS-Tiefbahnhof belaufen sich auf rund 730 Millionen Schweizer Franken. Die Bauarbeiten sind seit 2017 im Gange, die Eröffnung des Tiefbahnhofs ist für 2029 vorgesehen.

Das Projekt Ausbau Bahnhof Bern RBS wird in insgesamt neun Abschnitte unterteilt (Bild 1). Die Abschnitte 1 „Neubau

1 Initial situation and overview

The current RBS underground station was officially opened in 1965 as Switzerland's first underground station. Designed at the time for 16,000 passengers/day, it has exceeded its original capacity many times over, with up to 60,000 passengers on peak days today [1]. Expanding the current infrastructure is unavoidable, as the existing passenger platforms do not allow for longer trains and additional scheduling increases are no longer possible. For safety reasons, boarding and alighting passengers already need to be separated spatially and temporally in the platform area.

Trains will reach the new underground station from Worblaufen via the existing Schanzen tunnel and via a new, approximately 1.5-km-long, two-lane tunnel. It ends approximately 25 m below the existing track system of the Bern SBB station in two new large underground caverns, each with two tracks and a central platform in between. The overall project "Zukunft Bahnhof Bern" also includes the expansion of public facilities at Bern station with a new underpass and new urban access points. The investment costs for the RBS underground station section amount to around 730 million Swiss francs. Construction work has been underway since 2017, and the opening of the underground station is scheduled for 2029.

The "Bern RBS station extension" project is divided into nine sections (Fig. 1). Sections 1, "New RBS station", and 2, "Sta-

Tunnels urbains au cœur de Berne

Les défis extraordinaires du nouveau tunnel d'accès pour l'extension de la gare RBS

Le projet « Extension de la gare RBS de Berne » comprend une nouvelle gare souterraine avec deux cavernes creusées sous les voies CFF existantes ainsi qu'un nouveau tunnel d'accès d'environ 1,5 km de long, qui sera construit par tronçons à ciel ouvert ou en souterrain. Le coût total de cette tranche « gare souterraine RBS » s'élève à 730 millions de francs suisses. Les travaux de construction sont en cours depuis juillet 2017 et l'ouverture de la gare souterraine est prévue pour 2029. Le maître d'ouvrage est la compagnie Regionalverkehr Bern-Solothurn AG (RBS). La planification de toutes les phases du projet, y compris la direction des travaux, est assurée par le consortium de planification RBS^{verbindet}.

Costruzione urbana di gallerie nel cuore di Berna

Le eccezionali sfide della nuova galleria di accesso per l'ampliamento della stazione RBS di Berna

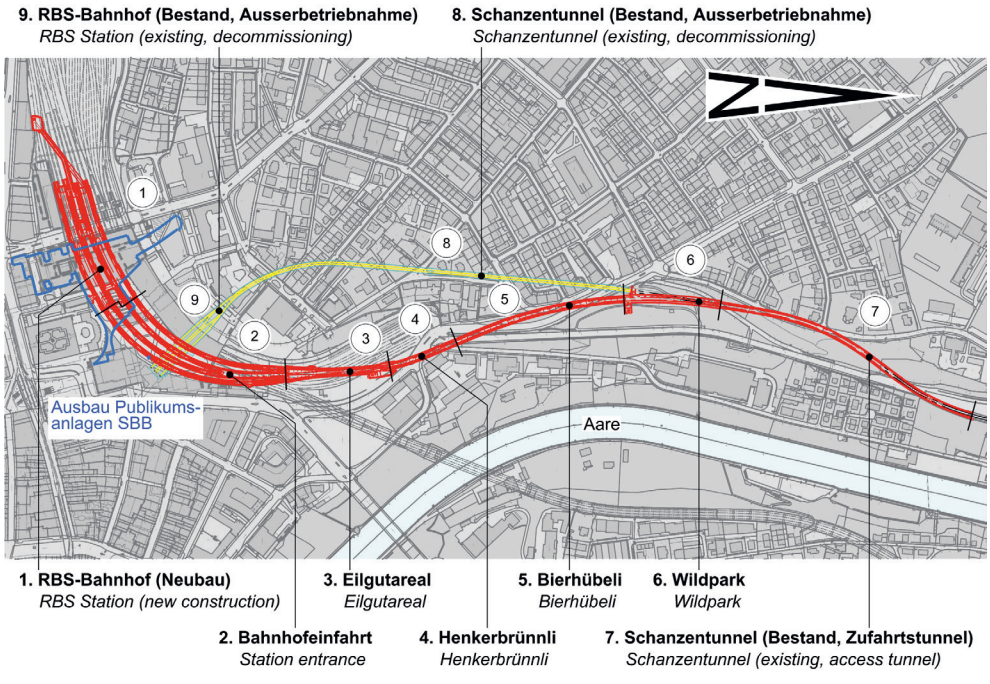
Il progetto «Ampliamento della stazione di Berna RBS» comprende una nuova stazione sotterranea con due caverne al di sotto dei binari FFS esistenti nonché una nuova galleria di accesso lunga circa 1.5 km, la quale verrà costruita in parte a cielo aperto e in parte tramite avanzamento a fondo cieco con metodo tradizionale. Il costo totale relativo alla stazione sotterranea RBS ammonta a 730 milioni di franchi svizzeri. I lavori sono in corso da luglio 2017 e l'apertura della nuova stazione sotterranea è prevista per il 2029. L'ente appaltante è la società Regionalverkehr Bern-Solothurn AG (RBS). Responsabile per la progettazione di tutte le fasi del progetto, inclusa la direzione dei lavori, è il consorzio di progettisti RBS^{verbindet}.

RBS-Bahnhof" und 2 „Bahnhofeinfahrt" sowie 4 bis 5 „Henkerbrünnli/Bierhübeli" erfolgen als bergmännischer Tunnelvortrieb. Der Abschnitt 3 „Eilgutareal" wird mittels Deckelbauweise realisiert, der Abschnitt 6 „Wildpark" in der offenen Bauweise (Baugrube). Die übrigen Abschnitte 7 bis 9 betreffen den Umbau des bestehenden RBS-Schanzentunnels und RBS-Bahnhofs. In diesem Artikel werden als Schwerpunkt die Herausforderungen bei der Freilegung des bestehenden Schanzentunnels im Abschnitt 6 „Wildpark" vorgestellt. Zusätzlich wird auf die gemachten Erfahrungen beim bergmännischen Tunnelvortrieb der Abschnitte 4 bis 5 „Henkerbrünnli/Bierhübeli" eingegangen.

1.1 Abschnitt Wildpark

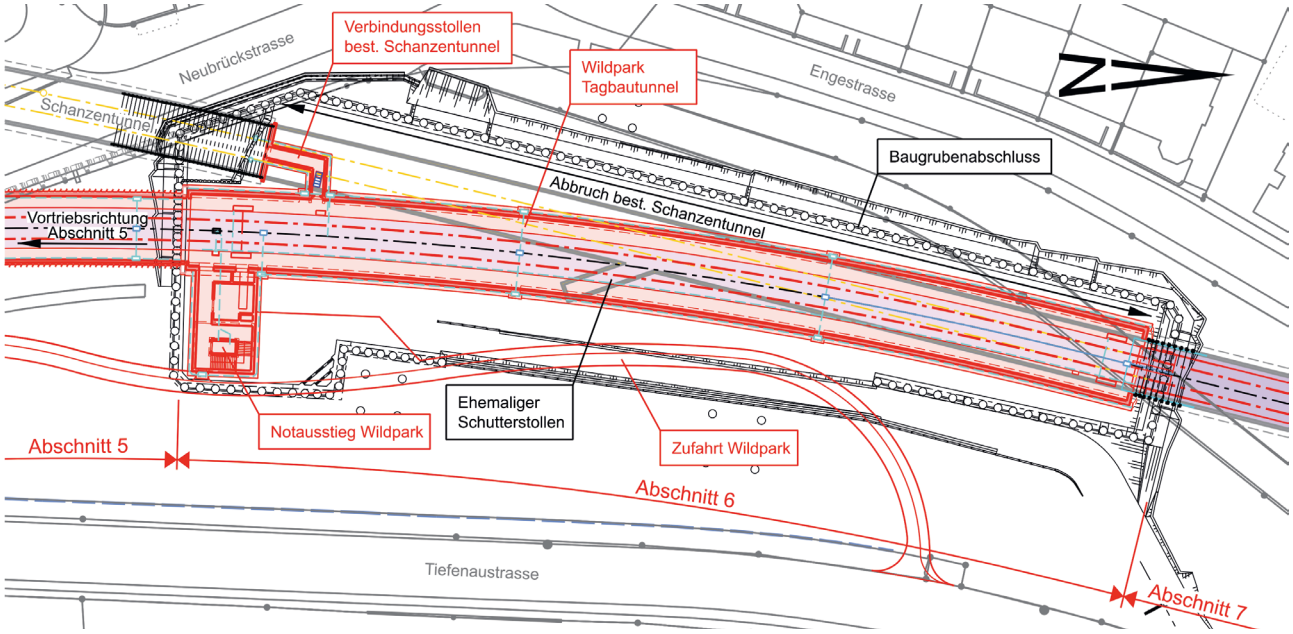
Im Abschnitt 6 „Wildpark" wird unter Bahnbetrieb eine zweispurige, schleifende Abzweigung ab der aktuellen RBS-Stammstrecke in den neuen RBS-Tiefbahnhof realisiert (Bild 2). Die Abzweigung erfolgt im Tagbau in einer Baugrube. Vorgängig ist der bestehende RBS-Schanzentunnel unter Bahnbetrieb freigelegt worden und wird im

tion entrance", as well as sections 4 to 5, "Henkerbrünnli/Bierhübeli", are being constructed as mined tunnels. Section 3, "Eilgutareal", will be built using a cut-and-cover method, while section 6, "Wildpark", will be built using an open construction method (excavation pit). The remaining sections 7 to 9 involve rebuilding the existing RBS Schanzen tunnel and the RBS station. This article focuses on the challenges posed when the existing Schanzen Tunnel in section 6, "Wildpark",



Quelle/credit: Planergemeinschaft RBS^{verbindet}, [2]

1 Projektübersicht „Ausbau Bahnhof Bern RBS" – Abschnitte (Situation)
Project overview "Bern RBS station extension" – sections



Quelle/credit: Planergemeinschaft RBSverbindet, [3]

2 Situation Abschnitt 6 „Wildpark" – schleifende Abzweigung in den neuen Zufahrtstunnel
Situation in section 6 "Wildpark" – looping junction into the new access tunnel.

Rahmen einer 3-wöchigen Totalsperrung abgebrochen. Anschliessend werden in mehreren Bauetappen die Bodenplatte sowie das Gewölbe des Tagbautunnels inklusive Notausstiegsgebäude erstellt und die Baugrube wieder aufgefüllt.

1.2 Baugrube Wildpark

Die Baugrube Wildpark (Bild 2) weist eine Länge von 165 m, eine Breite von 22 bis 40 m sowie eine Tiefe von bis zu 31 m auf. Als Baugrubenabschluss wurde eine aufgelöste Bohrpfahlwand mit Bohrpfählen von 1.3 m Durchmesser verwendet. Die Portalwand zum bergmännischen Tunnel wurde als überschnittene, GFK-bewehrte Bohrpfahlwand ausgebildet und ermöglicht den Tunnelvortrieb der Abschnitte 4 bis 5 „Henkerbrünnli/Bierhübeli" ab der Baugrube Wildpark. Vorgängig zur Bohrpfahlerstellung wurde ein Voraushub realisiert, welcher mit Nagelwänden respektive mit einer Mikropfahlwand gesichert wurde. Die Mikropfahl- und Bohrpfahlwand wurde mit Vorspannankern mit an tiefster Stelle bis zu sieben Ankerlagen rückverankert. Die Bemessung der Baugrube erfolgte unter anderem mit zweidimensionalen FE-Berechnungen (Bild 3). Die Bauarbeiten der Baugrube Wildpark starteten 2017 und wurden im Sommer 2020 abgeschlossen.

1.3 Abschnitt Henkerbrünnli/Bierhübeli

Ab der Baugrube Wildpark verläuft der neue Zufahrtstunnel in einem rund 390 m langen Doppelspurtunnel bis zum in Deckelbauweise erstellten Schacht Eilgutareal (Abschnitt 3). Der Doppelspurtunnel wird unterteilt in einen Felsabschnitt (Abschnitt 5) und einen Lockergesteinsabschnitt (Abschnitt 4). Die vorhandene Firstüberdeckung beträgt lediglich 8 bis 25 m. Die maximale Ausbruchfläche beträgt circa 120 m^2. Mehrere bestehende Gebäude liegen im Einflussbereich der bergmännischen Vortriebsarbeiten (Setzungen, Erschütterungen, Körperschall) und müssen sorgfältig überwacht werden.

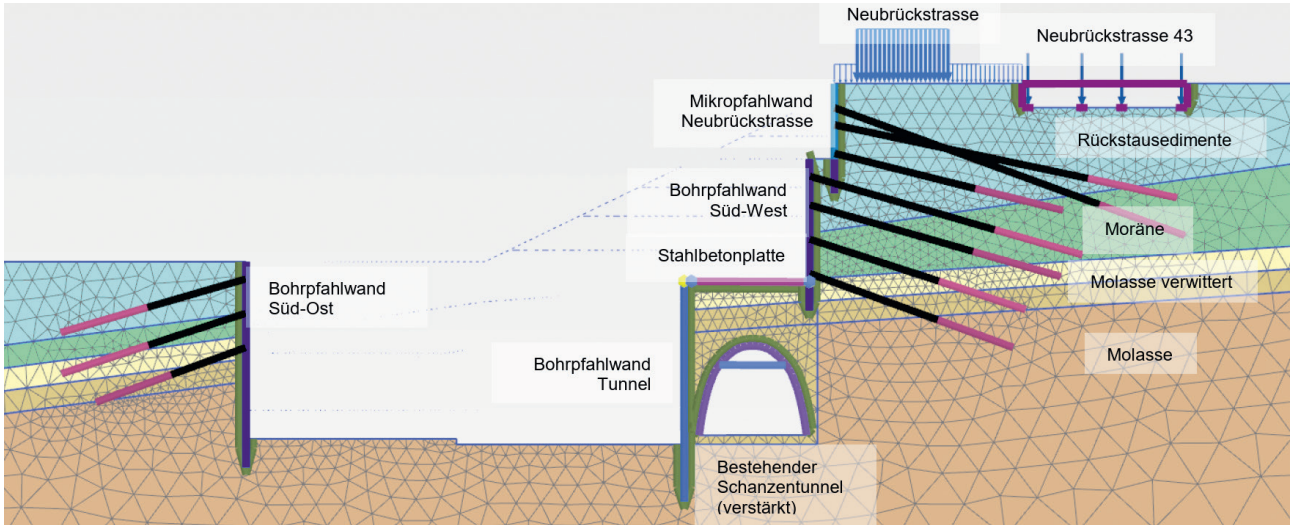
was uncovered. In addition, the article will go over the experiences gained when workers mined the tunnel in sections 4 to 5, "Henkerbrünnli/Bierhübeli".

1.1 Wildpark section

In section 6, "Wildpark", a two-lane, looping junction from the current RBS main line to the new RBS underground station will be built while the railway is in operation (Fig. 2). The junction is being built using open-cut construction in an excavation pit. Prior to construction, the old RBS Schanzen tunnel was uncovered during railway operations and will be demolished during a 3-week total railway closure. Subsequently, the base plate and the vault of the cut-and-cover tunnel, including the emergency exit building, will be constructed in several phases and the excavation pit will be refilled.

1.2 Wildpark excavation pit

The Wildpark excavation pit (Fig. 2) is 165 m long, 22 to 40 m wide, and up to 31 m deep. Its excavation was completed with a contiguous pile wall with 1.3 m diameter bored piles. The portal wall leading to the mining tunnel was designed as a secant, GRP-reinforced bored pile wall and enables excavation of tunnel sections 4 to 5, "Henkerbrünnli/Bierhübeli", from the Wildpark excavation pit. Prior to installing the bored piles, advance excavation work was carried out, sections of which were secured with anchor walls or with a micropile wall. The micropile and bored pile walls were tied back with prestressed rock bolts with up to seven bolt layers at the deepest point. The excavation pit design was carried out using two-dimensional FE calculations (Fig. 3). Construction work on the Wildpark excavation pit started in 2017 and was completed in summer 2020.



3 Baugrube Wildpark – zweidimensionales FE-Berechnungsmodell, Bereich Süd
Wildpark excavation pit – two-dimensional FE calculation model, south area

Zudem unterquert der Zufahrtstunnel mit der Neubrückstrasse und der Tiefenaustrasse wichtige Hauptverkehrsachsen der Stadt Bern.

2 Verstärkung des bestehenden RBS-Schanzentunnels

Beim bestehenden RBS-Schanzentunnel handelt es sich um den 1.3 km langen, doppelspurigen Zufahrtstunnel des bestehenden Bahnhofs Bern RBS. Der Tunnel weist im betroffenen Bereich ein Hufeisenprofil mit einer Höhe von 7.6 m und einer Breite von 9.8 m auf. Die effektive Gewölbestärke wurde vorgängig mittels Kernbohrungen ermittelt und beträgt im Minimum 40 cm bei einem maximalen Überprofil von circa 1 m. Das Gewölbe besteht aus unbewehrtem Beton und liegt vollumfänglich in der unteren Süsswassermolasse. Letztere setzt sich aus grobbankigen Sandsteinen und einer Wechsellagerung von Sandsteinen, Siltsteinen und Mergeln zusammen [4].

Das unbewehrte Gewölbe des Schanzentunnels musste im Abschnitt 6 vorgängig zur Freilegung von innen her verstärkt werden. Durch die wegfallende Bettung sowie aus asymmetrischen Lastfallkombinationen durch die Baugeräte hätte das unbewehrte Betongewölbe die daraus auftretende Biege- und Querkraftbeanspruchungen nicht aufnehmen und Schaden nehmen können. Ein sicherer Bahnbetrieb während der Aushubarbeiten der Baugrube war deshalb nur mittels vorgängiger Verstärkung des bestehenden Tunnelgewölbes denkbar. Für die Verstärkung wurden hierbei drei unterschiedliche Bereiche unterschieden: der 145 m lange Bereich „Mitte“, welcher nach der Freilegung abgebrochen wird, sowie die beiden Portalbereiche „Nord“ und „Süd“ der Baugrube, welche auch nach dem Abbruch des Bereichs „Mitte“ erhalten bleiben. Im Bereich „Mitte“ wurde das Gewölbe mittels Profilen HEB 160 und Querträgern alle 0.8 m sowie einer Längsaussteifung mit überlappenden Gewindestangen verstärkt (Bild 4 und Bild 6). Zudem wurden Schalungsgitter als Schutz vor möglichen Beton-Abplatzungen

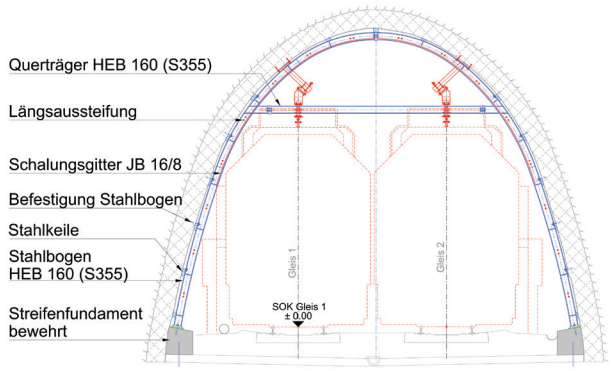
1.3 Henkerbrünnli/Bierhübeli section

The new access tunnel runs from the Wildpark excavation pit in an approximately 390-m-long double-track tunnel to the Eilgutareal shaft (section 3), which was constructed using a cut-and-cover method. The double-track tunnel is divided into a rock section (section 5) and a loose rock section (section 4). The existing roof cover is only 8 to 25 m. The maximum excavation area is approximately 120 m^2. Several existing buildings lie in the area affected by the excavation work (subsidence, vibration, structure-borne noise) and must be carefully monitored. In addition, the access tunnel passes under important main traffic routes in the city of Bern, including Neubrückstrasse and Tiefenaustrasse.

2 Reinforcing the existing RBS Schanzen tunnel

The existing RBS Schanzen tunnel is a 1.3-km-long, double-track access tunnel leading to the existing Bern rail station. In the affected area, the tunnel has a horseshoe profile with a height of 7.6 m and a width of 9.8 m. The vault thickness was determined in advance by means of core drilling and amounts to a minimum of 40 cm with a maximum over-profile of approx. 1 m. The vault consists of unreinforced concrete and lies entirely in the lower freshwater molasse. The latter is composed of coarse sandstone and an alternating bedding of sandstone, siltstone and marlstone [4].

The Schanzen tunnel’s unreinforced vault had to be reinforced from the inside prior to excavation (section 6). Because the bedding was omitted and because of asymmetrical load conditions caused by construction equipment, the unreinforced concrete vault would not have been able to absorb the resulting bending and shear force stress and would have been damaged. Safe railway operation during excavation was therefore only conceivable with prior reinforcement of the existing tunnel vault. For the reinforcement process, a distinction was made between three different areas: the 145-m-long “middle” area, which will be demolished after ex-



Quelle/credit: Planergemeinschaft RBS^{verbindet}, [5]

4 *Systemschnitt Ertüchtigung bestehender RBS-Schanzentunnel mit Stahlbogen – Bereich „Mitte“*

System section for reinforcing the existing RBS Schanzen tunnel with steel arches – “middle” section

verwendet. Die Stahlbögen wurden mittels Ankerdübeln mit dem bestehenden Gewölbe befestigt und mit Stahlkeilen unterlegt. Die Stahlbögen sind auf vorgängig erstellten Streifenfundamenten fundiert. Im Portalbereich Süd wurden die HEB-Bögen zusätzlich mit Spritzbeton hinterfüllt. Auf der Nordseite wurden zur Einhaltung des Lichtraumprofiles Frässchlitze erstellt und Gitterträger anstelle der HEB-Profile eingebaut und einbetoniert. Die Einhaltung des erforderlichen Lichtraumprofils wurde mittels Laserscanning kontrolliert.

Die Bauarbeiten der vorauseilenden Stahlverstärkung erfolgten in kurzen, nächtlichen Betriebsunterbrüchen, von jeweils 0.15 bis 5.00 Uhr, ausgehend von Bahnwagen ab dem Installationsplatz. Hierfür musste jeweils der Fahrstrom temporär ausgeschaltet werden. Die Stahlträger wurden vormontiert und in jeweils drei Teilen in den Tunnel gebracht, montiert und mit dem Gewölbe verdübelt. Zur Erstellung der Frässchlitze im Übergang der Abschnitte 6 bis 7 (Bereich Nord der Gewölbeverstärkung) musste teilweise zusätzlich die Deckenstromschiene demontiert beziehungsweise vor Betriebsbeginn wieder montiert werden (Bild 5).

cavation, and the two “north” and “south” portal areas of the excavation pit, which will remain in place even after demolishing the “middle” area. In the “middle” area, the vault was reinforced using steel H-beam 160 mm x 160 mm (HEB 160) profiles and cross beams every 0.8 m as well as longitudinal bracing with overlapping threaded rods (Fig. 4 and Fig. 6). In addition, formwork grids were used as protection against possible concrete spalling. The steel arches were fixed to the existing vault by means of rock bolt dowels and underlaid with steel wedges. The steel arches are supported on previously constructed strip foundations. In the south portal area, the HEB arches were additionally backfilled with shotcrete. On the north side, slots were cut and lattice girders were installed and concreted instead of the HEB profiles in order to maintain the clearance profile. Compliance with the required clearance profile was checked by means of laser scanning.

Installation of the steel reinforcement was carried out in short, nightly service interruptions, from 12:15 a.m. to 5:00 a.m. each day, starting from the installation site using railway wagons. This required the conductor rail to be temporarily switched off. The steel girders were pre-assembled and brought into the tunnel in three parts each, assembled and doweled to the vault. To create the cut slots between sections 6 and 7 (north section of the arch reinforcements), the overhead conductor rail had to be partially dismantled and reassembled before the start of operation (Fig. 5).

3 Exposing the existing tunnel vault

3.1 Construction process

For the subsequent exposure of the tunnel vault within the Wildpark excavation pit, different excavation stages and load ranges were defined depending on the remaining cover and proximity to the vault. These were determined on the basis of static calculations with asymmetrical loads from the present construction equipment. In excavation stage 1 (up to a residual cover above the roof ridge of approx. 4.3 m), there

Quelle/credit: Planergemeinschaft RBS^{verbindet}

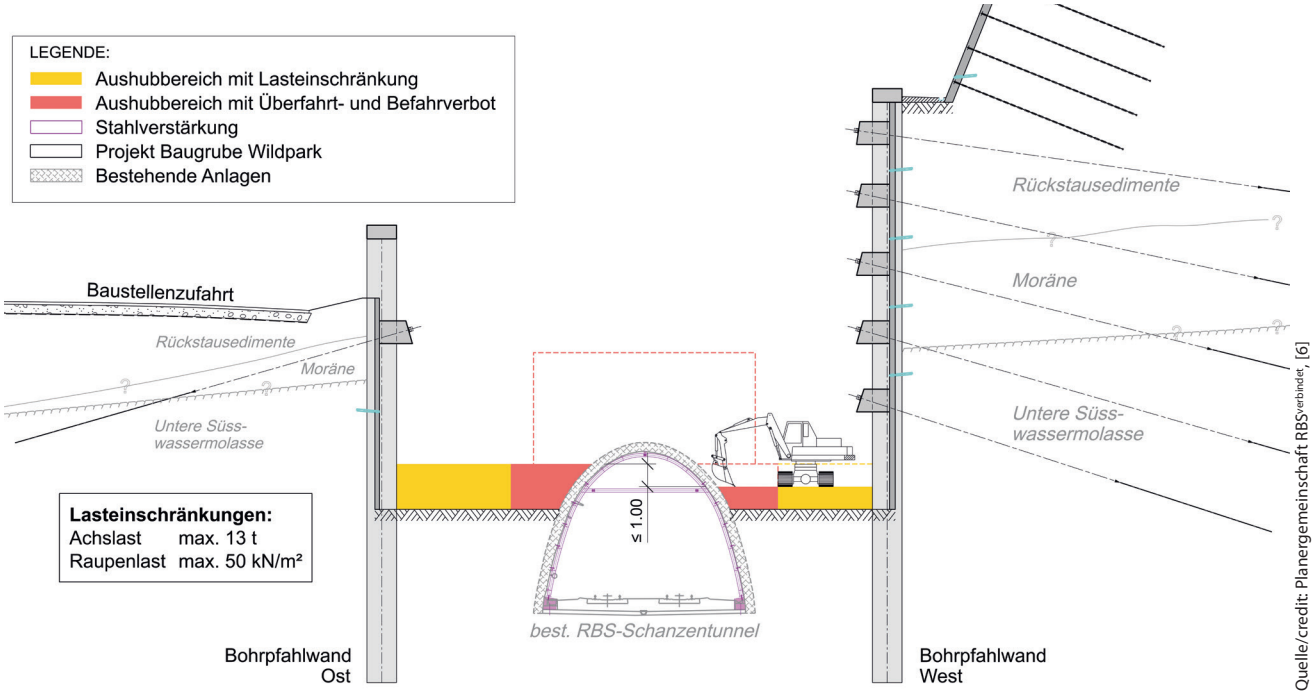
5 *Erstellen der Frässchlitze im Übergang Abschnitt 6–7 (06/2018)*

Creating the milling slots in the transition between sections 6–7 (June 2018)

Quelle/credit: Planergemeinschaft RBS^{verbindet}

6 *RBS-Schanzentunnel nach dem Einbau der Stahlbogenverstärkung (02/2020)*

RBS Schanzen tunnel after installing the steel arch reinforcements (February 2020)



7 Bauablauf Freilegung Schanzentunnel – Aushubzustand 3 mit Überfahrverbot
Construction sequence for exposing the Schanzen tunnel – excavation stage 3 incl. ban on overpasses

3 Freilegung des bestehenden Tunnelgewölbes

3.1 Bauablauf

Für die anschliessende Freilegung des Tunnelgewölbes innerhalb der Baugrube Wildpark wurden abhängig von der verbleibenden Restüberdeckung und Nähe zum Gewölbe verschiedene Aushubzustände und Lastbereiche definiert. Diese wurden anhand statischer Berechnungen mit asymmetrischen Belastungen durch die Baugeräte festgelegt. Im Aushubzustand 1 (bis Restüberdeckung oberhalb des Firsts von ca. 4.3 m) galten für den Schanzentunnel noch keine Einschränkungen bezüglich der maximalen Etappenhöhe. Der Tunnel durfte jedoch ab einer Restüberdeckung von 6 m erst nach Fertigstellung der Gewölbeverstärkung über- und befahren werden.

Ab dem Aushubzustand 2 (Restüberdeckung ab Tunnelfirst von circa 4.3 m bis 1.3 m) durfte das Gewölbe mit Baugeräten nicht mehr be- und überfahren werden. Der Aushub erfolgte sukzessive in beidseitig des Tunnels parallelen oder abwechselnden Aushubetappen.

Im Aushubzustand 3 (ab 1.3 m Restüberdeckung ab Tunnelfirst) durfte die maximale Höhendifferenz der beidseitigen Aushubetappen nur noch 1 m betragen (Bild 7). Zudem galt für die Geräte eine Lastbeschränkung von maximal 50 kN/m².

3.2 Ausführung

Das Konzept des Unternehmers sah einen in Tunnellängsrichtung fallenden Aushub mit beidseitig parallelen Aushubetappen vor. Ganz im Norden der Baugrube wurde eine Überfahrt erstellt und der Schanzentunnel anschliessend von Süden nach Norden sukzessive freigelegt (Bild 8).

still weren't any restrictions on the maximum section height for the Schanzen tunnel. However, from a residual cover of 6 m, the tunnel was only able to be crossed and accessed after completing the vault reinforcements.

Starting from excavation stage 2 (residual cover from the tunnel ridge of approx. 4.3 m to 1.3 m), the vault was no longer able to be crossed by or accessed with construction equipment. Excavation took place successively, in parallel or alternating excavation stages on both sides of the tunnel.

In excavation stage 3 (from 1.3 m of residual cover from the tunnel ridge), the maximum height difference of the excavation stages on both sides was only 1 m (Fig. 7). In addition, a maximum load restriction of 50 kN/m² applied to the equipment.

3.2 Implementation

The contractor's concept envisaged excavation along the longitudinal direction of the tunnel with parallel excavation stages on both sides. In the most northern part of the excavation pit, a crossover passage was created and the Schanzen tunnel was then successively exposed from south to north (Fig. 8). After the passage had been removed as excavation progressed, the excavated material from the west side was moved by crane bucket to the Wildparkstrasse above the west bored pile wall and discharged into truck troughs. For safety reasons, the existing Schanzen tunnel could not be crossed with crane loads.

An excavator remained trapped on the west side between the exposed tunnel and the west bored pile wall until the excavation was completed. After excavation was completed,

Nach Aufheben der Überfahrt bei fortschreitender Freilegung wurde das Aushubmaterial der Seite West mit Krankübel in bereitstehende Mulden auf die Wildparkstrasse oberhalb der Bohrpfahlwand West gebracht. Der bestehende Schanzentunnel durfte aus Risikogründen nicht mit Kranlasten überschwenkt werden.

Ein Bagger blieb bis zum Abschluss der Freilegung auf der Westseite zwischen dem freigelegten Tunnel und der Bohrpfahlwand West eingeschlossen. Nach Abschluss der Aushubarbeiten wurde dieser während einer nächtlichen Betriebspause mittels Mobilkran ab der oberliegenden Quartierstrasse herausgeholt (Bild 10).

4 Überwachung während Aushubarbeiten

Die Freilegung des RBS-Schanzentunnels erfolgte unter Anwendung eines ausführlichen Überwachungskonzeptes, bestehend aus geodätischen Messungen, Erschütterungsmessungen sowie regelmässigen Kontrollgängen der Bauleitung während der nächtlichen Betriebspausen. Zudem wurde die Baugrube Wildpark mit Messankern, Inklinometern, Extensometern sowie geodätischen Messpunkten ausgestattet.

4.1 Geodätische Messungen

Das unbewehrte Tunnelgewölbe wurde auf der Innenseite mittels vollautomatisierter Messungen geodätisch überwacht. Die Messquerschnitte bestanden aus jeweils acht radial über den Querschnitt verteilten Messpunkten, der

Quelle/credit: Planergemeinschaft RBS^{verbindet}

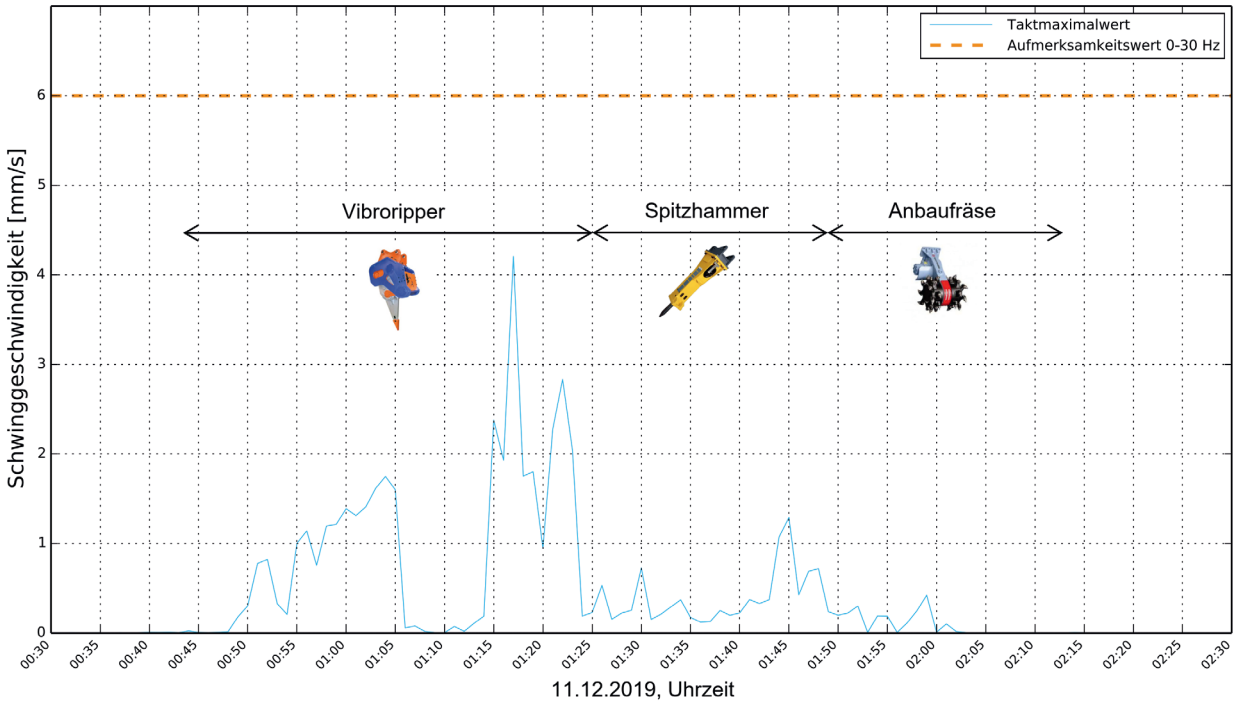
8 *Aushubarbeiten in der Baugrube Wildpark mit Blickrichtung Norden (03/2020)*

Excavation work in the Wildpark building pit looking north (March 2020)

the excavator was removed from the overlying neighbourhood road by means of a mobile crane during a night-time service shutdown (Fig. 10).

4 Monitoring during excavation work

Uncovering the RBS Schanzen tunnel was carried out using a detailed monitoring concept consisting of geodetic measurements, vibration measurements and regular inspections by construction management during night-time service interruptions. In addition, the Wildpark excavation pit was equipped with measuring bolts, inclinometers, extensometers and geodetic measuring points.



Quelle/credit: terra vermessungen ag, ergänzt Planergemeinschaft RBS^{verbindet}

9 *Erschütterungsmonitoring Schanzentunnel, Messprofil 15 Ost, 11.12.2019*

Vibration monitoring in the Schanzen tunnel, measurement profile 15 east, 11 December 2019

Längsabstand zwischen den Messquerschnitten betrug 10 m. Zusätzlich wurden die Holzschwellen mit Messpunkten ausgerüstet, um Verformungen der Gleisanlagen zu überwachen. Nach der abgeschlossenen Freilegung wurde auf eine Überwachung der Gewölbeaussenseite umgestellt und die zusätzlichen Messpunkte in die bestehende Überwachung der Baugrube Wildpark integriert.

Für den bestehenden Schanzentunnel wurde im Rahmen der Bemessung der Baugrube Wildpark eine maximale Hebung von 10 bis 12 mm prognostiziert. Dies aufgrund der Entlastung durch den Aushub. Die gemessenen Verformungen blieben im Bereich der prognostizierten Werte (<10 mm). Lediglich im Bereich des Schutterstollens der ehemaligen Bautätigkeiten (ehemaliges Baufenster Wildpark) wurden Hebungen von maximal 20 mm gemessen.

4.2 Erschütterungsmessungen

Zusätzlich zur geodätischen Überwachung wurden über im Innern des Schanzentunnels installierte Geophone Erschütterungsmessungen durchgeführt. Anhand dieser konnte die Auswirkung verschiedener, im Einsatz stehender Abbaugeräte für die Aushubarbeiten (Anbaufräse, Spitzhammer und Vibroripper) detailliert beurteilt werden. Auf Grundlage der Norm VSS-40 312 Erschütterungseinwirkungen auf Bauwerke wurde für das stahlverstärkte Betongewölbe ein Richtwert (Maximalwert des Geschwindigkeitsvektors) von 6 mm/s, bei einem für die Abbaugeräte massgebenden Frequenzbereich <30 Hz definiert sowie die folgenden Alarmierungsstufen festgelegt: Aufmerksamkeitswert: 2 mm/s, Interventionswert 4 mm/s und Soforteingriffswert 6 mm/s.

Während der Aushubarbeiten hat sich gezeigt, dass die Wahl des Abbaugeräts in der kompakten Molasse einen grossen Einfluss auf die gemessenen Erschütterungen hat, der Fels aber mit leichtem Abbaugerät nur schwer vom Tunnelgewölbe gelöst werden konnte. Als für den Felsabbau effizientestes Gerät hat sich der Vibroripper herausgestellt, welcher jedoch die im Vergleich zu den anderen Abbaugeräten grössten Erschütterungen auf das bestehende Gewölbe übertrug. Um diesen Zielkonflikt zu entschärfen, wurde während einer nächtlichen Betriebspause ein ausführliches Erschütterungsmonitoring mit den verschiedenen Abbaugeräten durchgeführt und deren Einfluss auf die am Gewölbe gemessenen Erschütterungen aufgezeichnet (Bild 9) und beurteilt. Die Versuche haben ergeben, dass die am Parament gemessenen Schwinggeschwindigkeiten beim Einsatz des Vibrorippers (bis 4.3 mm/s) viel höher ausfielen als beim Einsatz des Spitzhammers (bis 1.5 mm/s) respektive der Anbaufräse (bis 0.5 mm/s). Es wurde aus diesem Grund ein Bereich von 2 m um das Gewölbe des RBS-Schanzentunnels definiert, wo der Aushub nicht mit dem Vibroripper erfolgen durfte. Somit konnte die Freilegung des bestehenden Tunnels schonend und ohne Risiken für den Bahnbetrieb erfolgen.

4.3 Kontrollgänge

In regelmässigen Abständen (während der Aushubarbeiten circa zweimal wöchentlich) wurde das Gewölbe während der

4.1 Geodetic measurements

The inside of the unreinforced tunnel vault was geodetically monitored by means of fully automated measurements. The measurement cross-sections each consisted of eight measurement points distributed radially across the cross-section, and the longitudinal distance between the measurement cross-sections was 10 m. In addition, the wooden sleepers were equipped with measuring points to monitor deformations in the track systems. After exposure was completed, the outside of the vault was monitored and the additional now available measuring points were integrated into monitoring the Wildpark excavation pit.

For the existing Schanzen tunnel, a maximum uplift of 10 to 12 mm was forecast as part of the Wildpark excavation pit design. This was due to the relief provided by the excavation. The measured deformations remained within the predicted value range (<10 mm). Uplift of a maximum of 20 mm was only measured in the old access tunnel area (former Wildpark construction window).

4.2 Vibration measurements

In addition to geodetic monitoring, vibration measurements were carried out using geophones installed inside the Schanzen tunnel. These made it possible to assess the impact of various excavation equipment used for the excavation work in detail (drum cutter attachment, hydraulic breaker/hammer and vibro-ripper). Based on the VSS-40,312 standard, a limit value of 6 mm/s and the following warning levels were defined: Warning level: 2 mm/s, Intervention level: 4 mm/s and Immediate intervention level: 6 mm/s.

During excavation work, it became apparent that the choice of excavation equipment in the compact molasse had a major influence on the measured vibrations – and that the rock could only be loosened from the tunnel vault with difficulty using light excavation equipment. The vibro-ripper proved to be the most efficient tool for rock excavation, but

Quelle/credit: Planergemeinschaft RBS verbindet

10 *Nächtlicher „Baggerlupf" aus der Baugrube Wildpark zum Abschluss der Tunnelfreilegungsarbeiten (08/2020)*

Night-time "excavator lift" from the Wildpark building pit at the end of tunnel excavation work (August 2020)

nächtlichen Betriebspausen von 0.15 bis 5.00 Uhr detailliert inspiziert. Kontrolliert wurden bereits markierte Rissbreiten, der Zustand der Stahlverstärkung inklusive der Schalungsgitter und Verdübelungen sowie allgemeine Veränderungen wie beispielsweise der erhöhte Wassereintrag während der Freilegung. Durch die Vibrationen während der Aushubarbeiten haben sich insgesamt 16 der über 6000 Stahlkeile zwischen den HEB-Profilen und dem Betongewölbe gelöst. Da dies jeweils nur einzelne Auflagerpunkte betraf und dank der vorhandenen Schalungsgitter konnten diese während der Kontrollgänge entfernt werden, ohne dass für den Bahnbetrieb eine Gefahr bestand.

5 Erfahrungen beim bergmännischen Tunnelvortrieb im Abschnitt Henkerbrünnli/ Bierhübeli

Ab Herbst 2020 konnte der bergmännische Tunnelvortrieb der Abschnitte 4 bis 5 ab dem Portal in der Baugrube Wildpark pünktlich gestartet werden. Das Vortriebskonzept sah einen ab der Baugrube Wildpark fallenden, maschinenunterstützten Vortrieb MUF/MUL der Ausbruchart B (Kalottenvortrieb) vor. Aufgrund des städtischen Umfelds und geringer Überlagerung erfolgte der Ausbruch im Schutze eines systematischen Rohrschirms als Bauhilfsmassnahme. Die Ausbruchsicherung bestand aus Stahlbogen HEB 200 alle 1 m und Hinterfüllbeton. Im Abschnitt 4 wurde aufgrund der noch geringeren Überdeckung und prognostizierten Lockergesteinsmulden ein doppelter Rohrschirm eingesetzt (Bild 11). Das angetroffene Lockergestein bestand aus sehr kompakter Moräne, weshalb während der Ausführung die vorgesehene Ortsbruststützung mittels GFK-Anker optimiert werden konnte. Das Lösen des Sandsteins und der Moräne erfolgte mittels Tunnelbagger mit Abbauhammer.

Der Tunnelvortrieb der Abschnitte 4 bis 5 stellte im städtischen Umfeld hinsichtlich der Ausbreitung des Körperschalls eine grosse Herausforderung dar. Dieser konnte sich durch das teilweise sehr kompakte Gestein grossflächig ausbreiten und übertrug sich je nach Vortriebsstand auf die angrenzen-

Quelle/credit: Planergemeinschaft RBS^{verbindet}

11 *Kalottenvortrieb mit doppeltem Rohrschirm im Abschnitt 4 (07/2021)*
Calotte jacking with double pipe screen in section 4 (July 2021)

it caused the most vibrations on the existing vault compared to the other excavation tools. In order to mitigate this conflict of objectives, detailed vibration monitoring was carried out with different excavation machines during a night-time interruption in service operation, and their influence on the vibrations measured on the vault was recorded (Fig. 9) and assessed. The tests showed that the vibration velocities measured on the parament were much higher when using the vibro-ripper (up to 4.3 mm/s) than when using the hydraulic hammer (up to 1.5 mm/s) or the drum cutter (up to 0.5 mm/s). For this reason, an area of 2 m around the vault of the RBS Schanzen tunnel was defined where excavation could not be carried out with the vibro-ripper. This meant that exposure of the existing tunnel was able to be carried out in a gentle manner and without risk to railway operations.

4.3 Inspections

At regular intervals (about twice a week during excavation work), the vault was inspected in detail during night-time service interruptions from 12:15 a.m. to 5:00 a.m. Previously marked crack widths, the condition of the steel reinforcements (including formwork grids and dowelling) and general changes such as increased water inflow during excavation were checked. Due to vibrations during excavation work, 16 of the more than 6,000 steel wedges between the HEB (steel beams) profiles and the concrete vault came loose. As this only affected individual support points at any given time, and thanks to the existing formwork grids, these were able to be removed during the inspections without posing any risk to railway operations.

5 Experience gained during tunnelling the Henkerbrünnli/Bierhübeli section

From autumn 2020, tunnel excavation of sections 4 to 5 started on time at the portal at the Wildpark excavation pit. The excavation concept provided for MUF/MUL machine-assisted excavation of excavation type B (heading excavation) starting at the Wildpark pit. Due to the urban environment and low overburden, excavation was carried out under the protection of a systematic pipe umbrella as a construction support measure. Excavation support measures consisted of HEB 200 steel beam (200 mm x 200 mm) arches every 1 m as well as backfill concrete. In section 4, a double pipe umbrella was used because of an even lower cover and predicted loose rock depressions (Fig. 11). The loose rock encountered consisted of very compact moraine, which is why the planned face support using GRP bolts was able to be optimised during construction. Loosening the sandstone and the moraine material was carried out by means of a tunnel excavator with a hydraulic breaker/hammer.

Excavating the tunnel in sections 4 to 5 posed a major challenge in the urban environment regarding the propagation of structure-borne noise. This noise spread over a large area due to the partly very compact rock and was transmitted to

den Gebäude. Es wurde deshalb im Verlaufe der Ausführung beschlossen, die zulässigen Vortriebszeiten in den Morgen- und Abendstunden zu verkürzen.

Die Vortriebsarbeiten des 390 m langen Abschnitts konnten trotzdem nach rund 15 Monaten Bauzeit mit einem Vorsprung gegenüber dem ursprünglichen Bauprogramm abgeschlossen werden. Aktuell laufen die letzten Betonarbeiten der Tunnelverkleidung (Stand Juni 2023).

6 Lessons learned

Rückblickend kann festgehalten werden, dass sich die intensive Überwachung des bestehenden Tunnels während der Freilegung von aussen bewährt hat. Trotz der teils sehr kompakten Molasse erlaubten die Erschütterungsmessungen im Zusammenspiel mit den geodätischen Messungen und regelmässigen Kontrollgängen eine risikoarme und trotzdem wirtschaftliche Freilegung des Schanzentunnels.

Es wurde die Erfahrung gemacht, dass die am Gewölbe gemessenen Erschütterungen je nach eingesetztem Abbaugerät und auch Entfernung zum Messgerät stark differieren. Das während der Ausführung durchgeführte Erschütterungsmonitoring mit den Abbaugeräten ermöglichte, die aus der Norm VSS-40 312 abgeleiteten Grenzwerte auf deren Tauglichkeit mit der Baustellenrealität zu prüfen und die Alarmierungswerte objektspezifisch festzulegen.

neighbouring buildings – the amount depending on the excavation stage. It was therefore decided during construction to shorten the permissible excavation times in the morning and evening hours.

Nevertheless, excavation work in the 390-m-long section was completed after about 15 months of construction time, ahead of the original construction programme. Currently, the final concrete work for the tunnel lining is underway (as of June 2023).

6 Lessons learned

In retrospect, intense monitoring of the existing tunnel during excavation from the outside proved to be successful. Despite the partly very compact molasse, the vibration measurements in combination with the geodetic measurements and regular inspections allowed the Schanzen tunnel to be excavated in a low-risk and economic manner.

Workers learned that vibrations measured at the vault differed greatly depending on the excavation equipment used and the distance to the measuring device. Vibration monitoring carried out with the excavation equipment during construction made it possible to check the limit values derived from the VSS-40,312 standard for their suitability with the construction site and to determine the warning values for specific objects. However, any “prohibited

Quelle/credit: Planergemeinschaft RBS verbindet

12 *Baugrube Wildpark (Blickrichtung Süden) mit freigelegtem RBS-Schanzentunnel und Tunnelportal der bergmännischen Abschnitte 4/5 „Henkerbrünnli/Bierhübeli“ (08/2020)*

Wildpark building pit (looking south) with exposed RBS Schanzen tunnel and tunnel portal from mining sections 4/5 “Henkerbrünnli/Bierhübeli” (August 2020)

Allfällige „Verbotszonen", beispielsweise Bereiche, die den Einsatz von Abbaugeräten einschränken, müssen jedoch bereits in der Ausschreibungsphase eindeutig festgelegt werden.

Weiter ist sicherzustellen, dass die Ursache von Alarmmeldungen vor Ort geprüft wird und den jeweiligen Bautätigkeiten zugeordnet werden kann. Eine ständige Begleitung der Arbeiten durch einen Sicherheitsverantwortlichen der Unternehmung sowie ein regelmässiger Austausch zwischen Unternehmung, Bauleitung und Planung haben sich in diesem Fall ausgezahlt. Die anspruchsvolle Tunnelfreilegung konnte im Spätsommer 2020 termingerecht und ohne nennenswerte Zwischenfälle oder Unterbrüche des Bahnbetriebs abgeschlossen werden (Bild 12).

Es erfüllt mich mit grosser Freude und Stolz, an diesem Jahrhundertbauvorhaben für die Stadt Bern und für die ganze Grossregion Espace Mittelland mitwirken zu dürfen. Ab 2017 als Projektingenieur, ab 2019 als Teilprojektleiter für die Realisierungsphase der Baugrube Wildpark sowie des neuen bergmännischen Tunnelabschnittes zwischen Wildpark und Eilgutareal hatte ich die berufliche Chance, die Freilegung des bestehenden RBS-Schanzentunnels und die anschliessenden Vortriebsarbeiten des neuen Zufahrtstunnels massgebend mitzuprojektieren und hautnah begleiten zu dürfen.

zones" – for example, areas that restrict the use of demolition equipment – must already be clearly defined in the tendering phase.

Furthermore, it must be ensured that the cause of any warning messages is checked on site and can be assigned to relevant construction activities. Constant construction work monitoring by a safety officer from the client (project owner) as well as regular exchange between the client, construction management and planning department paid off in this case. The challenging tunnel excavation work was completed on schedule in late summer 2020 without any significant incidents or interruptions to rail operations (Fig. 12).

I am very pleased and proud to be involved in this monumental construction project for the city of Bern and the entire Espace Mittelland region. From 2017 as project engineer, and from 2019 as partial project manager for realising the Wildpark excavation pit and the new tunnel section between Wildpark and the Eilgut area, I had the professional opportunity to play a decisive role in project planning and to supervise exposing the existing RBS Schanzen tunnel and the subsequent access tunnel excavation work at close quarters.

Literatur/References

[1] https://www.rbs.ch/der-neue-rbs-bahnhof-bern; 22.01.2023.
[2] Ausbau Bahnhof Bern RBS, Ausschreibung. Teilprojekt 1 – Rohbau; Los 2.4 Zufahrtstunnel/Best. RBS-Anlagen – Übersichtsplan. Planergemeinschaft RBS^{verbindet}, 12.04.2019.
[3] Ausbau Bahnhof Bern RBS, Ausschreibung. Teilprojekt 1 – Rohbau; Los 2.4 Zufahrtstunnel – Situation, Abschnitte 3–6. Planergemeinschaft RBS^{verbindet}, 12.04.2019.
[4] Ausbau Bahnhof Bern RBS, Geologisch-geotechnischer Bericht, Submission Los 2.1, Kellerhals+Haefeli AG, 23.06.2017.
[5] Ausbau Bahnhof Bern RBS; Pläne des ausgeführten Werkes, Teilprojekt 1 – Rohbau; Los 3.6 Verstärkung Schanzentunnel, Teil 2. Planergemeinschaft RBS^{verbindet}, 25.09.2018.
[6] Ausbau Bahnhof Bern RBS, Ausschreibung. Teilprojekt 1 – Rohbau; Los 2.2 Baugrube Wildpark – Anhang 7, Bauablauf Aushub. Planergemeinschaft RBS^{verbindet}, 14.12.2016.

PROJEKTDATEN

Region
Bern, Kanton Bern, Schweiz
RBS-Linien RE, S7, S8, S9,
Abschnitt Worblaufen–Bern,
Bahn-km 32.213–33.942

Bauherr, Projekt- und Oberbauleitung
Regionalverkehr Bern-Solothurn AG (RBS)

Planung und Bauleitung
Planergemeinschaft RBS^{verbindet}:
B+S AG;
Basler & Hofmann AG;
Emch+Berger AG Bern;
Theo Hotz Partner AG;
diverse Subplaner

Ausführung (TP 1 Rohbau):

- Bahnhof (Abschnitt 1): ARGE Marti RBS Los 1.3: Marti Tunnel AG; Marti AG Bern
- Zufahrtstunnel (Abschnitte 2–6): Frutiger AG
- Zufahrtstunnel (Abschnitt 7): Walo Bertschinger AG Bern
- Baugrube Wildpark: ARGE Baugrube Wildpark: Kästli Bau AG; Implenia Schweiz AG; Meier + Jäggi AG

Kenndaten

Bauzeit:	2017–2031
Inbetriebnahme:	2029
Baukosten:	CHF 730 Mio.
Gesamtlänge:	1730 m

PROJECT DATA

Region
Bern, Canton of Bern, Switzerland
RBS lines: RE, S7, S8, S9,
Worblaufen–Bern section,
Rail km: 32.213–33.942

Client, project and superstructure management
Regionalverkehr Bern-Solothurn AG (RBS)

Planning and construction management
Planergemeinschaft RBS^{verbindet}:
B+S AG;
Basler & Hofmann AG;
Emch+Berger AG Bern;
Theo Hotz Partner AG;
various sub-planners

Implementation (TP 1 shell construction):

- Train station (Section 1): ARGE Marti RBS Lot 1.3: Marti Tunnel AG; Marti AG Bern
- Access tunnel (Sections 2–6): Frutiger AG
- Access tunnel (Section 7): Walo Bertschinger AG Bern
- Wildpark excavation pit: ARGE Baugrube Wildpark: Kästli Bau AG; Implenia Schweiz AG; Meier + Jäggi AG

Key data:

Construction time:	2017–2031
Commissioning:	2029
Construction costs:	CHF 730 Mio.
Total length:	1,730 m

Annika Zimmermann, Bauingenieurin MSc ETH, AFRY Schweiz AG, Zürich/CH

Neubau Tagbautunnel Hagnau

Unter Betrieb der Nationalstrasse im Bahndamm SBB

Im Rahmen des Erhaltungsprojektes Schänzli wurde der Tunnel Hagnau in offener Baugrube abgebrochen und neu erstellt. Er befindet sich im Bahndamm der SBB und sieben Gleise führen darüber. Gefordert wurde das Aufrechterhalten des Betriebs von Bahn und Nationalstrasse während der gesamten Bauzeit. Dieses Projekt gibt einen Einblick über innovative Planung beim Bauen im Bestand.

New cut-and-cover construction of the Hagnau Tunnel

During operation of the national motorway along the SBB railway embankment

As part of the Schänzli maintenance project, the Hagnau Tunnel was demolished and reconstructed as an open building pit. It is located along the SBB railroad embankment and seven tracks run over it. It was required to maintain the operation of the railroad and the national motorway during the entire construction period. This project provides an insight into innovative planning for construction in and/or on existing structures.

1 Erhaltungsprojekt Schänzli

1.1 Gesamtprojektübersicht

Das ASTRA-Erhaltungsprojekt Schänzli im Kanton Basel-Landschaft beinhaltet die umfassende Instandsetzung des Autobahnabschnitts Verzweigung Hagnau bis Anschluss Muttenz Süd der Nationalstrasse A2 und A18 in mehreren Teilprojekten. Über eine Länge von rund 10 km wurde das Trassee erneuert. Neben dem Neu- und Erweiterungsbau von Lärmschutzwänden wurde im Wesentlichen der Strassenbelag durch einen lärmarmen Belag ersetzt. Im gesamten Projektperimeter wurden zudem die Autobahnein- und -ausfahrten saniert. Diverse Kunstbauten wurden instand gesetzt, verstärkt oder teilweise neu gebaut. Wo möglich, wurden Spuranordnungen neu geregelt, um den Verkehrsfluss zu optimieren und die Verkehrssicherheit zu erhöhen. Zum Thema Umweltschutz wurden im Rahmen des Projektes diverse Massnahmen umgesetzt. Entwässerungs- und Sickerleitungen wurden ersetzt, im Bereich des Anschlusses Muttenz Süd wurde eine neue Strassenabwasser-Behandlungsanlage und für den Tunnel Schänzli ein Havariebecken erstellt.

Namensgeber des Projektes war der Tunnel Schänzli, dessen beide Röhren umfassend saniert worden sind. Neben grossflächigen Betoninstandsetzungen wurden auch hier der Belag und die angrenzenden Bankette erneuert. Entwässerungs- und Löschwasserleitungen wurden ersetzt. Zur Erhöhung der Tunnelsicherheit wurde ein zusätzlicher Fluchtweg realisiert.

1 Schänzli maintenance project

1.1 Total project overview

The FEDRO Schänzli maintenance project in the canton of Basel-Landschaft involves comprehensive repair of the motorway section from the Hagnau junction to the Muttenz south junction on the A2 and A18 motorways as part of several sub-projects. The route was previously repaired over a length of around 10 km. In addition to the construction and extension of noise barriers, the road surface was essentially replaced with low-noise surface material. In addition, the motorway entrances and exits were renovated throughout the project perimeter. Various engineering structures were repaired, strengthened or partially rebuilt. Where possible, lane configurations were rearranged to optimise traffic flow and increase road safety. Various environmental protection measures were implemented as part of the project. Drainage and seepage pipes were repaired, a new road waste water treatment plant was built in the Muttenz south junction area and an emergency basin was constructed for the Schänzli Tunnel.

The project was named after the Schänzli Tunnel, both tubes of which were comprehensively repaired. In addition to large-scale concrete repairs, the pavement and the adjacent shoulders were also renewed here. Drainage and fire-fighting water lines were replaced. An additional escape route was built to increase tunnel safety.

Nouveau tunnel de Hagnau en tranchée couverte

Pendant l'exploitation de la route nationale sous l'emprise ferroviaire des CFF

Dans le cadre du projet de maintenance Schänzli de l'OFROU, les experts ont décidé de démolir et de reconstruire le tunnel de Hagnau, notamment pour en élargir le profil et supprimer ainsi le point noir accidentogène situé dans la zone de jonction entre la sortie Muttenz Nord et l'accès au tunnel Schänzli. Divers procédés du génie civil spécial ont été appliqués pour la construction du tunnel en tranchée couverte sous l'emprise ferroviaire des CFF, entièrement pendant l'exploitation de la route nationale et de la voie ferrée. Les travaux ont duré environ trois ans et les coûts d'investissement de ce sous-projet se sont élevés à environ 60 millions de francs suisses.

Nuova costruzione del tunnel a cielo aperto di Hagnau

Negli argini ferroviari FFS in pieno esercizio della strada nazionale

Nell'ambito del progetto di risanamento di USTRA – Schänzli è stata disposta la demolizione e la nuova costruzione del tunnel Hagnau al fine di ampliare il profilo e contrastare in tal modo la frequenza di incidenti nell'area della diramazione dell'uscita Muttenz Nord e il passaggio al tunnel dello Schänzli. Sono state impiegate diverse procedure d'ingegneria civile in pieno esercizio della strada nazionale e della ferrovia ed il tunnel è stato edificato a cielo aperto negli argini ferroviari, FFS. Il tempo dei lavori è stato di circa tre anni e il monto contrattuale per il progetto parziale ammonta a circa 60 milioni di franchi svizzeri.

Dem Tunnel Schänzli vorgelagert ist der Tunnel Hagnau. Bereits bei der Erstellung des Erhaltungskonzeptes wurde entschieden, den Tunnel abzubrechen und neu zu bauen. Zwischen den beiden Tunneln befindet sich der Verzweigungsbereich mit der Ausfahrt Muttenz Nord. In diesem Bereich wurde eine neue Tunnel-Betriebszentrale zur Unterbringung der notwendigen technischen Infrastruktur für die beiden Tunnel Schänzli und Hagnau erstellt. Der Zugang erfolgt oberirdisch von der Birsfelderstrasse her.

Das gesamte Projekt wurde in den Jahren 2017 bis 2022 ausgeführt. Die Kosten haben rund 240 Millionen Schweizer Franken betragen.

1.2 Übergeordnete Projektziele

Mit der Gesamterneuerung des Abschnitts Verzweigung Hagnau bis Anschluss Muttenz Süd wurden diverse Ziele verfolgt. Es musste eine möglichst interventionsfreie Betriebszeit der Anlage von mindestens 15 bis 20 Jahren sichergestellt werden. Das Beheben von Unfallschwerpunkten und damit die Verbesserung der Verkehrssicherheit war eines der Hauptziele und wurde durch die Optimierung von Spuranordnungen und wo möglich Fahrstreifenaddition erreicht. Dabei waren die aktuellen Normen und Richtlinien möglichst einzuhalten. Bei der Umsetzung von Erhaltungsprojekten und Bauen im Bestand gibt es viele einschränkende Randbedingungen, welche ebenfalls zu berücksichtigen waren und mit den diversen Vorgaben in Einklang gebracht werden mussten.

2 Teilprojekt Tunnel Hagnau

2.1 Lage und Übersicht

Das eigentliche Herzstück des Erhaltungsprojektes ist der Tunnel Hagnau. Er liegt zwischen der Autobahnauffahrt im Norden und dem Verzweigungsbereich Ausfahrt Muttenz

The Hagnau Tunnel is located upstream of the Schänzli Tunnel. When the maintenance concept was drawn up, it had already been decided to demolish the tunnel and build a new one. The junction area between the two tunnels includes the Muttenz north exit. In this area, a new tunnel operations centre was built to house the necessary technical infrastructure for the Schänzli and Hagnau tunnels. The tunnel is accessed above ground from Birsfelderstrasse.

The entire project was carried out between 2017 and 2022. The costs have amounted to around 240 million Swiss francs.

1.2 Overall project goals

The following objectives were pursued with the overall renovation of the motorway section from the Hagnau junction to the Muttenz south junction. An operating time of at least 15 to 20 years had to be ensured, with as little intervention as possible. The elimination of accident hotspots and thus the improvement of traffic safety was one of the main objectives and was achieved by optimising lane arrangements and, where possible, lane add-ons. In doing so, the current standards and guidelines needed to be complied with as far as possible. When implementing maintenance projects and construction in the vicinity of existing structures, there are many restrictive boundary conditions that also had to be taken into account and harmonised according to various specifications.

2 Hagnau Tunnel sub-project

2.1 Situation and overview

The centrepiece of the maintenance project is the Hagnau Tunnel. It is located between the motorway access road in the north and the Muttenz north exit and Schänzli Tunnel junction area in the south. The sub-project section is around 100 m long, with 60 m making up the Hagnau Tunnel and 40 m making up the junction area. The Hagnau Tunnel is lo-

Nord und Tunnel Schänzli im Süden. Der Teilprojektabschnitt ist rund 100 m lang, mit 60 m Länge Tunnel Hagnau und 40 m Verzweigungsbereich. Der Tunnel Hagnau befindet sich komplett im Bahndamm der SBB. Sieben Gleise verlaufen quer über den Tunnel, darunter auch die Gleise der Hauptverkehrsachse Olten–Basel.

Umsetzungshorizont für das Teilprojekt Tunnel Hagnau war der Zeitraum zwischen 2017 und 2020. Die Kosten für den Abbruch und Neubau des Tunnels sowie den Neubau der Betriebszentrale haben rund 60 Millionen Schweizer Franken betragen.

2.2 Bestand Tunnel und Geologie Bahndamm

Bereits seit Mitte des 19. Jahrhunderts verläuft eine Bahnlinie auf einem geschütteten Damm in der Hagnau und wurde seit jeher von einer Strasse durchquert. Mit dem Bau des Rangierbahnhofs Muttenz in den 1920er-Jahren sollte der Bahndamm erweitert werden. In diesem Zusammenhang wurde der Tunnel Hagnau im Tagbau mit einer lichten Breite von 8 m und einer Länge von rund 60 m erstellt.

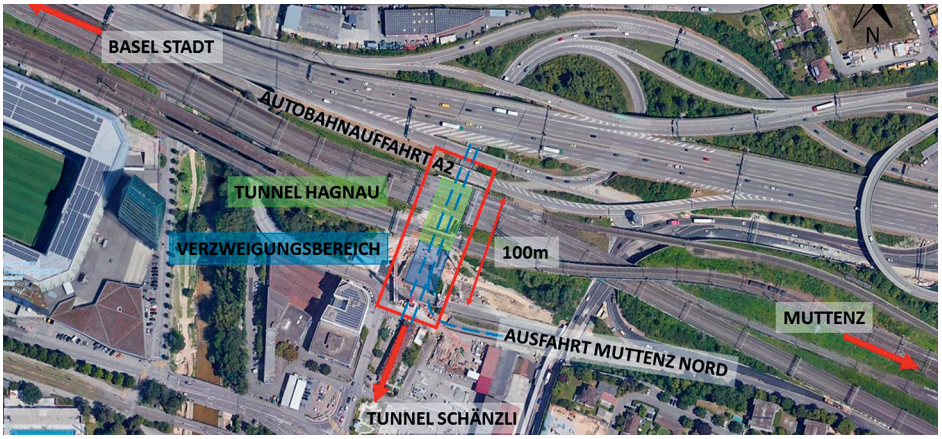
In den 1970er-Jahren wurde der Tunnel Hagnau Bestandteil der damals neuen Nationalstrasse. Das Trassee musste an die neue Linienführung angepasst und schätzungsweise rund 4 m tiefer gelegt werden, sodass der Bestand unterfangen wurde. Mit der vorhandenen Breite von 8 m konnte der Verkehr im Tunnel zweispurig geführt werden, für einen Standstreifen war kein Platz vorhanden. Zeitgleich mit der Unterfangung des Tunnel Hagnau wurde im Süden der neue Tunnel Schänzli mit einer lichten Breite von 10 m gebaut.

Mit der Tieferlegung der Fahrbahnebene wurden im Verzweigungsbereich massive Stützkonstruktionen erforderlich. Im Bereich des anstehenden Bahndamms wurde ein vorgespanntes Rahmentragwerk als Verlängerung des Tunnel Hagnau realisiert. Die Stützkonstruktionen wurden in einer offenen Baugrube erstellt, wozu der Bahndamm mit einer rückverankerten Elementwand gesichert wurde.

Der Bereich zwischen Rahmentragwerk und Tunnel Schänzli war aus lärm- und lichttechnischen Gründen mit einem Blech abgedeckt.

Um Platz für weitere Bahnverkehrsträger zu schaffen, wurden Dammschüttungen ergänzt. Aufgrund dieser abschnittsweisen und zeitversetzen Erstellung besteht der Bahndamm geologisch gesehen aus verschiedenen Aufcated entirely within the SBB railway embankment. Seven tracks run across the tunnel, including the main Olten-Basel railway axis tracks.

The implementation timeframe for the Hagnau Tunnel sub-project was between 2017 and 2020. The costs for demolishing and rebuilding the tunnel and the new operations centre amounted to around 60 million Swiss francs.



Quelle/credit: www.maps.google.com

1 *Übersicht Teilprojekt Tunnel Hagnau*
Overview of the Hagnau Tunnel sub-project

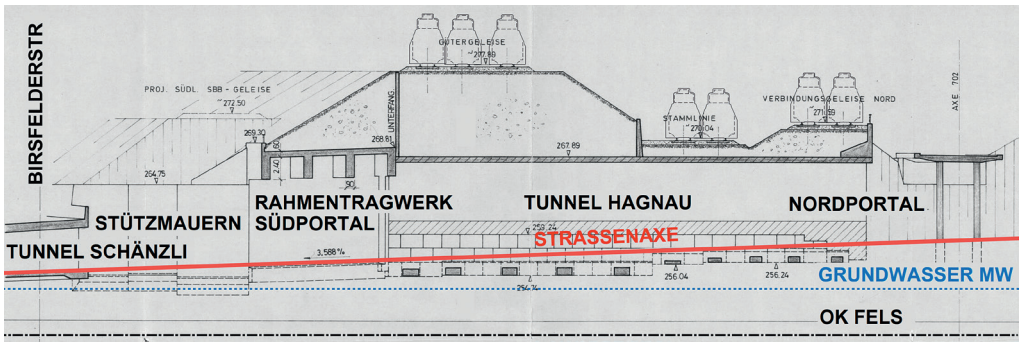
2.2 Existing tunnel and geology of the railway embankment

Since the middle of the 19th century, there has been a railway line running along a filled embankment in the Hagnau region, which has always been crossed by a road. With the construction of the Muttenz marshalling yard in the 1920s, the railway embankment needed to be extended. In this context, the Hagnau Tunnel was constructed using open-cut construction with a width of 8 m and a length of about 60 m.

In the 1970s, the Hagnau Tunnel became part of the then new national motorway. The route had to be adapted to the new alignment and lowered by an estimated 4 m, so that the existing road was supported. With the existing width of 8 m, the traffic in the tunnel was able to use two lanes; there was no space for a hard shoulder. At the same time as the Hagnau Tunnel was supported, the new Schänzli Tunnel, with a width of 10 m, was built to the south.

By lowering the level of the road, massive support structures were required in the junction area. In the area of the existing railway embankment, a prestressed frame structure was realised as an extension of the Hagnau Tunnel. The support structures were built in an open building pit, for which the railway embankment was secured with a back-anchored element wall.

The area between the frame structure and the Schänzli Tunnel was covered with a sheet of metal for noise reduction and lighting purposes.



Quelle/credit: PAW Projekt Unterfangung Tunnel Hagnau Bundesamt für Strassen ASTRA

2 Projekt Unterfangung Tunnel Hagnau und Neubau Rahmentragwerk und Tunnel Schänzli
Project to underpin the Hagnau Tunnel and construct a new frame structure for the Schänzli Tunnel

schüttungsmaterialien. Alte Baugrubenabschlüsse und Rückstände von Bauhilfsmassnahmen sind ebenalls Bestandteil des Damms. Unterhalb der künstlichen Dammschüttung befindet sich Birsschotter, welcher einen Grundwasserträger mit einer mittleren Mächtigkeit von etwa 5 m und jahreszeitlichen Schwankungen von 1 m aufweist. Die Tunnelsohle liegt nicht im direkten Einflussbereich des Grundwassers. Unter dem Birsschotter befindet sich tertiärer Cyrenenmergel. Er weist eine quasi horizontale Oberfläche unter dem Tunnelbauwerk auf.

2.3 Randbedingungen

Aus den beschriebenen bestehenden Umständen ergaben sich diverse Randbedingungen, welche beim Bauen im Bestand zu berücksichtigen waren. An oberster Stelle stand der sichere und reibungslose Betrieb der Nationalstrasse sowie der angrenzenden Verkehrsträger.

Wie einleitend beschrieben, wurde im Rahmen des Erhaltungskonzeptes entschieden, dass der bestehende Tunnel Hagnau abgebrochen und neu erstellt werden sollte. Ausschlaggebend dafür waren einerseits die erreichte Lebensdauer und der Zustand des Tunnels, aber auch die vorhandenen Dimensionen. Aufgrund des Erweiterungsbaus aus den 1970er-Jahren war das Verhältnis von Höhe zu Breite einengend und die Lichtverhältnisse im Tunnel schlecht, was beides negative Auswirkungen auf den Fahrkomfort und die Sicherheit hatte. Hinzu kam die nicht optimale Spuranordnung. Da die Ausfahrt Muttenz Nord eine Linksabbieger-Ausfahrt ist und ohne Verzögerungsstreifen ausgeführt war, ergab sich im Verzweigungsbereich mit dem Tunnel Schänzli ein Unfallschwerpunkt, den es zu beseitigen galt. Eine Umlegung der Ausfahrt auf die rechte Fahrbahnseite war aufgrund der örtlichen Gegebenheiten keine Option.

Geometrische Zwangspunkte sind weitere Randbedingungen beim Bauen im Bestand. Im Falle des Tunnel Hagnau sind dies im Norden die Kunstbauten der Verzweigung Hagnau. Die Autobahnauffahrt von der Gellertstrasse her führt über eine Brücke, deren Stützen unmittelbar vor dem Tunnelportal fundiert sind. Die Anordnung der Stützen gibt die maximal mögliche Breite der Fahrbahn vor, eine Spuraddition war hier nicht möglich.

In order to create space for further railway traffic, embankment backfills were added. Due to section-based and time-delayed construction, the railway embankment consists geologically of different backfill materials. Old excavation pit closures and residues from construction support measures also form part of the embankment. Birch gravel is located underneath the artificial embankment backfill, which has a groundwater carrier with an average thickness of about 5 m and seasonal fluctuations of 1 m. The tunnel floor is not in the groundwater's direct sphere of influence. Tertiary cyrene marl lies beneath the birch gravel. This layer has a quasi-horizontal surface under the tunnel structure.

2.3 Boundary conditions

The circumstances described above gave rise to various constraints that had to be taken into account when constructing the existing structure. The top priority was the safe and smooth operation of the national motorway and the adjacent modes of transport.

As described in the introduction, experts decided that the existing Hagnau Tunnel should be demolished and rebuilt as part of the maintenance concept. The decisive factors for this project were, on the one hand, the service life achieved and the condition of the tunnel, as well as the existing dimensions. Due to the extension built in the 1970s, the height-to-width ratio was constricting and the lighting conditions in the tunnel were poor, both of which had negative effects on excavation comfort and safety. In addition, the lane arrangement was not optimal. Since the Muttenz north exit is a left-turn exit and was designed without a deceleration lane, there was an accident hotspot in the junction area with the Schänzli Tunnel, which had to be eliminated. Relocating the exit to the right-hand side of the motorway was not an option due to the site conditions.

Geometric constraints constitute further boundary conditions when building in the vicinity of existing structures. In the case of the Hagnau Tunnel, these include the engineering structures of the Hagnau junction to the north. The motorway access from Gellertstrasse leads over a bridge whose supports are founded directly in front of the tunnel portal. The arrangement of the supports determines the maximum possible width of the carriageway; a lane addition was not possible here.

To the south of the Hagnau Tunnel, the Muttenz north exit and the Schänzli Tunnel junction area border the construction project.

Im Süden des Tunnel Hagnau grenzt der Verzweigungsbereich Ausfahrt Muttenz Nord und der Tunnel Schänzli das Bauvorhaben ein.

Das Bauen im Bestand des unter Betrieb stehenden Bahndamms gab weitere Randbedingungen vor. Die Höhe des Tunnels ist aufgrund der bestehenden Gleise beschränkt, was für die Machbarkeit und Ausführung des neuen Tunnels zu berücksichtigen war. Der Bahnverkehr musste während der gesamten Bauzeit aufrechterhalten werden. Zugumleitungen auf der Hauptverkehrsachse der SBB zwischen Olten und Basel waren in diesem Nadelöhr nicht denkbar. Deshalb mussten alle Gleise über provisorische Hilfskonstruktionen über die Baugrube geführt werden. Um die Kosten im Rahmen zu halten, wurden wo möglich Standardhilfsbrücken der SBB eingesetzt, welche mit ihren Spannweiten wiederum die Breite des Baugrubenabschlusses vorgaben und somit auch die mögliche Tunnelbreite beeinflussten. Sechs Brücken konnten bei der SBB gemietet werden. Für deren Einbau musste im Bereich der Baugrube eine Weiche verschoben und somit die Gleisgeometrie angepasst werden.

Eine weitere Weiche im Bereich der höchstgelegenen Bahnlinie konnte nicht verschoben werden. Dies war ein Knackpunkt des Projektes, da die Gleisgeometrie nicht angepasst werden konnte. Als Lösung wurde eine speziell für das Projekt entwickelte, 25 m lange temporäre Stahlbrücke erstellt. Dabei wurden, als schweizweites Novum, die Schwellen der Weiche direkt auf die Querträger abgestellt und befestigt.

2.4 Aufweitung Tunnel Hagnau

Unter dem Aspekt einer erhöhten Verkehrssicherheit und zur Beseitigung des Unfallschwerpunktes im Verzweigungsbereich wurde eine Aufweitung des Tunnelprofils von zwei auf drei Spuren geplant. Durch die Spuraddition erhalten die Linksabbieger in die Ausfahrt Muttenz Nord einen separaten Fahrstreifen. Die Normal- sowie die Überholspur führen geradeaus in den bestehenden Tunnel Schänzli. Nebenstehende Abbildung zeigt die Situation vor und nach dem Neubau.

Der neue Tunnel Hagnau wurde an gleicher Lage wie der Bestand und mit gleicher Länge von rund 60 m in offener Bauweise erstellt. Für die Projektierung des Tagbautunnels mussten die aktuell gültigen Grundlagen für die Erstellung eines Neubaus gemäss ASTRA-Fachhandbuch eingehalten werden. Geplant wurde ein Tunnelgewölbe mit einem Radius von 7.5 m und einer horizontalen Bodenplatte von 70 cm Stärke. Das Gewölbe weist einen Betonquerschnitt von 60 cm auf, welcher im Fussbereich auf 80 cm verbreitert wird.

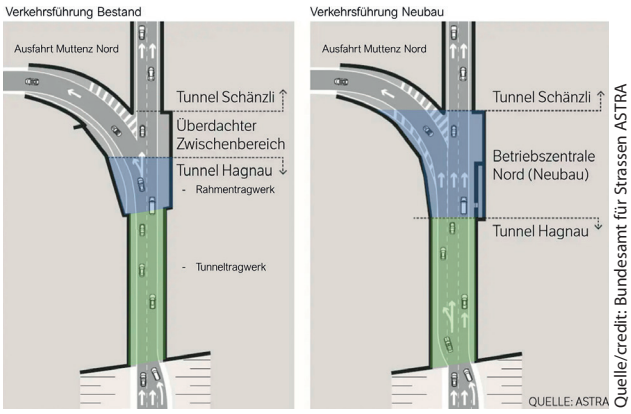
Zur Abdichtung des Tunnels wurde eine klassische Regenschirmabdichtung, bestehend aus voll verklebten PBD-Bahnen und 10 cm Schutzmörtel, aufgebracht. Längsseitig des Tunnels wurden auf beiden Seiten Drainageleitungen installiert, für deren Unterhalt beidseitig des Tunnels je eine Drainagenische erstellt worden ist.

Building in the existing railway embankment, which was in operation, provided further constraints. The height of the tunnel is limited due to the existing tracks, which had to be taken into account for the feasibility and design of the new tunnel. Rail traffic had to be maintained during the entire construction period. Train detours on the SBB's main railway axis between Olten and Basel were inconceivable in this bottleneck area. Therefore, all tracks had to be guided over the building pit via temporary auxiliary structures. In order to keep the costs within limits, standard auxiliary bridges from the SBB were used where possible, which, in turn, determined the width of the excavation pit with their own widths and thus also influenced the possible tunnel width. Six bridges were rented from the SBB. In order to install them, a switch had to be moved in the area of the building pit and the track geometry had to be adapted.

Another switch in the highest railway line area could not be moved. This was a crucial point of the project, as the track geometry was not adaptable. As a solution, a 25 m long temporary steel bridge was built especially for the project. As a Swiss-wide novelty, the turnout sleepers were placed and fixed directly on the cross girders.

2.4 Widening the Hagnau Tunnel

Under the aspect of increased traffic safety and to eliminate the accident hotspot in the junction area, the tunnel profile was planned to be widened from two to three lanes. The lane addition gives left-turners into the Muttenz north exit a separate lane. The normal lane and the passing lane lead straight ahead into the existing Schänzli Tunnel. The following figure shows the situation before and after constructing the new tunnel.



Quelle/credit: Bundesamt für Strassen ASTRA

***3** Verkehrsführung vor und nach Aufweitung*
Traffic routing before and after widening

The new Hagnau Tunnel was built in the same location as the existing tunnel and with the same length of around 60 m, using a cut-and-cover method. For the cut-and-cover tunnel project, the currently valid principles for the construction of a new tunnel according to the FEDRO technical manual had to be adhered to. A tunnel vault with a radius of 7.5 m and a horizontal floor slab 70 cm thick was planned. The vault has a concrete cross-section of 60 cm, which was widened to 80 cm in the base area.

Innenseitig wurde der Tunnel gemäss ASTRA-Fachhandbuch standardmässig hydrophobiert und bis auf eine Höhe von 4 m deckbeschichtet.

Das Trassee weist eine konstante Längs- und Querneigung von 3 % auf, sodass anfallendes Schmutzwasser abfliessen kann. Entwässert wird längs in Richtung Tunnel Schänzli und von dort aus in ein gemeinsames Stapelbecken. Eine zusätzliche Löschwasserleitung wurde ebenfalls in den Tunneln Schänzli und Hagnau gemeinsam verlegt.

Die Bankette sind mit Kabelrohrblöcken mit standardmässig je acht Stück 120 mm Kabelschutzrohren ausgerüstet, dazu kommt einseitig ein 150 mm Kabelschutzrohr. Verbunden sind die beiden Seiten mit zwei Querschlägen. Beleuchtet ist der neue Tunnel Hagnau mit Einzelleuchten entlang der Firste. Durch den aufgeweiteten Querschnitt konnten die Lichtverhältnisse im Tunnel massiv verbessert werden, was sich ebenfalls positiv auf die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer auswirkt.

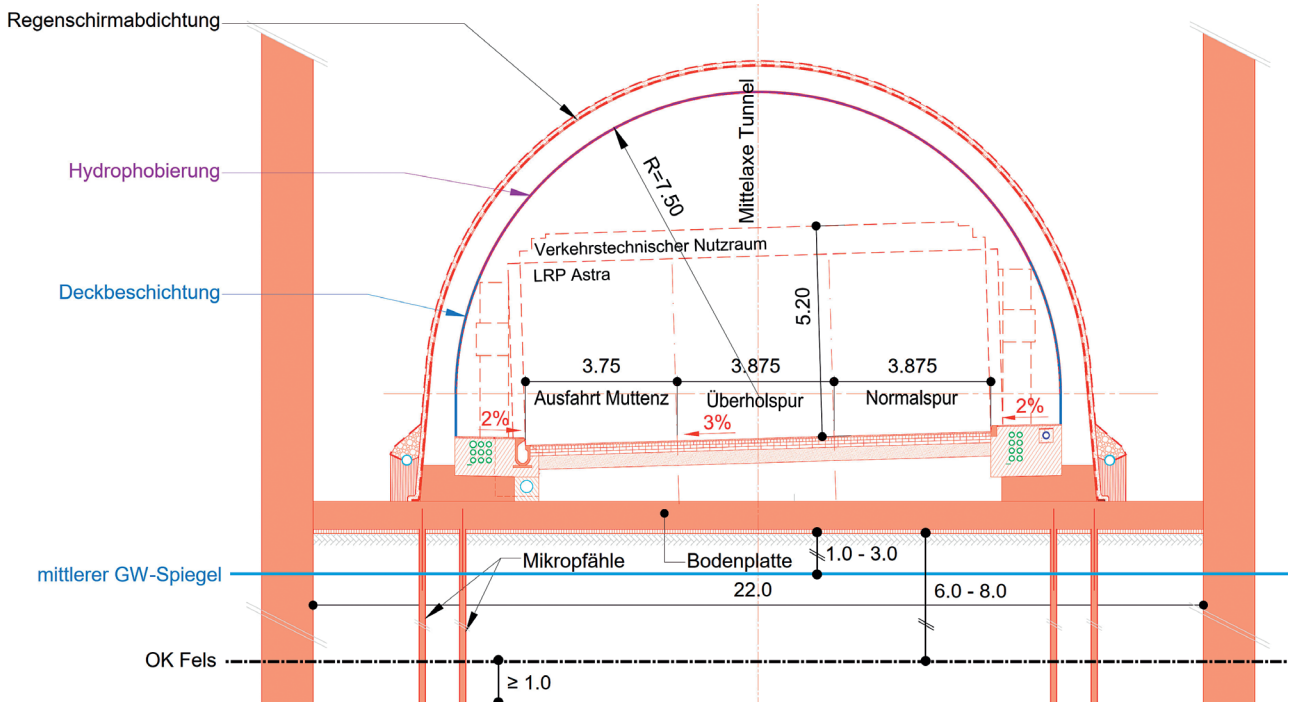
Als Abschluss wurde die Portalwand im Norden wieder als Stützmauerelement hergestellt und an den Bestand angeschlossen. Im Verzweigungsbereich auf der Südseite schliesst der neue Tagbautunnel direkt an die neue Betriebszentrale an.

To seal the tunnel, a classic umbrella seal consisting of fully bonded PBD membranes and 10 cm of protective mortar was applied. Drainage pipes were installed on both sides of the tunnel, and a drainage niche was created on both sides of the tunnel for maintenance.

On the inside, the tunnel was waterproofed as a standard in accordance with the FEDRO technical manual and top-coated up to a height of 4 metres.

The route has a constant longitudinal and transverse slope of 3%, allowing waste water to drain off. Drainage takes place longitudinally in the direction of the Schänzli Tunnel and, from there, into a common storage basin. An additional fire-fighting water pipe was also laid jointly in the Schänzli Tunnel and the Hagnau Tunnel.

The shoulders are equipped with cable conduit blocks with eight 120 mm cable conduits each as a standard, plus a 150 mm cable conduit on one side. The two sides are connected with two cross-passages. The new Hagnau Tunnel is lit with individual lights along the roof ridges. Due to the widened cross-section, the lighting conditions in the tunnel were massively improved, which also has a positive effect on road user safety.



4 Normalprofil Tunnel Hagnau
Normal profile of the Hagnau Tunnel

2.5 Herausforderungen

Neben den beschriebenen Randbedingungen als Grundlage für die Projektierung und das Bauen im Bestand waren folgende Herausforderungen einschlägig für den weiteren Projektverlauf und die anschliessende Umsetzung der Baumassnahmen.

To finish, the portal wall in the north was rebuilt as a retaining wall element and connected to the existing structure. In the junction area on the south side, the new cut-and-cover tunnel connects directly to the new operations centre.

Aufgrund der innerstädtischen Lage mussten die Themen Arbeitszeiten, Lärm- und Erschütterungsemissionen sensibel behandelt werden. Trotz der bevorzugen Tagarbeitszeit mussten einige Arbeiten im Gleisbereich wie auch auf der Nationalstrasse in Nacht- und Wochenendeinsätzen ausgeführt werden. Für die engen Sperr-Zeitfenster wurde absolute Termineinhaltung vorausgesetzt, da ansonsten der Einfluss, gerade auf den Bahnverkehr im Zusammenhang mit der Hauptverkehrsachse Olten–Basel, immens gewesen wäre.

Grundsätzlich wurde ein Bauen unter Betrieb der Nationalstrasse und der Bahn gefordert. Bei einem Verkehrsaufkommen von rund 62 000 Fahrzeugen täglich war eine Reduktion der Fahrstreifen nicht möglich. Um die Kapazität gewährleisten zu können, wurde eine separate Umleitspur ausserhalb des Baustellenperimeters erstellt. Somit konnte die Nationalstrasse im Baustellenbereich auf einen Fahrstreifen reduziert werden und die Zufahrt zum anschliessenden Tunnel Schänzli war gewährleistet. Auch die Ausfahrt Muttenz Nord musste bis auf wenige Bauphasen weitestgehend offen gehalten werden.

Gearbeitet wurde unter sehr beengten Platzverhältnissen in der Baugrube neben dem bestehenden und neu erstellten Tagbautunnel. Die Baugrubensicherung mit Spriessen verlief unmittelbar über dem Tunnelfirst. Die Platzverhältnisse haben Auswirkungen auf die Wahl der Geräte und die Bauvorgänge. Quer über den Bahndamm verläuft eine Hochspannungsfreileitung, was bei der Erstellung des Baugrubenabschlusses aus dem Bahndamm heraus berücksichtigt werden musste.

Die Lage des Tagbautunnels im Bahndamm brachte weitere Herausforderungen mit sich. Aufgrund der grossen Sensibilität der Gleisanlage waren setzungs- und verformungsarme Bauhilfsmassnahmen unumgänglich. Eine gewisse Robustheit der Bauwerke und Sicherheit bezüglich deren Verhalten im Bahndamm war gefordert. Da der Baugrubenabschluss gleichzeitig das Auflager für die Hilfsbrücken der SBB war, wurden hohe Anforderungen an die Ausführungsgenauigkeit gestellt.

2.6 Konzept & Strategie

Aus den beschriebenen Herausforderungen wurden Anforderungen formuliert und daraus Konzepte und Strategien zur optimalen Abwicklung des Projektes entwickelt. Dabei waren Projektanforderungen bezüglich minimaler Sperrungen für Strasse und Bahn, unter gleichzeitiger Gewährleistung der Sicherheit sämtlicher Beteiligter und Nutzer, massgebend für die gewählten Konzepte.

Unter anderem wurden folgende Strategien verfolgt, um das Projekt optimal abwickeln zu können:

- Vereinbarung mit der SBB von wenigen Wochenendsperrungen pro Bahnlinie für die Erstellung des Baugrubenabschlus-

2.5 Challenges

In addition to the boundary conditions described above, the following challenges were relevant for the further course of the project and the subsequent implementation of the construction measures.

Due to the inner-city location, the issues of working hours, noise and vibration emissions had to be handled sensitively. Despite the preferred daytime working hours, some work in the track area as well as on the national motorway had to be carried out at night and on weekends. For the narrow time windows, absolute adherence to deadlines was required, as, otherwise, the impact would have been immense, especially on the railway traffic in connection with the main Olten-Basel railway axis.

In principle, construction was required to be carried out while the national motorway and the railway were in operation. With a traffic volume of around 62,000 vehicles per day, a reduction in the number of lanes was not possible. In order to guarantee capacity, a separate diversion lane was created outside the construction site perimeter. This meant that the national motorway could be reduced to one lane in the construction site area and access to the adjacent Schänzli Tunnel was guaranteed. The Muttenz north exit also had to be kept open as far as possible, except during a few construction phases.

Work was carried out under very cramped conditions in the building pit next to the existing and newly constructed cut-and-cover tunnel. The excavation support with struts ran directly above the roof ridge of the tunnel. The space conditions had an impact on the choice of equipment and the construction procedures. A high-voltage overhead line runs across the railway embankment, which had to be taken into account when constructing the excavation closure from the railway embankment.

The location of the cut-and-cover tunnel along the railway embankment posed further challenges. Due to the track system's high sensitivity, low-settlement and low-deformation construction support measures were unavoidable. A certain robustness to the structures and safety with regard to their behaviour in the railway embankment was required. Since the building pit closure was also the support for the SBB's auxiliary bridges, high demands were placed on the accuracy of construction.

2.6 Concept & strategy

Based on the challenges described above, requirements were formulated and concepts and strategies for the optimal handling of the project were developed. Project requirements regarding minimum road and rail closures, while guaranteeing the safety of all participants and users, were decisive for the chosen concepts.

The following strategies, among others, were pursued in order to be able to handle the project in the best possible way:

ses (Grossbohrpfähle) sowie den Ein-/Ausbau der Hilfsbrücken. Die Sperrungen waren mit 48 bis 56 Stunden veranschlagt worden. Ziel war die Optimierung der Beeinträchtigung des Bahnverkehrs auf ein Minimum und der Verzicht auf eine Vielzahl von Standard-Nachtsperrungen (ca. 6 bis 8 Stunden) bei alternativen Bauweisen (Rühlwände).

- Optimierung von Steifigkeit und Robustheit der Baugrube durch den Einsatz von Grossbohrpfählen mit dem Ziel, Bewegungen und Setzungen im Bahndamm entgegenzuwirken und somit die Unterhaltsarbeiten seitens SBB zu minimieren. Im Vorprojekt waren, aufgrund der Vorgabe der üblichen Standard-Nachtsperrungen der Gleise von circa 6 bis 8 Stunden, Rühlwände vorgesehen gewesen.
- Die Detailplanung von Wochenendsperrungen, Baulogistik und Bauhilfsmassnahmen wurde bereits in einer frühen Projektphase durchgeführt. Somit konnten Gleissperrungen rechtzeitig reserviert und ein sicherer und effizienter Ablauf gewährleistet werden.
- Festlegung von Bonus-/Malus-Anreizen für den Unternehmer bezüglich Einschränkungen der Nationalstrasse, sodass die Bauzeit auch in der Ausführung weiter optimiert werden konnte.
- In der Projektierung wurden detaillierte 3D-Modelle erstellt. Im Rahmen der BIM-Methode wurden Kollisionsprüfungen und Koordination anhand des Modells durchgeführt. So konnten beispielsweise sich überschneidende Ankerlagen von diversen Baugrubensicherungen kontrolliert, die Anordnung der Anker optimiert und Konflikte vermieden werden.

3 Bauvorhaben

3.1 Installationsplatz, Baustellenzugang und Logistik

Entlang der Birsfelderstrasse im Süden des Bahndamms konnte ein Installations- und logistischer Umschlagplatz für Lastwagentransporte erstellt werden. Eine im Endzustand circa 7 m hohe Rampe, gesichert mit rückverankerter Rühl- und Elementwand, gewährleistete den Zugang zum Bahndamm. Im Bereich über dem bestehenden Südportal des Tunnels konnte die bestehende Elementwand aus den 1970er-Jahren reaktiviert werden, wobei die Anker für die Baugrubensicherung neu erstellt wurden.

Beim Nordportal war auf dem Niveau der Nationalstrasse kein Zugang zur Baustelle möglich. Für die Erstellung der Baugrube konnte die Autobahnauffahrt kurzzeitig als logistischer Umschlagplatz genutzt werden. Möglichkeiten der Logistik via Bahn wurden nur für den Transport der Bohr- und Aushubgeräte für die Arbeiten im Gleisbereich sowie für die SBB-Hilfsbrücken genutzt.

3.2 Baugrubenabschluss

Lösungen im Spezialtiefbau

Geplant war eine offene Baugrube zur Freilegung des bestehenden Tunnel Hagnau und dessen Neubau. Da die Lage der Baugrubensohle oberhalb des Grundwasserspiegels liegt,

- An agreement was made with the SBB to allow a few weekend closures per railway line for the construction of the building pit (large bored piles) and the installation and removal of the auxiliary bridges. The closures were estimated at 48 to 56 hours. The aim was to optimise the disruption to rail traffic to a minimum and to dispense with a large number of standard night closures (approx. 6 to 8 hours) for alternative construction methods (retaining walls).
- Optimising the rigidity and robustness of the building pit through the use of large bored piles with the aim of counteracting movements and settlements in the railway embankment and thus minimising maintenance work on the part of SBB. In the preliminary project, the standard 6 to 8 hour night closures of the tracks meant that the retaining walls had to be built.
- The detailed planning of weekend closures, construction logistics and construction support measures was carried out in an early project phase. This meant that track closures could be reserved in good time and a safe and efficient process could be guaranteed.
- Bonus/malus incentives were defined for the contractor with regard to restrictions on the national motorway, so that the construction time could also be further optimised during implementation.
- Detailed 3D models were created during project planning. Within the framework of the BIM method, collision and coordination checks were carried out on the basis of the model. This made it possible, for example, to check overlapping bolt positions of various excavation supports and to optimise the arrangement of the bolts, thereby avoiding conflicts.

3 Building project

3.1 Installation site, site access and logistics

Along the Birsfelderstrasse to the south of the railway embankment, an installation and logistical transfer point for truck transports was created. A ramp, approx. 7 m high in its final state, secured with an anchored back-up wall and element wall, ensured access to the railway embankment. In the area above the existing south portal of the tunnel, the existing element wall from the 1970s was reactivated and the bolts securing the building pit were newly constructed.

Access to the construction site was impossible at the north portal at the level of the national motorway. In order to construct the building pit, the motorway access ramp was briefly used as a logistical transfer point. Logistics options via rail were only used for transporting the drilling and excavation equipment for work in the track area and for the SBB auxiliary bridges.

3.2 Building pit closure

Solutions in special construction engineering

An open building pit was planned to uncover the existing Hagnau Tunnel and its new structure. Since the bottom of the excavation pit is above the groundwater level, a tight

Quelle/credit: AFRY Schweiz AG, Drohnenfoto von Bernhard Ramsauer

5 *Installationsplatz Birsfelderstrasse und Ausfahrt Muttenz Nord*
Installation site at Birsfelderstrasse and underground exit Muttenz north

war kein dichter Baugrubenabschluss erforderlich. Aufgrund diverser Kriterien, wie der geforderten Robustheit der Baugrube, den minimalen Setzungsanforderungen sowie den minimalen Interventionen mit dem Bahnverkehr, wurde eine aufgelöste Bohrpfahlwand projektiert. Diese wurde mit Grossbohrpfählen mit einem Durchmesser von 1.3 m erstellt. Die rund 22 bis 30 m langen Pfähle konnten unterhalb der Baugrubensohle in den angrenzenden Felsen eingebunden werden. Erstellt wurden die Grossbohrpfähle in langen Wochenendsperrungen aus dem Gleisbereich heraus, wobei maximal zwei Gleise gleichzeitig ausser Betrieb genommen werden durften.

Zur Aussteifung der Pfähle und als Auflager für die SBB-Hilfsbrücken wurden die Pfähle mit massiven 80 cm hohen Kopfbalken verbunden. Zwischen den Kopfbalken und somit unmittelbar unter den Hilfsbrücken wurde die erste Spriesslage eingebracht, ausgeführt mit 60 cm hohen Doppel-H-Trägern.

Anschliessend wurde die Baugrube in Kleinstetappen ausgehoben und der Aushub via Installationsplatz Birsfelderstrasse abtransportiert. Der bestehende Tunnel füllte fast die gesamte Baugrube aus. Geplant waren mehrere Aussteifungsebenen. Dank einer innovativen Unternehmervariante mit Multibondankern (Mehrstufenanker) konnte auf zwei Spriesslagen verzichtet und somit die Platzverhältnisse in der Baugrube optimiert werden.

Wie bei den Herausforderungen beschrieben, musste mindestens ein Fahrstreifen im Baustellenbereich in Betrieb bleiben. Die Lage variierte je nach Bauphase und wurde zuerst mittig durch den bestehenden Tunnel geführt. Um die Nationalstrasse während des Aushubs vor Abplatzungen aus dem Bestand zu schützen, wurde eine Schutzdecke aus Holz unter Einhaltung des Lichtraumprofils im bestehenden Tunnel erstellt. Die Tunnelwände wurden aus Sicherheitsgründen mit Spriessen gegeneinander abgestützt.

building pit closure was not required. Due to various criteria, such as the required robustness of the building pit, the minimum settlement requirements and the minimum intervention with the railway traffic, a detached bored pile wall was planned. This was constructed with large bored piles of 1.3 m in diameter. The piles, which were around 22 to 30 m long, were embedded in the adjacent rock below the bottom of the building pit. The large bored piles were installed during long weekend closures from the track area, whereby a maximum of two tracks could be taken out of service at the same time.

To brace the piles, and as supports for the SBB auxiliary bridges, the piles were connected with solid 80 cm high head beams. Between the head beams and thus directly underneath the auxiliary bridges, the first layer of gravel was set, executed with 60 cm high double H-beams.

Quelle/credit: AFRY Schweiz AG, Drohnenfoto von Bernhard Ramsauer

6 *Erstellung Grossbohrpfähle im Bahndamm der SBB*
Construction of large bored piles in the SBB railway embankment

The building pit was then excavated in small stages and the excavated material was transported away via the Birsfelderstrasse installation site. The existing tunnel almost filled the entire building pit. Several reinforcement levels were planned. Thanks to an innovative construction option brought to light by the contractor with multibond anchors (multi-stage anchors), it was possible to dispense with two reinforcement layers and thus optimise the space conditions in the building pit.

As described in the challenges presented, at least one lane had to remain in operation in the construction site area. The location varied depending on the construction phase and was first routed centrally through the existing tunnel. In order to protect the national motorway from chipping during excavation, a protective cover made of wood was constructed while maintaining the clearance profile in the existing tunnel. The tunnel walls were supported against each other with struts for safety reasons.

Quelle/credit: AFRY Schweiz AG

7 *Baugrubensicherung: Spriesslage über Tunnelfirst und vorgespannte Anker*
Building pit stabilisation: struts over tunnel ridge and prestressed rock bolts

3.3 Abbruch Tunnel Hagnau

Geplant war der Abbruch des Tunnels mit Schneiden in Kleinstetappen. Auch hier konnte in enger Zusammenarbeit mit dem Unternehmer optimiert werden. Der Gewölbeteil des Tunnels und das vorgespannte Rahmentragwerk im Verzweigungsbereich konnten in zwei durchgehenden Wochenend- und zusätzlichen Nachtsperrungen der Nationalstrasse mit dem grössten Rückbaubagger Europas (A-Rex) abgebrochen werden. Bild 8 zeigt den Zwischenzustand nach Abbruch des Rahmentragwerks und des Tunnelfirstes zwischen den beiden Abbruchwochenenden.

Im Anschluss wurde der Fahrstreifen auf die ehemals rechte Spur im Tunnel verlegt. Der Baustellenabschnitt wurde mit Fahrzeugrückhaltesystemen und darauf installierten Bauwänden gesichert. Dann wurde die östliche Tunnelwand unter Verkehr abgebrochen. Für den Abbruch der westlichen Tunnelwand wurde analog vorgegangen. Das Verkehrsregime wurde für die Vorarbeiten und die abschnittsweise Erstellung der Bodenplatte beibehalten.

3.4 Neubau Tunnel Hagnau

Zur Krafteinleitung und um Setzungen des Tunnels und der darüber liegenden Bahnanlage zu vermeiden, wurden im Bereich unter dem Gewölbefuss Mikropfähle mit einer Felseinbindung von mindestens 1 m erstellt. Die Bodenplatte des Tunnels wurde abschnittsweise erstellt. Mit der kraftschlüssigen Schliessung über die gesamte Baugrubenbreite hat sie auch die Funktion der letzten Aussteifungsebene übernommen.

Der neue Tagbautunnel wurde konventionell geschalt und in sechs Abschnitten von je 10 m erstellt. Weiterhin musste der Individualverkehr aufrechterhalten werden. Die Fahrspur wurde mittig durch den Schalwagen geführt und wiederum mit einer Holzkonstruktion geschützt. Nach dem Ausschalen und Rückbau des Schalwagens wurde die Fahrspur im Tunnel wieder jeweils auf eine Seite verlegt. So konnten die Bankette im Tunnel erstellt und die BSA installiert werden.

3.3 Hagnau Tunnel breakthrough

The tunnel was planned to be demolished by cutting in very small stages. It was possible to optimise this process in close cooperation with the contractor. The vault part of the tunnel and the prestressed frame structure in the junction area were demolished in two continuous weekend and additional overnight closures of the national motorway, using the largest demolition excavator in Europe (A-Rex). Fig. 8 shows the intermediate state after demolishing the frame structure and the tunnel ridge between the two demolition weekends.

The lane was then moved to the former right-hand lane in the tunnel. The construction site section was secured with vehicle restraint systems and construction walls installed on top. Then, the eastern tunnel wall was demolished beneath traffic. The same procedure was applied for demolishing the western tunnel wall. Traffic flow was maintained for the preliminary work and in sections for constructing the base slab.

Quelle/credit: AFRY Schweiz AG

8 *Zustand Abbruch Rahmentragwerk und Tunnelfirst zwischen Abbruchwochenenden*
Condition during demolition of frame structure and tunnel ridge between demolition weekends

3.4 Constructing the Hagnau Tunnel

To transfer forces and to avoid settlement of the tunnel and the railway system above it, micropiles with a rock embedment of at least 1 m were constructed in the area below the base of the arch. The base slab of the tunnel was constructed in sections. With the force-locking connections across the entire width of excavation, it also assumed the function of the final bracing level.

Auf der Südseite schliesst der Tunnel direkt an die neue Betriebszentrale an. Im Norden wurde die Portalwand als Stützmauer für den Bahndamm wieder aufgebaut.

Quelle/credit: AFRY Schweiz AG

9 *Schalwagen neuer Tagbautunnel*
Mobile formwork for new cut-and-cover tunnel

Zur Wiederherstellung des Bahndamms wurde die Baugrube in Etappen und symmetrisch bis unter die letzte Spriesslage verfüllt. Aus zeitlichen Gründen konnten keine solch langen Sperrwochenenden für die Bahn gewährleistet werden, dass der Ausbau von Hilfsbrücken, Spriessen und die systematische Wiederverfüllung und Verdichtung fachmännisch hätten durchgeführt werden können. Aus logistischen Gründen war es nicht möglich, die Spriesslage direkt unter den Hilfsbrücken vorgängig auszubauen. Deshalb wurde der Bereich ab 1.8 m unter der letzten Spriesslage bis zur Oberkante des Kopfbalkens mit Sickerbeton verfüllt.

4 Lessons learned

Die vorhandene Komplexität des Projektes setzte eine konstruktive und partnerschaftliche Zusammenarbeit in der Realisierung sowie eine innovative Umsetzung beim Bauunternehmer voraus. Optimierungen konnten oft durch gemeinsame Lösungsfindung und Kommunikation gefunden und umgesetzt werden. Wichtig war aber auch, robuste und bewährte Lösungen einzusetzen, um die Risiken beim Bau im Bahndamm der SBB zu minimieren.

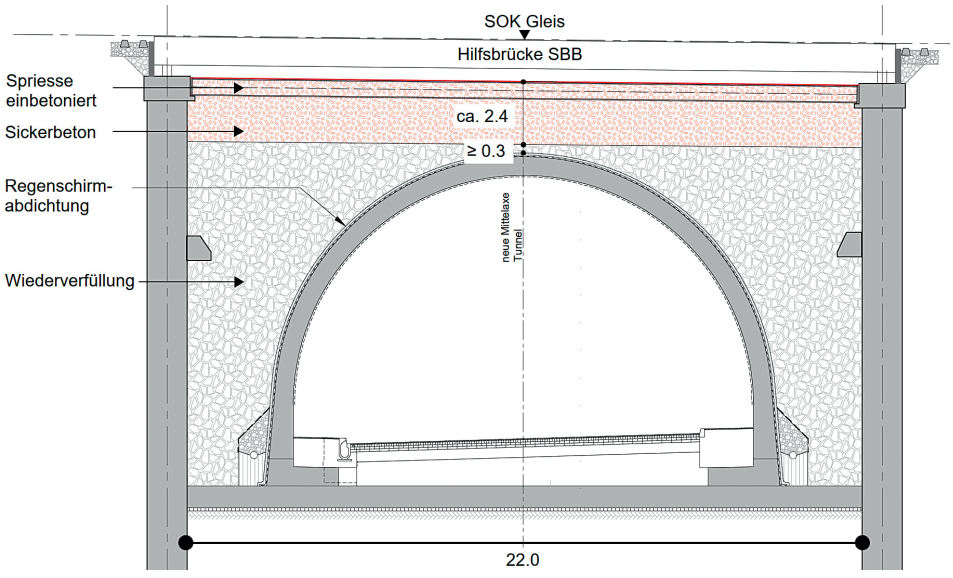
The new cut-and-cover tunnel was formed conventionally and constructed in six sections of 10 m each. Furthermore, traffic had to be maintained. The lane was routed through the centre of the formwork carriage and protected with a wooden structure. After stripping and dismantling the formwork carriage, the lane in the tunnel was moved back one side at a time. This made it possible to construct the shoulder in the tunnel and install the operating and safety equipment.

On the south side, the tunnel connects directly to the new operations centre. To the north, the portal wall was rebuilt as a supporting wall for the railway embankment.

To restore the railway embankment, the building pit was symmetrically backfilled in stages down to below the last layer of gravel. Due to time-related reasons, it was not possible to guarantee closure weekends that were long enough to allow the removal of auxiliary bridges, struts and the systematic backfilling and compaction to be carried out professionally. For logistical reasons, it was not possible to remove the struts directly under the auxiliary bridges in advance. Therefore, the area from 1.8 m below the last layer of gravel to the top edge of the head beam was backfilled with seepage concrete.

4 Lessons learned

The complexity of the project required constructive and cooperative collaboration during realisation as well as innovative implementation by the contractor. Improvements were often found and implemented through joint solution building and communication. However, it was also important to use robust and proven solutions in order to minimise the risks during construction in the SBB railway embankment.



Quelle/credit: Ausführungsunterlagen, AFRY Schweiz AG

10 *Wiederverfüllung Baugrube und Restverfüllung mit Sickerbeton*
Backfilling the building pit and residual backfilling with seepage concrete

Innovationen gehen über technische Lösungen hinaus. So wurden erste Aspekte der BIM-Planung angewendet. Grundsätzlich wurden 3D-Modelle erstellt, woraus dann konventionelle 2D-Pläne abgeleitet wurden. Die 3D-Modelle verhalfen in der Planung, Konflikte zu erkennen und direkt zu lösen. Beispielsweise konnten anhand des Modells die Lage und Winkel der Anker der diversen Baugrubenabschlüsse im Portalbereich Süd optimiert und Überschneidungen ausgeschlossen werden. Absteckungspunkte wurden direkt aus den Modellen generiert und dem Baumeister in digitaler Form zur Verfügung gestellt. Die Rohbaumodelle dienten als Grundlage für die Bewehrungsmodelle, welche ebenfalls in 3D erstellt worden sind. Im Bereich BIM2Field wurden Anwendungsfälle hinsichtlich Baustellenmanagement, Qualitätssicherung und Mängelmanagement umgesetzt. Verwendet wurde dabei die CDE-Plattform BIM360 von Autodesk.

Mein persönlicher Projektbeitrag hat die Planung ab Phase Auflage- und Detailprojekt bis zur Betreuung der Dokumentation ausgeführtes Werk umfasst. Konkret durfte ich die Planung der Grossbohrpfähle mit zugehörigem Logistikkonzept und Aushub sowie die zugehörige Bauphasenplanung inklusive Gleissperrungen übernehmen. Weitere Themen waren die Ausarbeitung der BIM-Strategie und der Anwendungsfälle, das Überwachungskonzept sowie diverse kleine Statiken und die Vordimensionierung der Baugrube. Das Kernstück des Teilprojektes, den Tagbautunnel Hagnau, durfte ich ebenfalls projektieren, bemessen und als Fachbauleitung in der Ausführung begleiten. Besonders stolz bin ich auch auf die Entwicklung, Projektierung und Bemessung der Spezialhilfsbrücke mit aufgelegter Weiche, ohne die das Projekt nicht hätte umgesetzt werden können.

5 Rückblick

Per Ende 2020 konnten der Tagbautunnel, die Betriebszentrale und die Wiederherstellung der Gleisanlage abgeschlossen und dem Betrieb übergeben werden. Die Baustelle verlief ohne grössere Zwischenfälle unter Betrieb von Nationalstrasse und Bahn. In der Ausführung konnte die Bauzeit noch stark reduziert werden. Die offen gelegene Baustelle gewährte der Öffentlichkeit viele spannende Einblicke in die Tätigkeiten des Infrastrukturbaus.

Innovations go beyond technical solutions. Thus, the first aspects of BIM (building information modelling) planning were applied. Basically, 3D models were created, from which conventional 2D plans were then derived. The 3D models helped identify and directly solve conflicts in planning. For example, using the model, the position and angle of bolts for the various building pit closures in the south portal area were optimised and overlaps were ruled out. Stake-out points were generated directly from the models and made available to the contractor in digital form. The shell models served as the basis for the reinforcement models, which were also created in 3D. In the area of BIM2Field, cases of application were implemented with regard to construction site management, quality assurance and defect management. The BIM360 CDE platform from Autodesk was used for this purpose.

My personal contribution to the project comprised a lot of planning – from the initial and detailed project phases through to supervision of the DAW (documents and work implemented). Specifically, I was responsible for planning the large bore piles with an associated logistics concept and excavation as well as the associated construction phase planning, including track closures. Further topics included the development of the BIM strategy and the application cases, the monitoring concept and various small structural analyses and pre-dimensioning the building pit. I was also able to design and dimension the core piece of the sub-project, the cut-and-cover tunnel in Hagnau, and accompany its construction as construction supervisor during implementation. I am also particularly proud of the development, project planning and dimensioning of the special auxiliary bridge with a mounted switch, without which the project could not have been implemented.

5 Looking back

By the end of 2020, the cut-and-cover tunnel, the operations centre and the restoration of the track system were completed and handed over to operations. The construction site proceeded without any major incidents while the national motorway and railway were in operation. Construction time was able to be considerably reduced during implementation. The open construction site provided the public with numerous exciting insights into the activities of infrastructure construction.

Quelle/credit: AFRY Schweiz AG

11 Tunnel im Endzustand mit Blick vom Nordportal unter Brücke Autobahnauffahrt
Tunnel in its final state with view from the north portal under the motorway access bridge

PROJEKTDATEN TEILPROJEKT TUNNEL HAGENAU

Region
Basel Landschaft

Bauherr, Projekt- und Oberbauleitung
Bundesamt für Strassen ASTRA Zofingen, BHU/Oberbauleitung: Jauslin Stebler AG

Planung
IG Schänzli c/o AFRY Schweiz AG mit A. Aegerter & Dr. O. Bosshardt AG

Geologie
Bahndamm, künstliche Aufschüttung

Bauleitung
IG Schänzli c/o AFRY Schweiz AG mit A. Aegerter & Dr. O. Bosshardt AG

Ausführung
Strabag AG

Kenndaten

Bauzeit:	2017–2020
Inbetriebnahme:	2020
Baukosten Tunnel:	CHF 60 Mio.
Gesamtlänge:	60 m

Besondere Merkmale
Tagbautunnel Nationalstrasse im Bahndamm SBB

PROJECT DATA HAGENAU TUNNEL SUB-PROJECT

Region
Basel Landschaft

Client, project and superstructure management
Federal Office of Roads (FEDRO) in Zofingen, contractor support/superstructure management: Jauslin Stebler AG

Planning
IG Schänzli c/o AFRY Schweiz AG with A. Aegerter & Dr. O. Bosshardt AG

Geology
Railway embankment, artificial filling

Construction management
IG Schänzli c/o AFRY Schweiz AG with A. Aegerter & Dr. O. Bosshardt AG

Implementation
Strabag AG

Key data

Construction time:	2017–2020
Commissioning:	2020
Tunnel construction costs:	CHF 60 mill.
Total length:	60 m

Special features
Cut-and-cover tunnel, national motorway in the SBB railway embankment

Leo Neininger, Msc ETH in Bauingenieurwissenschaften, Gähler und Partner AG, Ennetbaden / CH

Zweite Röhre Gotthard-Strassentunnel

Herausforderungen auf der Lockergesteinsstrecke für die Umlegung SISto Nord

Bevor das Bundesamt für Strassen (ASTRA) die zweite Strassenröhre am Gotthard bauen kann, muss in Göschenen ein neuer Zugang zum bestehenden Service- und Infrastrukturstollen gebaut werden. Dieser Vortrieb führte durch eine mit Lockergestein gefüllte Felsmulde. Mehrere Tagbrüche und signifikante Oberflächensetzungen sind zwei durch die Geologie bedingte Herausforderungen, die es zu bewältigen galt.

Gotthard Road Tunnel's second tube

Challenges posed by the loose rock section regarding the SISto North relocation project

Before the Federal Roads Office (FEDRO) can begin building the Gotthard Tunnel's second road tube, a new access point to the existing service and infrastructure tunnel (SISto) must be built in Göschenen. This excavation project needs to pass through a rock basin filled with loose rock. Several cave-ins and significant surface subsidence are two challenges posed by the area's geology that had to be overcome.

1 Gesamtübersicht Projekt zweite Röhre Gotthard-Strassentunnel

Die im Jahr 1980 eröffnete erste Gotthard-Strassenröhre (1TG) muss aufgrund der in die Jahre gekommenen Bausubstanz umfassend saniert werden. Es wurden verschiedene Varianten untersucht, wie die Sanierung des rund 16.9 km langen Tunnels ohne massive Einschränkungen auf den Transitverkehr umgesetzt werden kann. Das Schweizer Stimmvolk hat 2016 in einer Volksabstimmung dem Bau der zweiten Gotthard-Strassenröhre zugestimmt. Somit realisiert das ASTRA für 2.14 Milliarden Schweizer Franken zunächst eine neue zweispurige Strassenröhre zwischen Göschenen und Airolo. Diese soll 2029 in Betrieb gehen. Im Anschluss wird die erste Röhre während drei Jahren saniert. Ab 2032 stehen dann beide Tunnels dem Verkehr zur Verfügung.

Aktuell wird der Verkehr in der ersten Röhre im Gegenverkehr geführt. Ab 2032 wird in beiden Tunnels jeweils nur eine Fahrspur offen sein, die zweite dient als Pannenstreifen. Die Verkehrskapazität durch den Gotthard wird durch den Bau der zweiten Röhre also nicht erhöht. Weil aber der Verkehr nicht mehr im Gegenverkehr geführt werden muss, wird die Sicherheit für die Nutzer deutlich gesteigert. Hinzu kommt, dass die Systemverfügbarkeit gesteigert werden kann, weil beispielsweise für Unterhaltsarbeiten nicht mehr beide Fahrtrichtungen gesperrt werden müssen.

Die zweite Gotthard-Strassenröhre (2TG) wird maschinell mit Tunnelbohrmaschinen (TBM) ausgebrochen. Dazu sind zwei TBM-Vortriebe vorgesehen, einer ab Göschenen und einer ab Airolo. Die beiden Vortriebe der Hauptlose starten vor-

1 General overview of the Gotthard Road Tunnel's second tube project

The first Gotthard Road Tunnel (1GT), which was opened in 1980, is in need of extensive renovation due to its ageing structure. A number of options have been examined to determine how the 16.9 km long tunnel can be renovated without massively restricting traffic flow through it. In 2016, Swiss voters approved the construction of the second Gotthard Road Tunnel in a referendum. As a result, FEDRO is currently building a new two-lane road tunnel between Göschenen and Airolo at a cost of CHF 2.14 billion. This is scheduled to enter service in 2029. The first tube will then be renovated for three years. Both tunnels will then be open to traffic from 2032.

Currently, traffic in the first tube travels in two-way traffic. From 2032 onwards, only one lane will be open in each of the two tunnels; the second will serve as an emergency lane. Traffic capacity through the Gotthard tunnel will therefore not be increased as a result of the second tube. However, because traffic will no longer have to be routed in two-way traffic, safety for users will be significantly increased. In addition, system accessibility will be improved, for example, because it will no longer be necessary to close both lanes for maintenance work.

The second Gotthard Road Tunnel (2GT) is being excavated mechanically with tunnel boring machines (TBMs). Two TBM excavation projects are planned, one from Göschenen and one from Airolo. The two excavation phases in the main lots are expected to start at the beginning of 2025, and tunnel

Deuxième tube du tunnel routier du Saint-Gothard

Défis posés par le tronçon de roches meubles pour le détournement du SISto (le tunnel de service et d'infrastructures) côté nord

Le matériau meuble rencontré dans le cadre de ce projet consistait en un gravier instable et sans cohésion à certains endroits. Comme il n'a pas été possible d'obtenir une structure de coulis étanche lors de l'injection de la voûte-parapluie, un effet de sablier s'est produit à deux endroits, entraînant un effondrement. Grâce à un écran réalisé au moyen de lances d'injection, à une adaptation du tracé et à diverses autres mesures, la roche meuble sensible au tassement a pu être traversée avec succès. L'expérience acquise lors du creusement a également été intégrée dans les mesures d'avancement de l'excavation principale afin d'accroître la fiabilité du calendrier pour l'ensemble du projet.

Secondo tubo della galleria autostradale del San Gottardo

Sfide su materiale sciolto per lo spostamento del SISto Nord

Il materiale sciolto riscontrato era composto in alcune zone da ghiaia non coesiva. Poiché durante l'iniezione dell'ombrello di infilaggi non è stato possibile raggiungere un corpo d'iniezione compatto, ha avuto luogo in due punti un effetto clessidra con la conseguenza di un fornello. È stato possibile attraversare con successo questa zona di materiale sciolto molto sensibile agli assestamenti grazie a all'installazione di lance d'iniezione, ad un adattamento puntuale del tracciato e ad altre diverse misure. Le esperienze dell'avanzamento sono anche diventate misure per lo scavo principale, al fine di rispettare la scadenza dell'intero progetto.

aussichtlich Anfang 2025, der Durchschlag ist für Ende 2026 vorgesehen. Anschliessend erfolgt der Innenausbau sowie die Montage der Betriebs- und Sicherheitsausrüstung, bevor der Tunnel Ende 2029 dem Verkehr übergeben werden soll.

Gestartet sind die Bauarbeiten bereits 2020 mit verschiedenen Vorlosen. Dazu gehören unter anderem je ein Zugangsstollen mit TBM-Vortrieb ab Göschenen und Airolo zu den Störzonen Nord respektive Süd, welche aus dem Bau der ersten Röhre bekannt sind. Diese Zonen werden vorgängig konventionell ausgebrochen, sodass die zwei TBM des Hauptvortriebs später durch den vorgängig hergestellten Hohlraum durchgeschoben werden können.

Die zweite Gotthard-Strassenröhre hat einen Regelabstand von 70 m zur ersten Röhre. In den beiden Portalbereichen Nord und Süd liegt die Linienführung jedoch auf der Achse des bestehenden, betriebsrelevanten Service- und Infrastrukturstollens (SISto). Bevor der Hauptvortrieb aufgenommen werden kann, müssen deshalb sowohl in Göschenen als auch in Airolo neue Zugänge zum bestehenden SISto erstellt werden. Erst nach deren Inbetriebnahme kann der bestehende SISto im Portalbereich ausser Betrieb genommen und mit dem Hauptvortrieb gestartet werden. Die nun folgenden Ausführungen befassen sich mit dem Vortrieb für die Umlegung SISto Nord.

2 Umlegung SISto Nord

2.1 Linienführung

Aufgrund der beengten Platzverhältnisse musste das Portal für den neuen, rund 420 m langen Stollen östlich der bestehenden ersten Röhre gebaut werden (Bild 1).

breakthrough is planned for the end of 2026. This will be followed by the internal construction work and installing the operating and safety equipment before the tunnel is opened to traffic at the end of 2029.

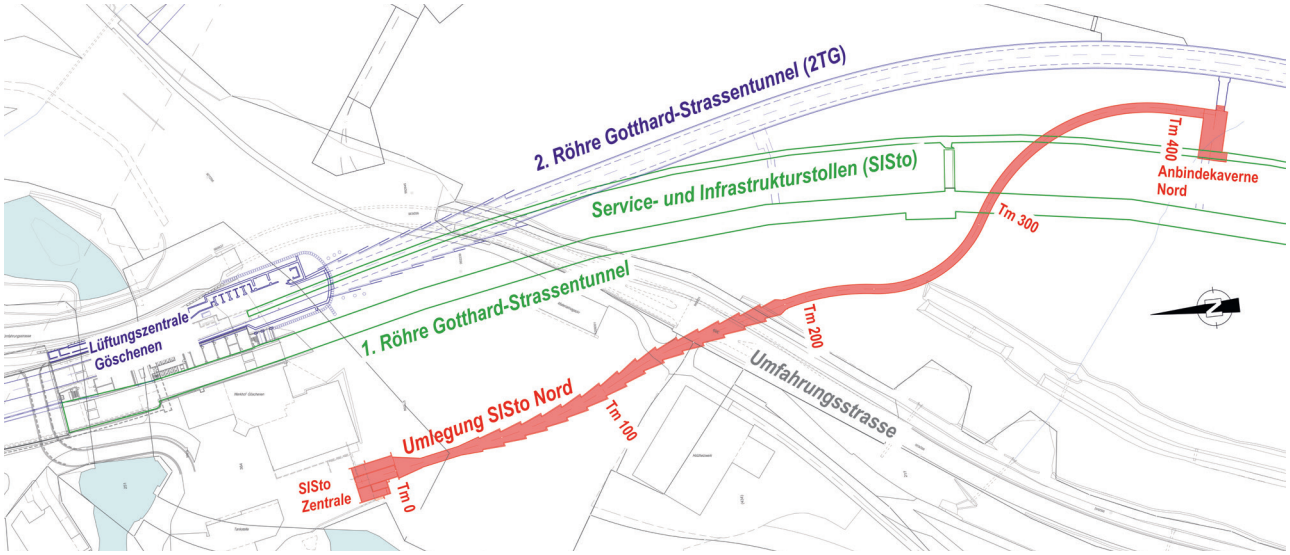
Construction work already started in 2020 with various preliminary lots. These lots include an access tunnel excavated by TBMs from Göschenen and Airolo to the north and south fault zones, respectively, which are known due to construction of the first tube. These zones will be excavated conventionally beforehand so that the two main excavation TBMs can later be pushed through the cavity created.

The second Gotthard road tube has a standard distance of 70 m from the first tube. In the two north and south portal areas, however, the route runs along the axis of the existing, operationally relevant service and infrastructure tunnel (SISto). Before the main tunnel can be excavated, new access points to the existing SISto must be built in both Göschenen and Airolo. Only after these access points have been commissioned can the existing portal section of the SISto be taken out of service and the main tunnel excavation started. The following article describes the tunnelling process for relocating SISto North.

2 Relocating SISto North

2.1 Alignment

Due to limited space available, the portal for the new, approximately 420-m-long tunnel had to be built to the east of the existing first tube (Fig. 1).



1 Situationsplan für die Umlegung SISto Nord (rot) mit der bestehenden ersten Röhre und SISto (grün) und der projektierten zweiten Röhre (blau)
Situational plan for relocating SISto North (red) with the current first tube and SISto (green) and the projected second tube (blue)

Der Stollen verläuft ab dem Portal zunächst nahezu parallel zur bestehenden Röhre und unterquert dabei im Lockergestein in einem Abstand von rund 10 m die Umfahrungsstrasse nach Andermatt (Bild 2). Wieder im Fels folgt der Stollen kurz vor der Überquerung der 1TG einer Linkskurve. Ab dem Portal steigt der Vortrieb dabei kontinuierlich an, damit die erste Röhre mit einem Minimalabstand von 5.25 m überquert werden kann. Nach dem Hochpunkt direkt über der ersten Röhre fällt der Vortrieb wieder ab, überquert den bestehenden SISto schleifend in einer Rechtskurve mit einem Abstand von 5.35 m und schliesst letztendlich mit einer Anbindekaverne an den bestehenden SISto an. Die Vortriebsarbeiten für die Umlegung SISto Nord konnten inzwischen erfolgreich abgeschlossen werden.

2.2 Geologie

In Bild 2 ist das geologische Längenprofil für die Umlegung SISto Nord gezeigt. Der Vortrieb verläuft zum Grossteil im Aare-Granit, durchquert aber auch eine mit Lockergestein gefüllte Felsmulde. Bei dieser Mulde handelt es sich vermutlich um einen alten Flusslauf der Reuss. Die Auffüllung in der Felsmulde setzt sich aus Hang- und Blockschutt-Material als auch aus künstlichen Auffüllungen (Deponie) zusammen.

Der angetroffene Aare-Granit zeigte sich meist sehr massig. Das blockige Hangschuttmaterial war weitgehend mit Flussablagerungen verfüllt (Kies, Sand und vereinzelte Steine). Angetroffen wurde dieses Material im gesamten Lockergesteinsvortrieb im Sohlbereich und vor dem Wechsel in den Aare-Granit sogar im ganzen Querschnitt. Über diesem Hangschuttmaterial konnte im Vortrieb ein alter Oberboden festgestellt werden, der unter anderem auch Wurzelstöcke enthielt. Das Hangschuttmaterial mit dem alten Oberboden wurde von den künstlichen Auffüllungen überlagert. Der Hauptteil dieser Auffüllung besteht aus Ausbruchmaterial vom Bau des Bahnscheiteltunnels im 19. Jahrhundert. Die technischen Hilfsmittel für die Mineure waren damals sehr

The tunnel initially runs almost parallel to the existing tube from the portal and crosses below the bypass road to Andermatt in loose rock at a distance of about 10 m (Fig. 2). The tunnel follows a lefthand bend in the rock again shortly before crossing the 1GT. From the portal onwards, excavation needs to climb so that the first tube can be crossed at a minimum distance of 5.25 m. After the highest point – directly above the first tube – excavation work descends again, crosses the existing SISto in a righthand curve at a distance of 5.35 m and finally connects to the existing SISto with a junction cavern. The excavation work for relocating the SISto North has now been successfully completed.

2.2 Geology

Figure 2 shows the geological longitudinal profile for relocating SISto North. Most of the excavation runs through Aare granite, but it also crosses a rock basin filled with loose rock. This depression is presumably the site of an ancient Reuss river channel. The backfill in the rock basin is composed of talus and blocky rock material as well as artificial backfill material (landfill).

The Aare granite encountered was mostly very solid. The talus slope debris was largely filled with river sediments (gravel, sand and isolated stones). This material was encountered in the entire loose rock excavation process in the floor area and even in the entire cross section before transitioning again to the Aare granite. On top of the talus debris material, old topsoil was encountered during excavation, which also contained rootstocks, for example. The talus material and the old topsoil were overlaid by the artificial backfill. The main part of this backfill consists of excavated material from construction of the railway tunnel in the 19th century. The technical tools for the tunnellers were very limited at that time and excavated material had to be loaded and transported with simple means. Accordingly, many stones that were big enough to be carried by hand were quarried, and the materi-

begrenzt und Ausbruchmaterial musste mit einfachen Mitteln aufgeladen und transportiert werden. Es wurden entsprechend viele handstückgrosse Steine angetroffen und das Material wies praktisch keinen Feinanteil auf. Der Baugrund liess weiter vermuten, dass das Areal später weiter als Deponie genutzt wurde. So konnte im ausgebrochenen Material neben Schlackestücken auch runder, gut sortierter Kies gefunden werden, beides keine typischen Materialien für das Urner Oberland.

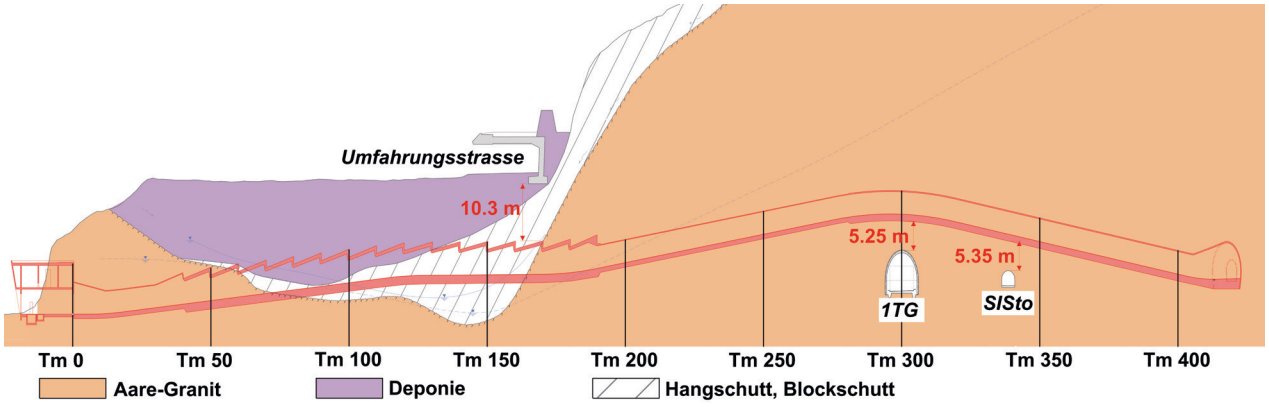
Neben der weitgehend fehlenden Kohäsion wies das Deponiematerial aufgrund des fehlenden Feinanteils und des grossen Hohlraumanteils auch eine sehr hohe Durchlässigkeit auf. Im Weiteren wurde das Material beim Einbau offensichtlich nicht verdichtet, weshalb es ausgesprochen setzungsempfindlich war.

al had practically no fine content. The subsoil also suggested that the area would later be used as a landfill. In addition to pieces of slag, round, well sorted gravel was also found in the excavated material, neither of which is typical for the Uri highlands.

In addition to a lack of cohesion, the landfill material had very high permeability due to the lack of fine content and a large percentage of voids. Furthermore, the material was obviously not compacted during disposal, which is why it was extremely susceptible to settlement.

2.3 Excavation process

The Aare granite sections were excavated conventionally by blasting. Due to the proximity to the existing structure, the vibrations on sensitive components were continuously



Quelle/credit: IG Nuovo Gottardo, Los 242 – Längenprofil

2 *Das geologische Längenprofil für die Umlegung SISto Nord*
Geological longitudinal profile for relocating SISto North

2.3 Vortriebsverfahren

Die Abschnitte im Aare-Granit wurden konventionell im Sprengvortrieb ausgebrochen. Aufgrund der Nähe zum Bestand wurden die Erschütterungen an empfindlichen Bauteilen laufend überwacht und auf Basis dieser Messergebnisse der Vortrieb entsprechend angepasst. So waren für die Überquerung der ersten Röhre bereits in der Ausschreibung verkürzte Abschlagslängen vorgesehen. Zur Begrenzung der Erschütterungen auf der Zwischendecke in der ersten Röhre kam diese Massnahme schliesslich auch zur Anwendung, wobei die Abschlagslänge auf bis zu 0.5 m reduziert werden musste. Dank dieser Massnahmen konnte der Vortrieb die erste Röhre unter Betrieb überqueren und sicher und ohne Beschädigungen am Bestand abgeschlossen werden.

Die 140 m lange Lockergesteinsstrecke wurde im Schutze eines Rohrschirmes ausgebrochen (Bild 3). Aus dem Bau der ersten Röhre war bekannt, dass die Lockergesteinsstrecke eine Herausforderung darstellt [1]. In der Planung wurden deshalb bereits verschiedene Möglichkeiten vorgesehen, um auf die effektiven Baugrundverhältnisse zu reagieren.

Grundsätzlich war für den Rohrschirm eine Rohrlänge von 14 m vorgesehen bei einer Überlappung von 4 m und einem

monitored and the excavation was adapted accordingly on the basis of these measurement results. For example, shortened excavation sections were already planned in the tender at the sections where the first tube needed to be crossed. In order to limit vibrations on the suspended ceiling in the first tube, this measure was finally applied, whereby the excavation length had to be reduced to up to 0.5 m. Thanks to these measures, excavation work was able to cross the first

Quelle/credit: IG 2G-BN/Leo Neininger

3 *Layout des Rohrschirms (Rohrschirmetappe Nr. 5)*
Layout of the pipe screen (pipe screen stage No. 5)

Achsabstand der Rohre von 40 cm. Eine Reduktion der Rohrlänge auf 10 m mit 6 m Ausbruchsetappen wurde ebenfalls ausgeschrieben. Die Neigung der Rohre wurde so geplant, dass ausreichend Platz für das Bohren eines doppelten Rohrschirmes vorhanden ist. Die Ausbruchsicherung mit Stahlbögen und Spritzbeton war dabei für beide Varianten identisch. Ergänzt wurde der Rohrschirm noch durch eine systematische Ortsbrustankerung. Während der Arbeitsvorbereitung (AVOR) wurde weiter beschlossen, dass Trockenspritzbeton als Möglichkeit zur sofortigen Reaktion auf Platz vorgehalten wird.

3 Herausforderungen im Lockergesteinsvortrieb

3.1 Eindringendes Material zwischen den Rohrschirmrohren

3.1.1 Tagbrüche in den Rohrschirmetappen Nr. 3 und 4

Der Übergang vom Felsrücken in die mit Lockergestein gefüllte Mulde verlief schleifend. Anhand von zwei zerstörend gebohrten Vorauserkundungen aus dem Vortrieb wurde der genaue Felsverlauf ermittelt. Sobald die Felsüberdeckung über dem First noch 2 m betrug, wurde der Vortrieb umgestellt und im Schutze des Rohrschirmes fortgesetzt. Die ersten zwei Rohrschirmetappen befanden sich dabei noch fast vollständig im Aare-Granit.

Quelle/credit: IG 2G-BN/Leo Neininger

4 *Standfeste Ortsbrust zu etwa 75 % im Fels, ca. 1 m bevor sich der erste Niederbruch ereignete*

Stable tunnel face about 75 % in bedrock, approx. 1 m before the first collapse occurred

tube during operation and was completed safely – without damaging the existing structure.

The 140-m-long section of loose rock was excavated under the protection of a pipe screen umbrella (Fig. 3). During the construction of the first tube, workers were aware that the section of loose rock posed a challenge [1]. Therefore, various possibilities were already provided in the planning process to react to the current geological conditions.

Basically, a pipe length of 14 m was planned for the pipe screen umbrella with an overlap of 4 m and a pipe centre distance of 40 cm. A reduction of the pipe length to 10 m with 6 m excavation stages was also tendered. The inclination of the pipes was planned in such a way that there was sufficient space for drilling a double pipe screen umbrella. The excavation protection, using steel arches and wet shotcrete, was identical for both options. The pipe screen was supplemented by systematic face anchors. During preliminary work, it was further decided that dry shotcrete would be kept on hand in case any immediate response was needed.

Quelle/credit: IG 2G-BN/Leo Neininger

5 *Rund 100 m³ Material dringen in den Vortriebsbereich ein*

About 100 m³ of material enters the excavation area

Als die Ortsbrust in der dritten Rohrschirmetappe noch immer zu etwa 75 % im Fels lag (Bild 4), begann im Firstbereich bei einer Überdeckung von 15 m plötzlich kiesiges Material zwischen den Rohrschirmrohren unkontrolliert einzudringen. In der Folge drangen rund 100 m³ Material in den Vortriebsbereich und es bildete sich ein Krater an der Oberfläche (Bild 5 und Bild 6).

Ein kleiner Bereich mit Lockergestein von etwa 0.5 m Durchmesser (Bild 7), welcher bei der Rohrschirminjektion nicht komplett verfestigt wurde, reichte dazu aus. Das eingedrungene Material setzte sich hauptsächlich aus gut sortiertem, rolligem und kohäsionslosem Kies zusammen.

Direkt neben dem Krater wurde bereits ein Werkgleis verlegt und diverse Werkleitungen und eine Betonplatte für das Materialzwischenlager für das Projekt 2TG erstellt. Um weitere Setzungen durch nachbrechendes Material zu verhindern, wurde als Sofortmassnahme der Krater von der Oberfläche aus mit Beton verfüllt. Aus dem Vortrieb wurden 3 bis 4 m lange Injektionsspiesse gebohrt und damit der Bereich um die Ortsbrust verfestigt. Trotz dieser zusätzlichen Injektionen verblieb ein weiterer, nicht vollständig verfestigter Bereich und es kam auf den letzten 2 m Ausbruch unter der Rohrschirmetappe Nr. 3 zu einem weiteren Niederbruch.

Für die nächste Rohrschirmetappe wurde ein doppelter Rohrschirm angeordnet und das Mengenabbruchkriterium für die Rohrschirminjektionen erhöht. Diese Massnahmen erzielten jedoch nicht die gewünschte Wirkung und es kam gegen Ende der Rohrschirmetappe erneut zu einem Sanduhreffekt, wobei rund 100 m³ Material zwischen dem doppelten Rohrschirm hindurch in den Vortriebsbereich einrieselte.

3.1.2 Lösungsansatz und Übergang zum Regelvortrieb

Ursache für die Tagbrüche waren jeweils lokal sehr begrenzte Bereiche, die durch die Rohrschirminjektion nicht vollständig verfestigt wurden. Die Ursache dafür liegt in der äusserst hohen Durchlässigkeit des Baugrundes. Trotz einer Reduktion des Achsabstandes der Rohrschirmrohre auf 30 cm und Anpassungen am Injektionsgut (Beimischung Thixotropierungsmittel und Reduktion w/z-Wert) war es nicht möglich, ausreichend gezielt zu injizieren. Für den weiteren Vortrieb konnte so nicht mit ausreichender Sicherheit gewährleistet werden, dass sich solche Ereignisse nicht wiederholen.

Der Lösungsansatz für den weiteren Vortrieb sah deshalb vor, den Baugrund insbesondere auch über dem Firstbereich zu verfestigen. Eine Baugrundverbesserung von der Oberfläche aus war jedoch aus verschiedenen Gründen nicht möglich und musste aus dem Vortrieb heraus erfolgen. Zunächst wurden die Injektionsmengen für die Rohrschirminjektion drastisch erhöht. Da der alte Oberboden und der verschwemmte Blockschutt vergleichsweise gering durchlässig waren, konnte darüber ein Injektionskörper über die gesamte Ortsbrust aufgebaut werden.

3 Challenges in loose rock excavation

3.1 Material penetration between the pipe screen umbrella tubes

3.1.1 Cave-ins in pipe screen umbrella stages no. 3 and 4

The rock ridge transitioned skew into the loose rock-filled basin. The exact rock path was determined on the basis of two destructively drilled boreholes through the tunnel face. As soon as the rock surface above the tunnel crown was within 2 m, the excavation method was changed and continued under the protection of the pipe screen umbrella. The first two pipe screen stages were still almost fully completed in the Aare granite.

When the tunnel face in the third pipe screen stage was still about 75 % in solid rock (Fig. 4), gravelly material suddenly began to enter uncontrollably between the pipe screen tubes in the crown area with a cover of 15 m. As a result, about 100 m³ of material entered the tunnel and a crater formed at the surface (Fig. 5 and Fig. 6). A small area of loose rock about 0.5 m in diameter (Fig. 7), which was not completely compacted during pipe screen grouting, was sufficiently large for all this material to enter. The infiltrated material was mainly composed of well graded, loose and cohesionless gravel.

Directly next to the crater, a service track was already laid out; various service lines and a concrete slab for the temporary material storage for the 2GT project were also constructed. In order to prevent further settlement due to material breaking away, the crater was filled with concrete from the surface as an immediate measure. Grout bolts with a length of 3 to 4 m were drilled from the tunnel face to consolidate the area around the tunnel face. Despite these additional grout injections, there was another area that had not been fully consolidated, and another collapse occurred over the last 2 m of excavation under pipe screen umbrella stage No. 3.

Quelle/credit: IG 2G-BN/Leo Neininger

6 *Der Krater an der Oberfläche neben Werkgleis und Betonplatte für das Materialzwischenlager*

The crater on the surface next to the work track and concrete slab for temporary storage of materials

Quelle/credit: IG 2G-BN/Leo Neininger

7 *Nachdem das eingedrungene Material entfernt wurde, war die Eintrittsstelle ersichtlich (roter Pfeil). Im Bereich der strichlierten Linie ist noch der Trockenspritzbeton der Sofortsicherung über dem Schüttkegel sichtbar*

After the penetrated material was removed, the entry point was visible (red arrow). The area within the dotted line still shows the dry shotcrete of the immediate stabilisation measures above the material cone

Damit konnte jedoch noch nicht ausgeschlossen werden, dass keine kohäsionslosen Bereiche zwischen den Firstrohren oder direkt darüber mehr vorhanden sind. Deshalb wurde der Rohrschirm im Firstbereich mit einem systematischen Schirm aus Injektionsspiessen ergänzt, welcher nach jedem Abschlag erstellt wurde (Bild 8). Das Injektionsgut aus den Spiessen floss der Schwerkraft folgend in die verbleibenden Hohlräume und es konnte auch eine Verfestigung über dem auszubrechenden Hohlraum erzielt werden.

Mit diesem Vorgehen konnte, wenn auch mit stark reduzierter Vortriebsleistung, erfolgreich in einen Regelvortrieb übergegangen werden.

3.2 Setzungsverhalten des Baugrundes

3.2.1 Überwachung der Oberfläche

Das ursprüngliche Überwachungskonzept sah zunächst nur vereinzelte Nivellement-Messpunkte an der Oberfläche über dem Vortrieb vor. Nach den Niederbrüchen wurde die Überwachung auf der darüber liegenden Installationsfläche intensiviert. Es wurde ein flächendeckendes und dichtes Netz an Messpunkten über dem Vortrieb eingerichtet. Anhand dieser Messungen konnte einerseits gezeigt werden, dass sich die Setzungen im Bereich der verfüllten Krater rasch stabilisiert haben. Andererseits konnte der Einfluss der Vortriebsarbeiten auf das Setzungsverhalten beobachtet und überwacht werden.

3.2.2 Auswertung der Nivellement-Messungen und Interpretation

In Bild 9 ist der Setzungsverlauf von fünf Messpunkten über der Stollenachse in Relation zum Abstand des Punktes zur Ortsbrust dargestellt. Bei Bewegungen im positiven Bereich der horizontalen Achse (violett hinterlegt) handelt es sich um Vorverformungen.

For the next pipe screen stage, a double pipe screen umbrella was arranged and the criterion for the amount of pipe screen injection was increased. However, these measures did not achieve the desired effect and, towards the end of the pipe screen umbrella stage, an hourglass effect occurred again, with around 100 m^3 of material entering through the space between the double pipe screen umbrella into the excavation area.

3.1.2 Approaching the solution and transitioning to regular tunnelling

Cave-ins were caused by very localised areas that were not completely consolidated by the pipe screen grouting. The reason for this is the extremely high permeability of the subsoil. Despite reducing the axial distance of the pipe screen tubes to 30 cm and adjustments to the grouting material (mixture of thixotropic agents and reduced w/c ratio), it was not possible to grout in a sufficiently targeted manner. It was therefore not possible to ensure with sufficient certainty that such events would not recur in the future.

The solution for continued excavation was therefore to consolidate the subsoil, especially above the crown area. However, improving the soil from the surface was not possible for various reasons and had to be carried out from within the excavation area. First, the grouting quantities for the pipe screens were drastically increased. Since the old topsoil and the silty blocky rubble had comparatively low permeability, it was possible to build up a grouting body over the entire tunnel face.

Quelle/credit: IG 2G-BN/Leo Neininger

8 *Injektionsspiesse im Firstbereich zur Verfestigung des Materials über den Rohrschirmrohren*

Grouting lances in the crown area to consolidate the material above the pipe screen tubes

However, this still did not exclude the possibility that there were some cohesionless areas left between the crown pipes or directly above them. Therefore, the pipe screen in the crown area was supplemented with a systematic screen of grout lances, which was created after each cut (Fig. 8). The grout from the lances flowed into the remaining cavities following the force of gravity, and it was also possible to achieve consolidation above the tunnel being broken out.

Es sind zwei Kurvengruppen ersichtlich. Die Punkte A23-3, A24-3 und A25-3 befanden sich in den geologisch schwierigsten Abschnitten mit dem höchsten Anteil an künstlichen Auffüllungen im Querschnitt. Anhand der Kurven der Punkte A28-3 und A29-3 wird veranschaulicht, wie deutlich und schnell die Setzungen abgenommen haben, sobald der Anteil an Hangschuttmaterial zugenommen hat. Diese Entwicklung direkt vor der Unterquerung der Galerie war sehr erfreulich und beruhigend.

Die Vorverformungen hatten einen Maximalwert von 88 % der Gesamtverformungen. Dies weist darauf hin, dass die Ursache der Setzungen die Bauhilfsmassnahmen sein müssen, welche den Baugrund stören, und nicht die eigentlichen Ausbrucharbeiten. So sind die grössten Setzungszunahmen beim Bohren der Rohrschirm-, Inklinometer- und Drainagerohre aufgetreten. Dies zeigt sich in den Setzungskurven jeweils in einem vertikalen Verlauf, also einer Zunahme der Setzung bei keinem Vortrieb. Während des Bohrens des Rohrschirmes wurden bis zu drei Nivellement-Messungen pro Tag durchgeführt. Damit konnte aufgezeigt werden, dass bereits durch das Bohren von einzelnen Rohren eine Setzung von mehreren Millimetern an der Oberfläche erzeugt wurde.

Es lässt sich daraus schliessen, dass die durch die Bohrarbeiten erzeugten Vibrationen das Bodenmaterial lokal verdichten. Weil das Material beim Einbau nicht verdichtet wurde, ist dies leicht möglich. Die Volumenänderung setzt sich dann bis zur Oberfläche fort und zeigt sich dort in Form von signifikanten Setzungen. Sehr ähnliche Erfahrungen wurden fast zeitgleich auch beim Tunnel Les Evouettes gemacht [2].

Schlussendlich verbesserten sich die geologischen Verhältnisse kurz vor der Unterquerung der Galerie deutlich. Sobald

With this procedure, it was possible to successfully switch to a regular excavation process, albeit with a greatly reduced excavation rate.

3.2 Subsoil settlement behaviour

3.2.1 Monitoring the surface

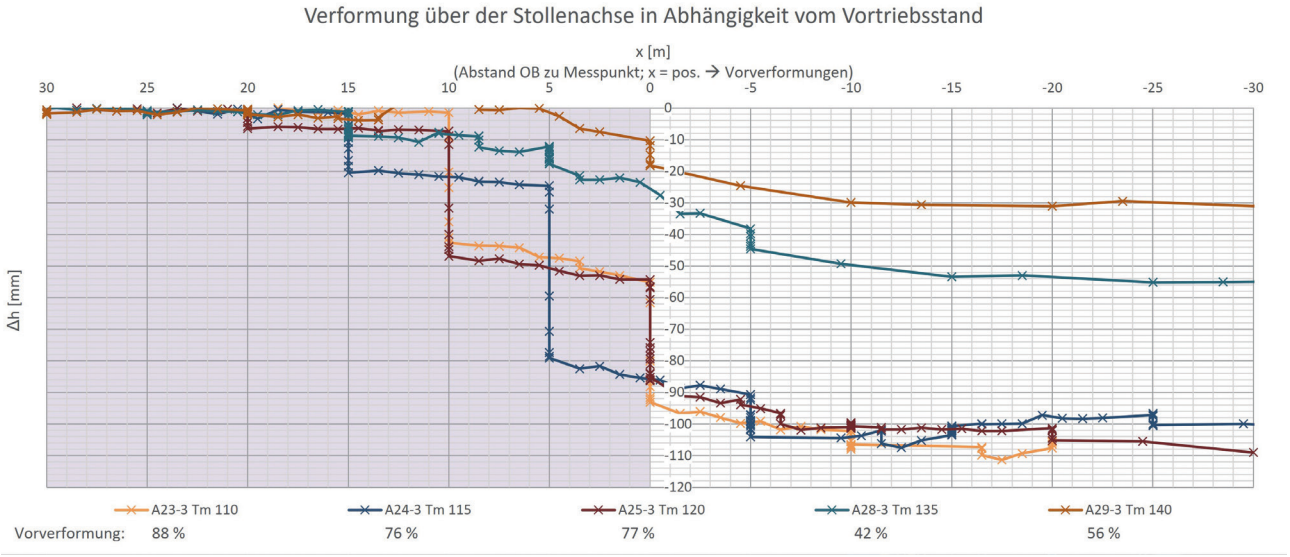
The original monitoring concept initially envisaged only isolated levelling measuring points on the surface above the excavation. After the cave-ins, monitoring was intensified on the surface above. A comprehensive and dense network of measuring points was set up above the excavation area. These measurements showed that the settlement in the area of the backfilled craters stabilised quickly. The influence of the tunnelling work on the settlement behaviour was observed and monitored.

3.2.2 Evaluating levelling measurements and interpretation

Fig. 9 shows how settlement develops at five measuring points above the tunnel axis in relation to the distance between the point and the tunnel face. Movements in the positive area of the horizontal axis (highlighted in purple) are predeformations.

Two groups of curves are evident. Points A23-3, A24-3 and A25-3 were located in the geologically most difficult sections with the highest proportion of artificial backfill in the cross-section. The curves at points A28-3 and A29-3 illustrate how clearly and rapidly total settlement decreased as the proportion of talus material increased. This development directly before the tunnel's undercrossing was very encouraging and reassuring.

The pre-deformations had a maximum value of 88 % of the total deformations. This indicates that the cause of the settle-



Quelle/credit: IG 2G-BN/Leo Neininger

9 *Setzungsverlauf von ausgewählten Nivellement-Messpunkten in Abhängigkeit zum Vortriebs-stand. Bei den Setzungen im violetten Bereich handelt es sich um Vorverformungen. Der prozentuale Anteil der Vorverformungen ist ebenfalls dargestellt*

Settlement progression of selected levelling measurement points in relation to the distance from the excavation face. The settlements in the purple area are pre-deformations. The percentage of pre-deformations is also shown

der gesamte Stollenquerschnitt im Hangschuttmaterial lag, nahmen die Oberflächensetzungen innerhalb einiger Meter deutlich ab.

3.2.3 Massnahmen

Die Setzungen von bis zu 12 cm an der Oberfläche verursachten keine Schäden. Mit dem Vortrieb musste aber noch die Umfahrungsstrasse nach Andermatt in einem Abstand von lediglich 10 m unterquert werden. Die Umfahrungsstrasse verläuft in diesem Abschnitt durch den Tunnel Steglaui (Stahlbetonrahmenkonstruktion) und die Galerie Zwischetmätteli (offene Konstruktion mit Stützenreihe). Der Vortrieb unterquert die Strasse direkt im Übergangsbereich zwischen Tunnel und Galerie. Mit den während der Annäherung auf der Fläche vor der Umfahrungsstrasse festgestellten (differenziellen) Setzungen wäre die Tragsicherheit der Galerie nicht mehr gewährleistet gewesen. Einmal mehr mussten deshalb während der laufenden Ausführung verschiedenste einschneidende Massnahmen getroffen werden.

Auf Grundlage von zusätzlich ausgeführten geologischen Erkundungsbohrungen wurde die vertikale Linienführung des Stollens angepasst. Durch eine Abflachung verliess der Vortrieb das setzungsempfindliche Deponiematerial und erreichte früher das Hangschuttmaterial. Auch die horizontale Linienführung wurde mit einer Rechtskurve angepasst mit dem Ziel, dass die Setzungsmulde des Vortriebs möglichst keinen Einfluss auf die Rahmenkonstruktion des Tunnels Steglaui hat und sich auf den Bereich der Galerie beschränkt. In diesem Querschnitt wurden hydraulische Stützen eingebaut, mit welchen allfällige Setzungen kompensiert werden konnten (Bild 10). Um die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer stets gewährleisten zu können, wurde auch ein ausgedehntes und redundantes Überwachungsmessungssystem installiert.

Aufgrund der Beschaffungs- und Installationszeit der Stützen mussten diese frühzeitig organisiert werden. Dank der geringen Setzungen im Hangschuttmaterial von circa 10 mm mussten effektiv nur 4 mm an Setzungen kompensiert werden.

Eine Kompensation von Setzungen im Bereich des Tunnelquerschnitts wäre ungleich aufwendiger gewesen. Eine untersuchte Möglichkeit waren Hebungsinjektionen mit Polyurethanschaum. Es wurden dazu Probeinjektionen ausgeführt, mit welchen aber kaum Hebungen erzielt werden konnten. Die Ursache dafür ist wohl einmal mehr der sehr hohe Hohlraumanteil. Mit dem Aufquellen des Schaums konnte also nicht ausreichend Volumen und Druck erzeugt werden.

Weiter wurde auch untersucht, ob das Bohrwasser von den Rohrschirmbohrungen ein Treiber für die Setzungen ist. Eine Anpassung auf eine Spülung mit einem Gemisch aus Druckluft und Wasser zeigte jedoch keinen Einfluss auf das Setzungsverhalten des Baugrundes. Obwohl mit dieser Anpassung kein Erfolg erzielt werden konnte, wurde damit gezeigt, dass die Ursache der Setzungen in den künstlichen

ments must be the auxiliary construction measures disturbing the ground and not the actual excavation work. Thus, the largest increases in settlement occurred during pipe screen, inclinometer and drainage pipe drilling. This is shown in the settlement curves in each case in a vertical progression, i.e., an increase in settlement with no advancement. During the pipe screen umbrella drilling, up to three levelling measurements per day were carried out. This made it possible to show that the drilling of individual pipes already produced a settlement of several millimetres at the surface.

It can be concluded that the vibrations generated by the drilling work compact the soil material on a local level. Because the material was not compacted during installation, this is easily possible. The change in volume then continues to the surface, where it shows up in the form of significant settlement. Very similar experiences occurred almost simultaneously with the Les Evouettes tunnel [2].

Finally, the geological conditions improved significantly shortly before the tunnel underpass. As soon as the entire tunnel cross-section was located in the talus material, the surface settlements decreased significantly within a few metres.

3.2.3 Measures

The settlement of up to 12 cm at the surface did not cause any damage. However, excavation still had to pass under the bypass road to Andermatt at a distance of only 10 m. In this section, the bypass road runs through the Steglaui tunnel (reinforced concrete frame structure) and the Zwischetmätteli tunnel (open structure with a row of columns). Excavation passes under the road directly in the transition area between the tunnel and the gallery. With the (differential) settlements detected during the approach on the area in front of the bypass road, the tunnel's loadbearing stability would no longer have been guaranteed. Once again, therefore, a wide variety of drastic measures had to be taken during the ongoing construction work.

Based on additional geological exploratory drilling, the vertical alignment of the tunnel was adjusted. It was flattened out, and excavation moved on from the settlement-sensitive landfill material and reached the talus material earlier. The horizontal alignment was also adjusted with a right-hand curve with the aim of ensuring that the settlement caused by the tunnel excavation had as little influence as possible on the frame structure of the Steglaui tunnel and was limited to the tunnel gallery area. Hydraulic support struts were installed in this cross-section to compensate for any settlement (Fig. 10). In order to be able to guarantee the safety of road users at all times, an extensive and redundant monitoring measurement system was also installed.

Due to the time needed to procure and install the supports, they had to be organised at an early stage. Thanks to the low settlement in the talus material of approximately 10 mm, only 4 mm of settlement had to be effectively compensated for.

Quelle/credit: IG 2G-BN/Leo Neininger

10 *Ersichtlich sind die hydraulischen Stützen in der Galerie für die Kompensation von Setzungen. Der Vortrieb unterquert die Galerie im Bereich der gelben Hebebühne von links nach rechts*

The hydraulic supports in the gallery to compensate for settlements are visible. Excavation passes below the gallery in the area of the yellow lifting platform from left to right

Auffüllungen liegt und nicht im verschwemmten Hangschutt, welcher einen potenziell auswaschbaren Feinanteil aufweist.

Anhand der geologischen Aufnahmen an der Ortsbrust, der Bohrprotokolle der Rohrschirmbohrungen und der Setzungsverläufe der Messpunkte an der Oberfläche konnten die Massnahmen im Vortrieb auf dem letzten Stück des Lockergesteinvortriebs laufend optimiert werden. Direkt hinter der Galerie erreichte der Vortrieb dann wieder kompakten Aare-Granit und der Vortrieb wurde wieder auf Sprengvortrieb umgestellt.

4 Fazit und Schlussbemerkungen

Dank der konstruktiven und zielorientierten Zusammenarbeit aller Projektbeteiligten konnte der Vortrieb erfolgreich abgeschlossen werden. Die Auswirkungen auf das Gesamtprojekt 2TG konnten mit Blick auf die Terminsituation minimiert werden.

Aufgrund der Erfahrungen beim Vortrieb für die Umlegung SISto Nord konnten wertvolle Erkenntnisse für den Vortrieb der zweiten Röhre gewonnen werden. Dieser wird auf den ersten rund 80 m ebenfalls die mit Lockergestein gefüllte Felsmulde durchqueren müssen. Im Hinblick auf diese Arbeiten wurden bereits verschiedene Massnahmen getroffen. Einerseits wird von der Oberfläche aus eine flächendeckende Baugrundverbesserung ausgeführt. Andererseits wurde der Bauablauf so angepasst, dass der Lockergesteinsvortrieb auf der Startstrecke nicht mehr auf dem kritischen Weg des Ge-

Compensating for settlements in the cross-section of the tunnel would have been much more costly. One possibility investigated was uplift grouting with polyurethane foam. Trial grouting was carried out for this purpose, but hardly any lift could be achieved. The reason is probably, once again, the very high proportion of cavities. The swelling of the foam was therefore not able to generate sufficient volume and pressure.

Furthermore, experts also investigated whether the drilling water from the pipe screen boreholes is a factor in causing the settlements. However, an adjustment to flushing with a mixture of compressed air and water showed no influence on the settlement behaviour of the subsoil. Although this adjustment was unsuccessful, it showed that the cause of the settlement was the artificial backfill and not the silted talus material, which has potentially leachable fine content.

On the basis of the geological recordings at the tunnel face, the drilling reports from the pipe screen umbrella drilling and the settlement curves of the measuring points on the surface, it was possible to continuously optimise the auxiliary construction measures on the last section of loose rock excavation. Directly behind the gallery, excavation then reached compact Aare granite again and was switched back to drill and blast.

4 Conclusion and remarks

Thanks to the constructive and goal-oriented cooperation of all project participants, the tunnelling project was success-

samtprojektes liegt. Mit der Umsetzung dieser Massnahmen kann die Terminsicherheit für das Gesamtprojekt massgeblich erhöht werden.

Eine wichtige Erkenntnis ist, dass im setzungsempfindlichen Baugrund der Hauptanteil der Setzungen durch Bauhilfsmassnahmen verursacht wird und nicht unbedingt durch die Ausbrucharbeiten. Für das Verständnis des Baugrundverhaltens ist eine ausgedehnte Überwachung der Oberfläche unabdingbar. Diese ermöglicht dann auch eine frühzeitige Reaktion auf das effektive Verhalten des Baugrundes.

Als zuständiger Losbauleiter für die Umlegung SISto Nord war ich stets hautnah mit dabei und Schnittstelle zwischen Bauherr, Planer und Bauunternehmung. Es war nicht immer einfach, mich als junger Ingenieur gegen die erfahrenen Tunnelbauer zu behaupten. Aber meine gute Ausbildung war eine solide Basis für die zahlreichen Diskussionen. Auch ich konnte meine Ideen und Erkenntnisse einbringen und bei der Bewältigung dieser Herausforderungen massgebend Einfluss nehmen. Der wertvollste Input dürfte die Veranlassung und die Auswertung der Nivellement-Messungen gewesen sein, ohne welche die Setzungsempfindlichkeit des Baugrundes erst zu spät festgestellt worden wäre.

Zu den Aufgaben gehörten die enge Begleitung der Arbeiten vor Ort für den Bauherrn. Dadurch war es möglich, ein gutes Gefühl für den anstehenden Baugrund zu erhalten und die zu treffenden Massnahmen in Zusammenarbeit mit Projektverfasser und Bauunternehmung anzupassen und wo möglich zu optimieren. Ebenfalls zu meinem Verantwortungsbereich gehörte die Bereinigung der finanziellen Aspekte, die durch die oben beschriebenen Ereignisse und Anpassungen entstanden sind. Dies sind alles sehr wertvolle Erfahrungen, die ich für zukünftige Projekte sammeln durfte.

Literatur/References

[1] Wanner, Hans, Franz Feller, and Toni R. Schneider. Geologischer Schlussbericht: Gotthard-Strassentunnel. Zusammenfasung. Bern: Komm Kümmerly & Frey, 1987

[2] Garin, Etienne. Erfahrungen beim Vortrieb des Evouettes-Tunnels unter dem Siedlungsgebiet – Beherrschung der Setzungen, Präsentation Kolloquium ETH, https://ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/baug/igt/tunneling-dam/kolloquien/2022/Evouettes%20Tunnel_Tunnelbau%20Kolloquium%20ETHZ%2001.12.2022.pdf; 23.02.2023

fully completed. The impact on the overall 2GT project was minimised in view of the scheduled deadline.

Based on the experience gained during tunnelling for the SISto North relocation, valuable knowledge was gained for tunnelling the second tube. It will also have to cross the rock basin filled with loose rock for the first around 80 m. Various measures have already been taken in preparation for this work. On the one hand, an area-wide subsoil stabilisation measure is being carried out from the surface.

On the other hand, the construction sequence was adapted in such a way that the loose rock excavation on the starting section is no longer situated on the critical path of the overall project. With the implementation of these measures, deadline reliability for the entire project can be significantly increased.

An important finding is that in settlement-sensitive ground, the majority of settlements are caused by auxiliary construction measures and not necessarily by the excavation work. Extensive monitoring of the surface is indispensable for understanding the subsoil's behaviour. This then also enables early response to the actual behaviour of the subsoil.

As the lot construction manager responsible for the relocation of SISto North, I was always up close and personal to the project and was the liaison between the client, the planner and the construction company. It was not always easy for me as a young engineer to stand my ground against experienced tunnellers. But my good education was a solid basis for the numerous discussions I had. I was also able to contribute my ideas and insights and have a significant influence in overcoming these challenges. The most valuable input was probably the initiation and evaluation of the levelling measurements, without which the susceptibility of the ground to settle would have been determined too late.

The tasks included closely monitoring the work on site for the client. This made it possible to get a good feeling for the soil and to adapt and optimise the measures to be taken in cooperation with the planner and the construction company. I was also responsible for processing the financial aspects that arose from the events and adjustments described above. These are all very valuable experiences that I was able to gain for future projects.

PROJEKTDATEN

Region
Uri, Schweiz

Bauherr, Projekt- und Oberbauleitung
Bundesamt für Strassen (ASTRA), Filiale Bellinzona

Planung
IG Nuovo Gottardo (Lombardi SA, B+S AG, ILF Beratende Ingenieure AG, Emch und Berger AG Bern)

Geologie
Aare-Granit, Hang- und Blockschutt, künstliche Auffüllungen (Deponie)

Bauleitung
IG 2G-BN (IUB Engineering AG, Gähler und Partner AG, Basler & Hofmann AG, IM Maggia Engineering SA, Studio Ingegneria Sciarini SA)

Ausführung Los 242 – Umlegung SISto Nord
Implenia Schweiz AG

Kenndaten
Bauzeit: 2 Jahre (Los 242 – Umlegung SISto Nord)/9 Jahre (2TG)

Inbetriebnahme: 2023 (Los 242 – Umlegung SISto Nord)/2029 (2TG)

Baukosten Tunnel: CHF 17 Mio. (Los 242 – Umlegung SISto Nord)/CHF 2.14 Mrd. (2TG)

Gesamtlänge: 420 m (Los 242 – Umlegung SISto Nord)/16.9 km (2TG)

Ausbruchquerschnitt: 19 m² (SPV), 28–51 m² (MUL), 78 m² (Anbindekaverne)

Besondere Merkmale
Rohrschirmvortrieb im setzungsempfindlichen Baugrund; Sanduhreffekt im Rohrschirm mit Tagbruch; oberflächennaher Tunnel; Sprengvortrieb im Nahbereich von Bestandsbauten

PROJECT DATA

Region
Uri, Switzerland

Client, project and superstructure management
Federal Roads Office (FEDRO), Bellinzona Branch

Planning
IG Nuovo Gottardo (Lombardi SA, B+S AG, ILF Beratende Ingenieure AG, Emch und Berger AG Bern)

Geology
Aare granite, talus and blocky rock, artificial backfills (landfills)

Construction management
IG 2G-BN (IUB Engineering AG, Gähler und Partner AG, Basler & Hofmann AG, IM Maggia Engineering SA, Studio Ingegneria Sciarini SA)

Implementation of lot 242 – Relocating SISto North
Implenia Schweiz AG

Key dates
Construction time: 2 years (Lot 242 – Relocating SISto North)/9 Years (2GT)

Commissioning: 2023 (Lot 242 – Relocating SISto North)/2029 (2GT)

Tunnel construction costs: CHF 17 million (Lot 242 – Relocating SISto North)/CHF 2.14 billion (2GT)

Total length: 420 m (Lot 242 – Relocating SISto North)/16.9 km (2GT)

Excavation cross-section: 19 m² (SPV), 28–51 m² (MUL), 78 m² (Junction cavern)

Special characteristics
Pipe screen excavation in settlement-sensitive soil; hourglass effect in the pipe screen with cave-ins; near-surface tunnelling; blasting in the vicinity of existing structures

Biaggio, Guido	Bundesamt für Strassen ASTRA, Ittigen
Biasiutti, Gianni	Grimselbahn AG, Innertkirchen
Bircher, Beat	Basler & Hofmann AG, Esslingen
Böheim, Sebastian	ILF Beratende Ingenieure AG, Zürich
Ewason, Sarah	AFRY Schweiz AG, Zürich
Ferrari, Alessandro	B+S AG, Bern
González Fernández, Guadalupe	Lombardi SA, Bellinzona-Giubiasco
Heid, Thomas	Marti Tunnel AG, Moosseedorf
Inniger, Markus	Emch + Berger AG, Bern
Jungo, Nicolas	B+S AG, Bern
Kocherhans, Richard	ASTRA, Zofingen
Neininger, Leo	Gähler und Partner AG, Ennetbaden
Pignat, François	Tunnel du Grand-Saint-Bernard SA, Bourg-Saint-Pierre
Reber, Thomas	Lombardi SA, Bellinzona-Giubiasco
Sigrist, Christoph	F. Preisig AG, Zürich
Salzmann, Daniel	SBB, Infrastruktur, Zürich
Schackenberg, Götz	Bundesamt für Strassen ASTRA, Zofingen
Seewer, Ulrich	Bundesamt für Raumentwicklung ARE, Bern
Shanmugaratnam, Luxshan	Lienhard + Cie AG, Zürich
Stauch, Felix	Implenia AG, Opfikon
Tschabold, Reto	BLS Netz AG, Frutigen
Zimmermann, Annika	AFRY Schweiz AG, Zürich

Hauptsponsoren • Main Sponsors

AMBERG GROUP

50 AMBERG GROUP CONGRATULATES STS ON ITS 50TH ANNIVERSARY

CONTRIBUTING TO A SMART USE OF SPACE

The optimized use of above-ground and underground spaces is a key success factor in today's tunnelling projects. The Amberg Group provides a unique combination of knowledge, technology and logistics for the efficient and cost-effective construction of infrastructures.

Products and services of the Amberg Group cover the entire life cycle of the infrastructures and all engineering and technology aspects in a digitalized manner.

www.amberggroup.com

Immer zur Stelle – mit dem dichtesten Servicenetz der Schweiz.

Sandvik Tunnelbaugeräte von Avesco setzen Massstäbe. Das flächendeckende Netz unserer Servictechniker 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

SANDVIK

avesco TEC

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

Unser Einsatz. Ihre Entlastung.

Bellini Personal AG
Zugerstrasse 76
6340 Baar

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

bellini®
Vermittelt Baufachkräfte.

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

360°
ZUVERLÄSSIGKEIT

wsp BG

DIE NATUR IST UNSER VORBILD, DAS VERNETZTE DENKEN UNSERE STÄRKE.

www.bg-21.com

BG Ingenieure und Berater

INGENIOUS SOLUTIONS

TUNNELING
CIVIL ENGINEERING
BUILDINGS
DATA CENTERS
+300KM
OF TUNNELS BORED
csc
webuild group
OPERATING IN SWITZERLAND FOR 60 YEARS, CSC COSTRUZIONI SA
IS SPECIALIZED IN LARGE-SCALE CIVIL ENGINEERING,
TOTAL CONTRACTING AND CONSTRUCTION, WITH INTERESTS
AND EXPERTISE WITHIN THE INTERNATIONAL FIELD.

Emch+
Berger
N2 Belchentunnel
Gesamtlösungen
sind unser Plus.
Planung, Beratung und Management seit 1953.
Mit 800 Mitarbeitenden an 30 Standorten sind
wir national und international präsent und nahe
bei unseren Kunden.
www.emchberger.ch

GÄHLER PARTNER
INTEGRIERTE BAUPLANUNG

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

FELS TECH NIK Gasser

Zusammen versetzen wir Berge.

Als Spezialunternehmung in der Felstechnik sorgen wir für die Sicherheit und Beständigkeit von Infrastruktur und Bauwerken.

felstechnik.ch

Gasser Felstechnik AG
Untertag ▪ Felssicherung
Sprengbetriebe ▪ Spezialtiefbau ▪ Bauservice

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

holcimpartner.ch

HOLCIM

Implenia

EXPERTISE
FÜR KOMPLEXE
INFRASTRUKTUR

ZURÜCK AM
GOTTHARD!

INFRA TUNNEL

Infra Tunnel SA
Travaux souterrains
et génie civil spécialisé

Infra Tunnel SA
Rue de la Gare 15c
CH-2074 Marin
+41 (0)32 753 74 74
https://www.infratunnel.ch/
secretariat@infratunnel.ch

Ingenieurskunst – unsere Leidenschaft

Gesamtlösungen für Energie, Infrastruktur und Umwelt.

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

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

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

IM Engineering | IUB Engineering

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 Tunnel AG

MARTI BAUT

Marti verfügt in sämtlichen Sparten des Tunnelbaus über qualifizierte und erfahrene Mitarbeitende. Der hochmoderne Maschinenpark beinhaltet u.a. Teilschnittmaschinen, Bohrjumbos und Tunnelbohrmaschinen mit verschiedenen Durchmessern.

Marti Tunnel AG
Seedorffeldstrasse 21 CH-3302 Moosseedorf
Tel. +41 31 388 75 10 tunnel@martiag.ch www.marti-tunnel.ch

MASTER® BUILDERS SOLUTIONS

MasterRoc MSL 345

Damit Sie im Tunnel keinen Regenschirm brauchen!

Master Builders Solutions Schweiz AG
Im Schachen, 5113 Holderbank
T +41 58 958 22 44
info-as.ch@masterbuilders.com
www.master-builders-solutions.ch

PINI

Tailormade engineering

Dank unserer Erfahrung mit Grossprojekten in Europa und hunderten Tunnelkilometern in der Schweiz und weltweit bezeichnen wir heute den Untertagebau als die Seele unseres Unternehmens.

More on our Linkedin profile

#pinigroup
#smartengineering
#joinus

TARCHINI
CANTIERI & CONTRATTI

Die Spezialisten der Baustellenleitungen
und des Vertragswesens

Gli specialisti della conduzione di cantieri
e della contrattualistica

Experts in construction site management
and in the field of contracts

Ausschreibungen, Werkverträge, Realisierungen

Appalti, contratti di appalto, esecuzione

Tendering, special-order contract, implementation

www.tar.ch
Via Montarina 19 - 6900 Lugano CH

KOMPETENZ IM BERG- UND TUNNELBAU

Mit Produkten der Marken
Epiroc und Putzmeister

BOHREN UND SPRENGEN

MISCHEN UND TRANSPORTIEREN

PUMPEN UND BEFÜLLEN

SPRITZEN UND VERTEILEN

Robert Aebi

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

Epiroc

Putzmeister

Schneller, sicherer und wirtschaftlicher bauen

rowa TUNNELLING LOGISTICS

SNOWY 2.0 (Australien) - 3 Förderbandanlagen zur Erweiterung des Pumpspeicherwerkes in den Snowy Mountains
www.rowa-ag.ch

Wir freuen uns auf Sie am Swiss Tunnel Congress im KKL Luzern 12. – 13. Juni 2023

INNOVATIVE TUNNEL-LÖSUNGEN FÜR GENERATIONEN

FÜR DEN TUNNELBAU BRAUCHT ES DIE PROFIS **– BEYOND THE EXPECTED**

Mit der erfolgreichen Abdichtung des Gotthard-tunnels schrieb Sika Geschichte. Das Spezial-wissen für professionelle Lösungen im Tunnel-bau wird seither stetig weiterentwickelt, um die Verkehrsinfrastruktur unter Tag zu optimie-ren und langfristig zu sichern.

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

www.sika.ch

BUILDING TRUST

Sika®

SWISS TUNNEL CONGRESS 2023

Fachtagung für Untertagbau

ISBN 978-3-033-09964-7

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