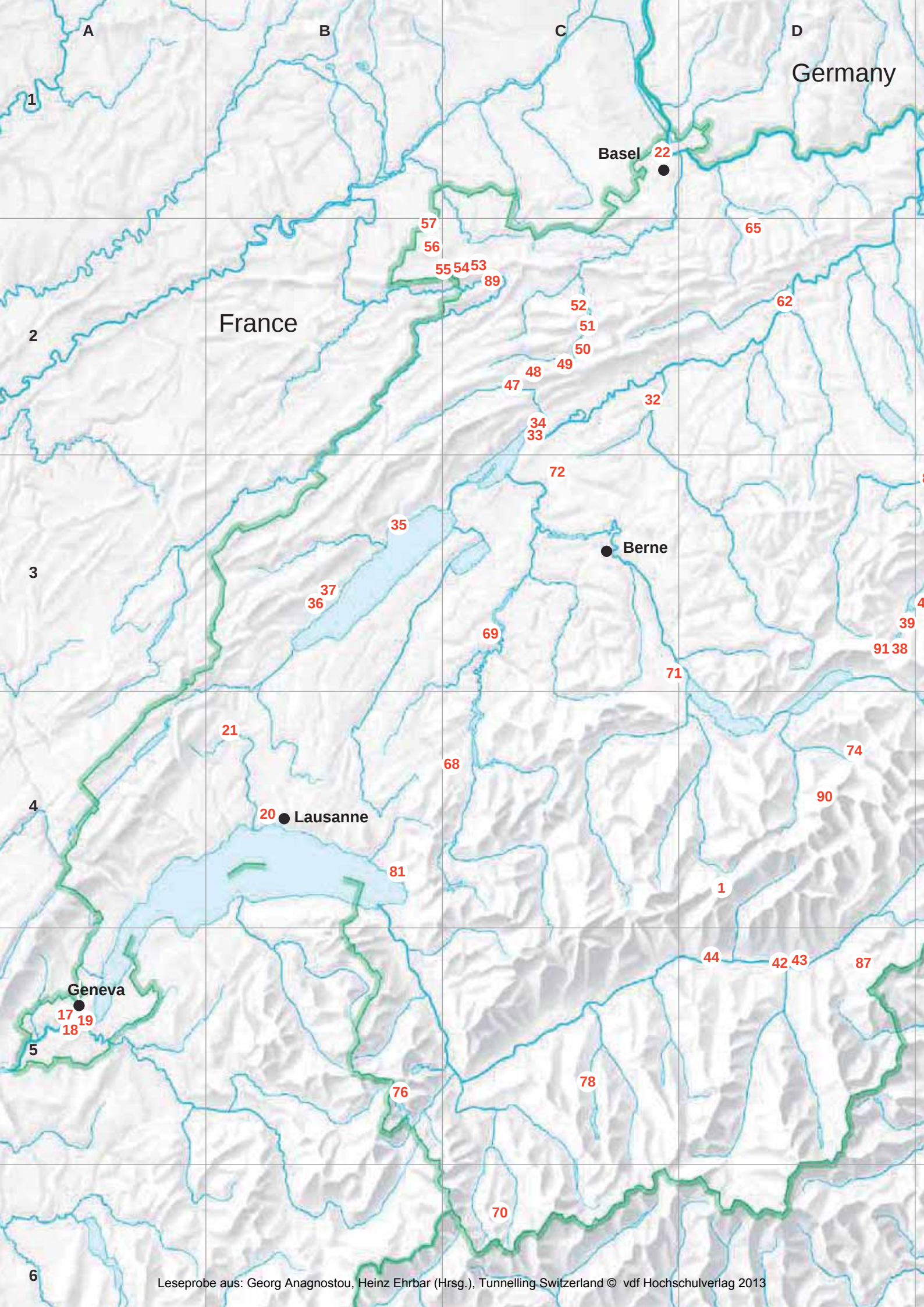
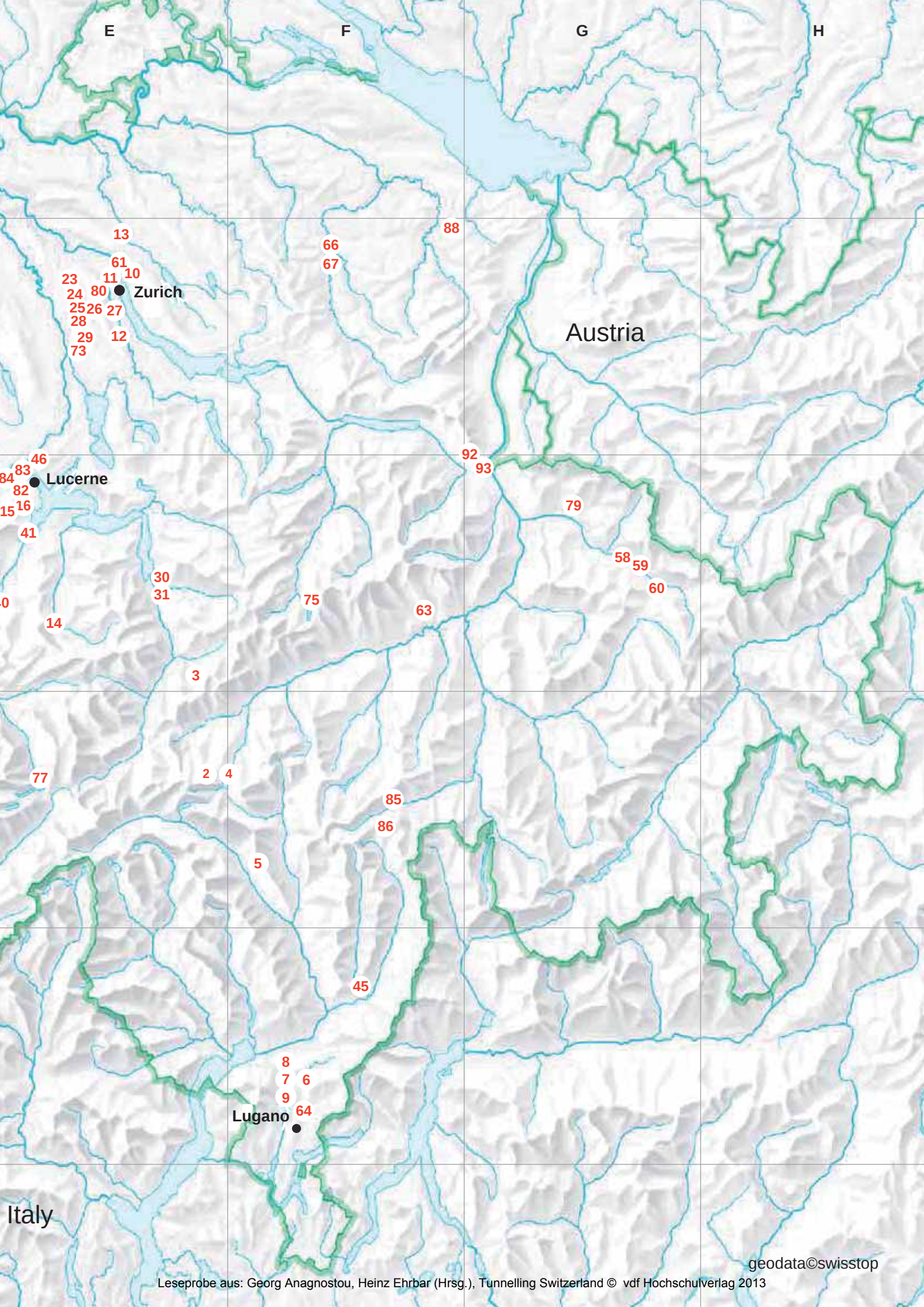


# TUNNELLING

## SWITZERLAND







|    |      |                                                           |
|----|------|-----------------------------------------------------------|
| 1  | D4   | Lötschberg Base Tunnel                                    |
| 2  | E4   | Gotthard Base Tunnel                                      |
| 3  | E3   | North Part of Gotthard Base Tunnel                        |
| 4  | E/F4 | Middle Part of Gotthard Base Tunnel                       |
| 5  | F4   | South Part of Gotthard Base Tunnel                        |
| 6  | F5   | Ceneri Base Tunnel                                        |
| 7  | F5   | Ceneri Base Tunnel – Main Contract Section                |
| 8  | F5   | Ceneri Base Tunnel – North Portal                         |
| 9  | F5   | Ceneri Base Tunnel – Reverse Drive at Southern Portal     |
| 10 | E2   | Weinberg Tunnel                                           |
| 11 | E2   | Zurich Main Station Underpass                             |
| 12 | E2   | Zimmerberg Base Tunnel                                    |
| 13 | E2   | PTS Tunnel at Zurich Airport                              |
| 14 | E3   | Engelberg Tunnel                                          |
| 15 | E3   | Hubelmatt Tunnel                                          |
| 16 | E3   | Allmend Tunnel                                            |
| 17 | A5   | CEVA                                                      |
| 18 | A5   | Pinchat Tunnel                                            |
| 19 | A5   | Champel Tunnel                                            |
| 20 | B4   | The Lausanne Metro m2                                     |
| 21 | B4   | Mormont Tunnels                                           |
| 22 | C1   | Luzernerring Tunnel                                       |
| 23 | E2   | Eggrain Tunnel                                            |
| 24 | E2   | Hafnerberg Tunnel                                         |
| 25 | E2   | Aesch Tunnel                                              |
| 26 | E2   | Uetliberg Tunnel                                          |
| 27 | E2   | Covered Section Entlisberg                                |
| 28 | E2   | Islisberg Tunnel                                          |
| 29 | E2   | Covered Sections Rüteli and Eigi                          |
| 30 | E3   | Flüelen Tunnel                                            |
| 31 | E3   | Safety Tunnel for Flüelen Tunnel                          |
| 32 | C2   | Birchi Tunnel                                             |
| 33 | C2   | Längholz Tunnel                                           |
| 34 | C2   | Büttenberg Tunnel                                         |
| 35 | B3   | Serrières Tunnel                                          |
| 36 | B3   | Concise Tunnel                                            |
| 37 | B3   | Lance Tunnel                                              |
| 38 | D3   | Lungern Tunnel                                            |
| 39 | D3   | Giswil Tunnel                                             |
| 40 | E3   | Sachsln Tunnel                                            |
| 41 | E3   | Kirchenwald Tunnel                                        |
| 42 | D5   | Visp Southern Bypass                                      |
| 43 | D5   | Eyholz Tunnel                                             |
| 44 | D5   | Covered Section Turtmann                                  |
| 45 | F5   | San Fedele Tunnel                                         |
| 46 | E3   | Buchrain Tunnel                                           |
| 47 | C2   | Sous le Mont Tunnel                                       |
| 48 | C2   | Gorges Tunnel                                             |
| 49 | C2   | Graitery Tunnel                                           |
| 50 | C2   | Moutier Tunnel                                            |
| 51 | C2   | Raimeux Tunnel                                            |
| 52 | C2   | Choindez Tunnel                                           |
| 53 | C2   | Perche Tunnel                                             |
| 54 | C2   | Banné Tunnel                                              |
| 55 | B/C2 | Montaigre Tunnel                                          |
| 56 | B2   | Bure Tunnel                                               |
| 57 | B2   | Neu-Bois Tunnel                                           |
| 58 | G3   | Küblis Tunnel                                             |
| 59 | G3   | Saas Tunnel                                               |
| 60 | G3   | Gotschna Tunnel                                           |
| 61 | E2   | Safety Gallery for Milchbuck Tunnel                       |
| 62 | D2   | Hausmatt Tunnel                                           |
| 63 | F3   | Flimserstein / Prau Pulté Tunnels                         |
| 64 | F5   | Vedeggio-Cassarate Tunnel                                 |
| 65 | D2   | Chienberg Tunnel                                          |
| 66 | F2   | Wihalden Tunnel                                           |
| 67 | F2   | Rotwald Tunnel                                            |
| 68 | C4   | Sous la Trême Tunnel                                      |
| 69 | C3   | Palatinat Tunnel                                          |
| 70 | C6   | Great St Bernard Tunnel                                   |
| 71 | C3   | Flood Relief Tunnel Lake of Thun                          |
| 72 | C3   | Flood Relief Tunnel Lyss                                  |
| 73 | E2   | Bäckental Gallery                                         |
| 74 | D4   | Drainage Tunnel for the Glacial Lake Grindelwald          |
| 75 | F3   | Pumped-Storage Plant Limmern                              |
| 76 | B5   | Pumped-Storage Plant Nant de Drance                       |
| 77 | E4   | Extension of the Grimsel Hydro-electric Power Plants      |
| 78 | C5   | Cleuson-Dixence                                           |
| 79 | G3   | Hydro-power Plant Taschinas                               |
| 80 | E2   | Uetliberg Water Supply Tunnel                             |
| 81 | B4   | Rehabilitation of the Glion tunnels                       |
| 82 | E3   | Sonnenberg Tunnel                                         |
| 83 | E3   | Reussport Tunnel                                          |
| 84 | E3   | New Service Tunnels in Lucerne                            |
| 85 | F4   | Cassanawald Tunnel                                        |
| 86 | F4   | Rehabilitation of San Bernardino Tunnel                   |
| 87 | D5   | Simplon Tunnel                                            |
| 88 | F2   | Bruggwald Tunnel                                          |
| 89 | C2   | The Mont Terri Rock Laboratory                            |
| 90 | D4   | Jungfraujoeh – Top of Europe                              |
| 91 | D3   | Tunnel practice facility for training the rescue services |
| 92 | G2/3 | Hagerbach Test Gallery                                    |
| 93 | G3   | Waferfab Sargans                                          |

# Contents

|                                                                                   |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Foreword<br>Doris Leuthard, Member of the Swiss Federal Council                   | 6   |
| Foreword<br>Martin Bosshard, President of the Swiss Tunnelling Society STS        | 8   |
| Swiss underground construction and tunnel codes<br>Georg Anagnostou, Heinz Ehrbar | 10  |
| Statistics of Swiss Tunnels and Galleries<br>Heinz Ehrbar                         | 42  |
| Base Tunnels of Alptransit                                                        | 49  |
| Railway Tunnels                                                                   | 89  |
| Road Tunnels                                                                      | 155 |
| Flood Relief Tunnels and Galleries                                                | 375 |
| Hydroelectric Power Plants and Water Supply Tunnels                               | 393 |
| Rehabilitation of Tunnels                                                         | 427 |
| Utility Tunnels and Caverns                                                       | 461 |
| List of Projects & Authors                                                        | 479 |
| Sponsors                                                                          | 485 |

## Vorwort von Frau Bundesrätin Doris Leuthard



Tunnelbauer sind stolz. Tunnelbauer sind Pioniere. Tunnelbauer gehören zu den letzten Abenteurern der modernen Berufswelt.

Das war schon so, als 1707 der Tessiner Pietro Moretti mit Schwarzpulver den ersten Tunnel im Alpenraum sprengte. Mit dem «Urnerloch» sorgten Tunnelbauer schon damals für Aufsehen. Und sie veränderten die Welt.

Die Schweiz ist das Tunnelland par excellence: Die schwierige Topografie mit einem grossen Gebirgsanteil, der hohe Grad an Mobilität und die Idee, qualitativ gute Infrastrukturen als Service Public für alle Landesteile zur Verfügung zu stellen, prägen. So sind in der Schweiz rund 1300 Tunnel und Stollen entstanden. Die Gesamtlänge der Verkehrstunnel und Wasserstollen beträgt rund 2000 Kilometer. Und der Tunnelbau ist in der Schweiz noch längst nicht Geschichte. Er hat eine Zukunft.

Heute schreiben Tunnelbauer wieder Geschichte und bauen den längsten Bahntunnel der Welt. Mit der Neuen Eisenbahn-Alpentransversalen (NEAT) am Gotthard beweisen sie einmal mehr ihre Leistungsfähigkeit und Kompetenz: Ein Bauwerk der Superlative entsteht. Als Teil des strategischen Bahnkorridors von Rotterdam nach Genua wird der NEAT-Tunnel zum wichtigen Bindeglied im europäischen Nord-Süd-Transit. Desgleichen gilt für den Gotthard-Strassentunnel. Wobei es bei diesem Bauwerk nicht um eine Kapazitätserweiterung, sondern um die Erhöhung der Sicherheit geht.

Höchstleistungen werden von Tunnelbauern nicht nur bei der Arbeit im Berg abverlangt. Tunnels müssen immer mehr energieeffizient betrieben werden. Beispielhaft dafür ist der A8-Umfahrungstunnel bei Lungern im Kanton Obwalden. Ein kurzer Tunnel von nur gerade 3,5 Kilometern Länge, der aber erstmals mit LED-Technologie ausgeleuchtet wird und damit den Stromverbrauch von 130 Haushalten einspart.

Tunnelbauer – vom Ingenieur über den Zeichner, Geologen, Elektroniker bis hin zum Maschinenführer oder Mineur – überwinden Grenzen, verbinden Kulturen und verändern so unser Land. Auf sie alle kommt es an. Ihnen allen gehört unser Respekt und unsere Wertschätzung.

## Foreword by Doris Leuthard, Member of the Swiss Federal Council

Tunnel engineers are proud people; they are also pioneers. Tunnel engineers are among the last adventurers of the modern world of professionals. This was already true when in 1707 Pietro Moretti of Ticino blasted the first tunnel in the Alps, the "Urnerloch", using gunpowder. At the that time the tunnel engineers caused a sensation and they went on to change the world.

Switzerland is the tunnelling land par excellence, characterised by difficult, mountainous topography, a high degree of mobility and the idea of providing high quality infrastructure as a public service for all parts of the country. Around 1300 tunnels and galleries have therefore been constructed. The total length of the traffic and water tunnels is around 2000 km. And tunnelling in Switzerland is by no means at an end. It has a future.

Today tunnel engineers are again making history by constructing the longest railway tunnel in the world. The new rail link through the Alps (NRLA) at the Gotthard is further proof of their ability and skill: A monumental structure is coming into existence. As part of the strategic rail corridor from Rotterdam to Genoa, the NRLA will serve as an important link in European north-south transit. The same is also true of the Gotthard road tunnel, but that structure is not intended to increase capacity, but improve safety.

Top performance is not only required of tunnel engineers with their work underground. Tunnels increasingly have to be energy efficient. The A8 motorway bypass tunnel near Lungern in canton Obwalden is a prime example. It is only a short tunnel 3.5 km in length, but for the first time ever, the lighting is based on LED technology and will thereby save electric power consumption equivalent to that of 130 households.

Those involved in the tunnelling process – from the engineer to the draughtsmen, geologists, electronic engineers up to the machine operators and miners – overcome barriers, connect cultures and in this way shape our country. We depend on each one of them. Therefore, they all deserve our respect and appreciation.

## Préface de Madame la Conseillère fédérale Doris Leuthard

Les constructeurs de tunnels sont fiers. Pionniers, ils comptent parmi les derniers aventuriers du monde moderne du travail. L'aventure a commencé en 1707, lorsque le tessinois Pietro Moretti a percé le premier tunnel de l'Arc alpin à la poudre noire. A l'époque, les constructeurs de tunnels faisaient déjà sensation avec le Trou d'Uri. C'est ainsi qu'ils ont changé le monde.

La Suisse est considérée comme le pays des tunnels par excellence: elle est caractérisée par une topographie difficile et particulièrement montagneuse, par un degré de mobilité élevé et par des infrastructures de service public de bonne qualité dans toutes les régions du pays. En Suisse, environ 1300 tunnels et galeries ont déjà été construits. La longueur totale des tunnels routiers et ferroviaires ainsi que des galeries d'eau s'élève à environ 2000 kilomètres. La construction de tunnels a donc un bel avenir devant elle.

Aujourd'hui, les constructeurs de tunnels écrivent à nouveau l'histoire en perçant le plus long tunnel ferroviaire du monde. Avec la nouvelle ligne ferroviaire à travers les Alpes (NLFA) au Gothard, ils peuvent à nouveau démontrer leur capacité et leur savoir-faire: un ouvrage de tous les superlatifs est en train de voir le jour.

Faisant partie intégrante du corridor ferroviaire stratégique reliant Rotterdam à Gênes, le tunnel NLFA est un lien important sur l'axe de transit européen nord-sud. Ceci vaut également pour le tunnel routier du Gothard. En ce qui concerne cet ouvrage, il ne s'agit cependant pas d'accroître la capacité mais d'augmenter la sécurité du tunnel.

Les constructeurs de tunnels doivent réaliser des performances de pointe, non seulement dans les entrailles de la montagne. Les tunnels doivent aussi être exploités avec une grande efficacité énergétique. C'est le cas notamment du tunnel de contournement A8 à Lungern dans le canton d'Obwald. Ce tunnel d'une longueur de seulement 3,5 kilomètres, éclairé pour la première fois par la technologie LED, permet d'économiser l'équivalent de la consommation électrique de 130 ménages.

Les constructeurs de tunnels – ingénieurs, dessinateurs, géologues, électroniciens, conducteurs de machines de chantier ou mineurs – dépassent les limites, relient les cultures et modifient ainsi notre pays. Tous jouent un rôle déterminant et méritent donc notre reconnaissance et notre estime.

## Prefazione della Consigliera federale Doris Leuthard

I costruttori di gallerie sono persone fiere, animate da forte spirito pionieristico; sono gli ultimi avventurieri del moderno mondo del lavoro. Fu così già nel 1707 quando il ticinese Pietro Moretti, utilizzando la polvere nera, diede il via al brillamento della prima galleria nell'arco alpino. Con il cosiddetto «foro di Uri», a quei tempi i costruttori di gallerie destarono meraviglia, e cambiarono il mondo.

La morfologia del nostro territorio caratterizzato da numerose montagne, l'elevato grado di mobilità e l'alta qualità infrastrutturale del trasporto pubblico offerto in ogni regione fanno della Svizzera un Paese di gallerie per eccellenza. Attualmente sul nostro territorio si contano circa 1300 gallerie e cunicoli. La lunghezza totale delle gallerie stradali, ferroviarie e idriche è pari a circa 2000 chilometri. Ciononostante la costruzione di gallerie è ben lungi dall'essere conclusa e continuerà anche in futuro.

Oggi, con la realizzazione del tunnel ferroviario più lungo del mondo, i costruttori di gallerie fanno ancora una volta parlare di sé. La Nuova ferrovia transalpina (AlpTransit) attraverso il massiccio del San Gottardo è un'opera imponente, una prestazione eccelsa che testimonia delle grandi competenze dei suoi costruttori. Il tunnel sarà parte del corridoio strategico che collega Rotterdam a Genova sulla rotaia, costituendo l'anello di congiunzione più importante sull'asse di transito nord-sud attraverso l'Europa. Lo stesso dicasi per la costruzione del nuovo traforo autostradale del San Gottardo, che avrà il pregio di aumentare la sicurezza della circolazione senza portare a un incremento delle capacità.

Ai costruttori di gallerie non vengono chieste soluzioni di eccellenza solo per il lavoro che svolgono sotto le falde della montagna. Le gallerie devono anche essere gestite in modo sempre più efficiente sotto il profilo energetico. Ne è un esempio il tunnel di aggiramento A8 del villaggio di Lungern nel Canton Obvaldo. Un'opera di soli 3,5 chilometri, illuminata per la prima volta mediante la tecnologia LED, che consente un risparmio di energia elettrica pari al consumo di 130 economie domestiche.

I costruttori di gallerie, tra cui si annoverano ingegneri, disegnatori, geologi, elettrotecnici, operai e minatori, superano barriere e uniscono culture, trasformando così il nostro Paese. A loro dobbiamo molto. A loro vanno la nostra stima e gratitudine. ■

## Vorwort von Martin Bosshard, Präsident der Fachgruppe für Untertagbau (FGU)



Die Schweizer Tunnelbauindustrie hat eine lange, erfolgreiche und ununterbrochene Tradition. Heutzutage können wir stolz sein, Teil und Zeuge einer Ära besonders grosser und bedeutungsvoller Infrastrukturprojekte zu sein, die kürzlich in Betrieb genommen wurden oder sich in Planung und Ausführung befinden. Es sind dies unter anderem die Basistunnels am Gotthard, Lötschberg und Ceneri, die Durchmesserlinie in Zürich, die Westumfahrung von Zürich oder das Pumpspeicherwerk Nant de Drance.

Um solche Projekte zu realisieren, bedarf es nicht nur der Tradition, sondern auch des Willens sowie der Verpflichtung unseres Landes zur fundierten Aus- und dauernden Weiterbildung und damit der Pflege unseres technischen Know-hows. So wird aus Tradition Zukunft.

Die Basis für die erfolgreiche Abwicklung von Grossprojekten ist die Zusammenarbeit der Zweckgemeinschaft Bauherr – Projektant/Bauleiter – ausführender Unternehmer. Unsere gepflegte Philosophie der lösungsorientierten Zusammenarbeit verschafft uns Anerkennung im In- und Ausland. Lasst uns Sorge tragen dazu!

Mit der internationalen Anerkennung der Leistungen der Schweizer Tunnelbauindustrie geht die Internationalisierung des Tunnelbaus einher. Der World Tunnel Congress 2013 in Genf bietet eine Plattform, die erreichten Leistungen zu präsentieren und das mit den Projekten gewonnene Know-how auch international zur Verfügung zu stellen.

Die Ausgabe 2013 von «Tunnelling Switzerland» stellt die grossartigen Errungenschaften der letzten 15 Jahre auf allen Gebieten des Untertagbaus (Strassentunnel, Eisenbahntunnel, Kraftwerksanlagen, Hochwasserschutz, Leitungstunnel etc.) anhand von mehr als 90 Projekten dar und kann das Wissen somit in die Welt hinaus tragen. Dieses Werk soll eine umfassende Dokumentation des Schweizer Tunnelbaus, ein wichtiges Referenzwerk für alle Tunnelbauer und durch die Abgabe an die Teilnehmer des World Tunnel Congress auch Botschafter für die internationale Tunnelbaugemeinschaft sein.

Die Fachgruppe für Untertagbau (FGU) möchte als Herausgeber dieses Werks all jenen danken, die zum Gelingen beigetragen haben: den Autoren, den Editoren und den Sponsoren. Herzlichen Dank auch an Prof. Kalman Kovári und Prof. François Descoeurdes, die das erfolgreiche Konzept von «Tunnelling Switzerland» als Editoren der ersten Ausgabe im Jahr 2001 entwickelt haben.

## Foreword by Martin Bosshard, president of the Swiss Tunnelling Society STS

The Swiss tunnel construction industry can look back on a long unbroken and successful tradition. Nowadays we are proud of the part played by Switzerland and its witness to an era of very large and significant infrastructure projects, which either recently became operational or are presently in the design and execution phases. Among others, these are the Gotthard, Lötschberg and Ceneri base tunnels, the Zurich Cross Rail, the Zurich Western Bypass or the pump storage scheme Nante de Drance.

In order to realise such projects, it needs not only tradition, but also the will and the commitment of our country to provide a thorough education with its continuing support of further education in order in this way to maintain our technical know-how. Thus out of tradition a future has arisen.

A further basic factor for the successful development of large projects: The cooperation between the partnership Owner – Project Engineer – Contractor. Our cherished philosophy of solution-oriented cooperation creates recognition both at home and abroad. Let us take good care of it!

Along with the international recognition of the performance of the Swiss tunnelling industry goes the internationalisation of tunnel construction. The World Tunnel Congress 2013 in Geneva offers a platform to show the achievements and the know-how gained from these big projects and also to make them available in an international context.

The edition 2013 “Tunnelling Switzerland” presents the outstanding achievements of the last 15 years in all areas of underground construction (road and rail tunnels, hydroelectric power stations, flood protection, galleries, etc.) with examples from more than 90 projects and it will make them known to the world. This book should serve as a comprehensive documentation of Swiss tunnel construction, as an important reference work for all tunnelling engineers and by passing it on to the participants of the World Tunnel Congress it will act as an ambassador for the international tunnelling community.

The Swiss Tunnelling Society (STS), publisher of this volume, wishes to thank all those who have contributed to the success: the authors, the editors and sponsors. Many thanks also to Prof. Kalman Kovári and Prof. François Descoeurdes, who developed the successful concept of “Tunnelling Switzerland” as editors of the first edition in 2001.

## **Préface de Martin Bosshard, président du Groupe spécialisé pour les travaux souterrains GTS**

L'industrie suisse des tunnels a une longue tradition ininterrompue de succès. De nos jours, nous pouvons être fiers de participer à une ère de grands projets d'infrastructures particulièrement significatives, tant des ouvrages qui ont été mis en service récemment que de ceux qui sont en phase de conception ou d'exécution. Ce sont entre autres les tunnels de base du Saint-Gothard, du Lötschberg et du Ceneri, la ligne diamétrale à Zurich, le contournement ouest de Zurich ou la centrale électrique à accumulation par pompage Nant de Drance.

La réalisation de tels projets nécessite non seulement la tradition, mais aussi la volonté et l'engagement de notre pays de favoriser l'éducation et la formation continue de façon à maintenir notre savoir-faire technique. C'est ainsi que de la tradition peut naître l'avenir.

La collaboration entre la communauté d'intérêts, maître d'ouvrage – projet et direction des travaux – entreprises exécutantes est la base d'une exécution réussie de projets de grande envergure. Nous cultivons une philosophie, orientée vers des solutions collaboratives, qui est reconnue dans notre pays et à l'étranger. Prenons-en soin!

La reconnaissance internationale des réalisations de l'industrie suisse des tunnels entraîne l'internationalisation de la construction des tunnels. Le Congrès mondial des tunnels 2013 à Genève offre une plateforme internationale qui permet de présenter les performances atteintes et le savoir-faire acquis par la mise en œuvre des projets.

L'édition du livre «Tunnelling Switzerland» de 2013 expose les réalisations grandioses des 15 dernières années dans tous les domaines des travaux souterrains (tunnels routiers, tunnels ferroviaires, galeries techniques, etc.) en se basant sur 90 projets. C'est ainsi qu'il est possible de transmettre les connaissances au monde entier. Cette œuvre est une documentation complète sur la construction suisse de tunnels, une référence importante pour tous les constructeurs de tunnel. Sa distribution aux participants du Congrès mondial des tunnels en fait une ambassadrice pour la communauté internationale des tunnels.

L'association Suisse de les travaux souterrains (STS), tient à remercier, en tant qu'éditeur de cet ouvrage, tous ceux qui ont contribué à sa réussite: les auteurs, les éditeurs et les sponsors. Un grand merci aussi aux professeurs Kalman Kovári et François Descoeurdes, qui ont réussi, comme éditeurs de la première édition en 2001, à développer avec beaucoup de succès le concept du livre «Tunnelling Switzerland».

## **Prefazione di Martin Bosshard, presidente del gruppo specializzato per lavori in sotterraneo GLS**

La costruzione di gallerie ha una lunga tradizione di successo in Svizzera. Oggi siamo orgogliosi di essere testimoni e attori di un'epoca di grandi opere infrastrutturali, opere già in funzione, che entreranno in servizio a breve e opere che si trovano in fase di progettazione o realizzazione. Tra queste la galleria di base del Gottardo, del Lötschberg e del Ceneri, la linea di transito di Zurigo (DML), la circonvallazione Ovest di Zurigo o la centrale idroelettrica Nante de Drance.

Il successo di questi progetti non è basato solamente sulla tradizione, bensì sul volere e l'obbligo del nostro Paese di investire sulla formazione e la post-formazione al fine di conservare e incrementare le nostre competenze tecniche. Così facendo dalla tradizione si costruisce il futuro.

Un ulteriore elemento di valore alla base del successo nella realizzazione di grandi opere è la nostra filosofia di collaborazione tra committenza, progettazione/direzione lavori e impresa di costruzione, finalizzata alla ricerca della soluzione ottimale di ogni problema. Questa filosofia contribuisce al riconoscimento nazionale e internazionale del lavoro svolto, prendiamocene cura!

Parallelamente al riconoscimento internazionale della qualità del lavoro svolto nella realizzazione di opere sotterranee in Svizzera, aumenta l'internazionalizzazione nella costruzione di gallerie. Il Word Tunnel Congress 2013 di Ginevra offre una piattaforma mondiale per lo scambio e la condivisione delle conoscenze acquisite con la realizzazione delle grandi opere infrastrutturali.

L'edizione 2013 di «Tunnelling Switzerland» riassume le conquiste più grandi degli ultimi 15 anni raggiunte nel ambito delle opere sotterranee in Svizzera (gallerie stradali, ferroviarie, idrauliche, di servizio, ecc.). Con più di 90 progetti questo libro è una documentazione riassuntiva e completa delle gallerie svizzere, un elemento di riferimento per tutti i «costruttori di gallerie». Grazie alla sua consegna ai partecipanti del Word Tunnel Congress 2013, il libro diventerà l'ambasciatore della comunità svizzera di «costruttori di gallerie» nel mondo.

La società svizzera di opere sotterranee (STS), editrice di questo libro, ringrazia tutte le persone coinvolte nella redazione di questo documento: autori, editori e sponsor. Un particolare ringraziamento a Prof. Kalman Kovári e a Prof. François Descoeurdes, sviluppatori del concetto vincente di «Tunnelling Switzerland» come editori della prima edizione. ■

# Das Bauen unter Tage in der Schweiz und die Tunnelnormen

Georg Anagnostou<sup>(1)</sup>, Heinz Ehrbar<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>ETH Zürich

<sup>(2)</sup>Fachgruppe für Untertagbau FGU

## 1 Einleitung

Jedes Ingenieurbauwerk entsteht in einem bestimmten kulturellen und institutionellen Rahmen. In der Schweiz ist letzterer zu einem hohen Grad durch die Normen des Schweizerischen Ingenieur- und Architektenvereins (SIA) gegeben. Diese stellen umgekehrt das Destillat einer langen bautechnischen Entwicklung dar, konsolidieren vorhandenes Wissen über Planung und Ausführung von Bauwerken und kodifizieren die diesbezüglichen Vorgehensweisen. Auch die Untertagbaunormen reihen sich in der 140-jährigen Tradition des Normenschaffens des SIA ein. Letzteres hat sich stets durch die Bereitschaft ausgezeichnet, alle am Bau Beteiligten (Bauherr, Unternehmer und Planer inkl. Fachspezialisten) in die Normungsarbeit einzubeziehen und den Normentwurf einem langwierigen, breite Fachkreise erfassende Vernehmlassungsverfahren zu unterziehen. Dies sichert die Akzeptanz und erhöht die Verständlichkeit und Praxistauglichkeit der Normen. Schweizer Normen fokussieren auf das Wesentliche und sind deshalb kurz und prägnant.

Die Schweizer Normungsarbeiten im Untertagbau wurden bereits 1966 in Angriff genommen. Zu diesem Zeitpunkt gab es international noch kein Vorbild [1]. Man konnte allerdings aus einer reichen Erfahrung schöpfen, hatte doch der Schweizer Tunnelbau zwei lange und intensive Perioden hinter sich: der Eisenbahnbau im 19. Jahrhundert und der Kraftwerksbau in der Nachkriegszeit. Zudem war gerade die Epoche des Nationalstrassenbaus angebrochen (1970 wurde mit dem Bau des Gotthard Strassentunnels begonnen), was die Motivation für eine Normung begründete.

Die Normkommission schloss ihre Arbeit im Jahr 1975 mit der Veröffentlichung der Norm SIA 198 «Untertagbau» [2] und der Empfehlung SIA 199 «Erfassen des Gebirges im Untertagbau» ab [3]. Die Norm SIA 198 regelte ergänzend zur Norm SIA 118 («Allgemeine Bedingungen für Bauarbeiten» [4]) die Ausschreibung, Ausführung und Abrechnung, während die Empfehlung SIA 199 die Anforderungen betreffend Beschreibung des Gebirges, Beurteilung des Gebirges und Inhalt der geologischen, hydrogeologischen und geotechnischen Berichte für Fels und Lockergestein festlegte. Diese erste Normkommission war gleichzeitig die Keimzelle der Fachgruppe für Untertagbau des SIA (FGU). Letztere wurde im Jahr 1973 durch die Kommissionsmitglieder gegründet.

Es ist bezeichnend für die damals vollbrachte Leistung, dass der in der Norm SIA 198 von 1975 festgehaltene Grundsatz der Entschädigung der Ausbrucharbeiten heute noch, 40 Jahre

danach, gültig ist: Die Entschädigung soll aufgrund einer Klassifizierung erfolgen, welche die Art, das Ausmass und den Zeitpunkt der Sicherungsmassnahmen als Kriterium hat. Man war schon damals dessen bewusst, dass Klassifizierungen aufgrund vom Gebirgsverhalten oder sogar von Indexwerten für die Entschädigung untauglich sind. In der Norm SIA 198 (1975) findet man auch zum ersten Mal im Fachschrifttum die heute international gebräuchliche Definition der Vortriebsbereiche L1, L2 und L3 für die Unternehmerentschädigung. Der Grundsatz der Entschädigung des Unternehmers nach Ausmass und Ort der Sicherungsmassnahmen hat später auch Eingang in die Regelwerke anderer Länder gefunden, z.B. in die Ausgabe 1994 der Österreichischen Werkvertragsnorm.

Die Norm SIA 198 ist nach unserem Wissen die erste Norm weltweit für den Untertagbau. Sie blieb 18 Jahre lang gültig. Die erste Revision erschien im Jahr 1993 und behandelte alle Baumethoden im Fels und Lockergestein mit Ausnahme von geschlossenen Schildvortrieben. Die Ausgabe 1993 enthielt ferner als neues und wichtiges Element die Pflicht des Bauherrn, die sogenannte «Projektidee» mit Angaben über die Projekt- und Nutzungsziele (wie Qualität, Gebrauchstauglichkeit, Wirtschaftlichkeit, Sicherheit) zu formulieren und dem Unternehmer mitzuteilen, so dass letzterer die Absicht des Bauherrn klar versteht. Die offene Information wurde als entscheidend für den Projekterfolg beurteilt, setzt doch das im Untertagbau übliche, starke Ineinandergreifen von Projektierung und Ausführung einen engen Austausch der beteiligten Partner über die gesamte Projektdauer voraus.

Im Jahr 1998 folgte die Revision der Empfehlung SIA 199 [3]. Sie behandelte den Untertagbau im Lockergestein ausführlicher und nahm vor allem Bezug auf die Begrifflichkeit der seit 1989 geltenden Tragwerksnormen des SIA, insbesondere der Norm SIA 160 («Einwirkungen auf Tragwerke» [5]). Diese Normengeneration stellte einen Umbruch in der Art der Projektierung von Tragwerken dar, der von besonderer Bedeutung für den Untertagbau war: Der Ingenieur hatte sich fortan mit den massgebenden Risikoszenarien und Grenzzuständen, den sogenannten Gefährdungsbildern, auseinanderzusetzen und seine Überlegungen betreffend Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit im sogenannten Sicherheitsplan bzw. im Nutzungsplan klar zu dokumentieren [6]. Die Übernahme und Strukturierung des «Denkens in Gefährdungsbildern» [7], eines ingenieurmässigen und im Untertagbau eigentlich schon längst verankerten Denkens, durch die schweizerischen Tragwerksnormen hatte Pioniercharakter, dienten doch die SIA Normen von 1989 als Vorbild für die europäischen Tragwerksnormen, die «Eurocodes».

Die erste Norm SIA 198 (1975) war zwar eine Werkvertragsnorm, enthielt jedoch aufgrund der engen Verknüpfung zwischen Baumethoden, Terminen und Kosten auch zahlreiche ausführungstechnische Bedingungen und Erläuterungen. Die Trennung von organisatorischen und technischen Aspekten erfolgte erst mit der Ausgabe 2004, die im Zuge der Harmonisierung der Schweizernormen mit den «Eurocodes» anlässlich des Projekts «Swisscodes», der letzten grossen Revision

# Swiss underground construction and tunnel codes

Georg Anagnostou<sup>(1)</sup>, Heinz Ehrbar<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>ETH Zurich

<sup>(2)</sup>Swiss Tunnelling Society STS

## 1 Introduction

Each engineering structure is built within a particular cultural and institutional framework. In Switzerland the latter is given essentially by the building codes of the Swiss Society of Engineers and Architects (SIA). These reflect in a condensed form a long technical development, consolidate existing knowledge concerning the planning and execution of structures and codify the relevant practical procedures. The underground construction codes are also part of this 140-year-old tradition of code work of the SIA. The latter has always excelled in its readiness to include all participants (owners, contractors as well as consulting engineers and specialists) in the code work and subject the drafts of the codes to a protracted review and consultation process involving a wide range of expert groups. This ensures acceptance and increases the clarity and practicality of the codes: Swiss codes focus on the essentials and are therefore short and succinct.

The Swiss code work dealing with underground construction was already begun in 1966. At that time there was as yet nothing on the international scene that could act as a model for a tunnelling code [1]. It was possible, however, to draw on rich experience, for Swiss tunnel construction could look back over two long periods of intensive tunnelling activity: that of the railways in the 19th century and of the hydroelectric power stations in the post-war period. Furthermore, around this time the age of national highway construction started (1970 saw the beginning of the construction of the Gotthard road tunnel), which provided motivation for establishing the relevant codes.

The code commission finished their work in 1975 with the publication of the code SIA 198 "Underground Construction – Execution" [2] and the recommendation SIA 199 "Description of the ground in underground construction" [3]. The code SIA 198 extends the code SIA 118 ("General Conditions for Construction Work" [4]) to standardise the tendering procedure, the execution and the contractor's payment for work undertaken, while the recommendation SIA 199 defines the requirements respecting the description of the ground, the assessment of the ground and the contents of the geological, hydrogeological and geotechnical reports for soil (soft ground) and rock. This first codification commission provided, at the same time, the impetus for the formation the Swiss Tunnelling Society (STS) of SIA, which was founded in 1973 by members of the commission.

It is indicative of the good work performed at that time that

the basic principle of SIA 198 (1975) concerning the payment of tunnelling work is still valid today 40 years later: The payment should be based on a classification system, which considers the type and quantity of support as well as the place of support installation. The members of the commission were aware of the fact, that classification based on ground behaviour or even on index values is not suitable for contractor's remuneration. In SIA 198 (1975) one also finds for the first time in a technical publication the current internationally recognised definition of excavation regions L1, L2 und L3 used for contractor payments. The basic principle for contractor payments according to quantities and place of the support measures has been adopted later also by other countries, e.g. by the Austrian works contract code in 1994.

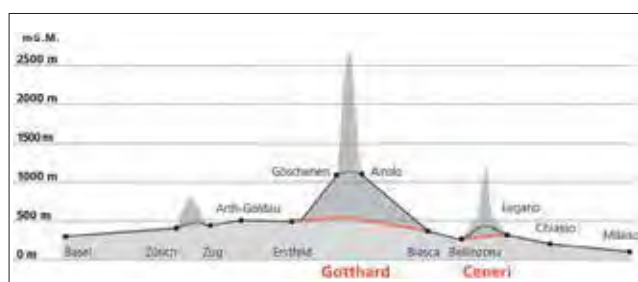
The code SIA 198 was, to our knowledge, the first code for underground construction worldwide. It remained valid for 18 years. The first revision appeared in 1993 and covered all excavation methods in rock and soil with the exception of closed shield drives. The 1993 edition also includes as a new and important element the duty of the owner to formulate the so-called "project idea" with information on the project and utilisation aims (such as quality, serviceability, cost-effectiveness, safety) and pass on this information on to the contractor, so that the contractor clearly understands the intentions of the owner. The open exchange of information was judged to be critical for the success of an underground project, since the strong interaction of planning and design with execution requires a close cooperation and exchange of information of the participating partners over the whole period of the project. In 1998 followed the revision of the recommendation SIA 199 [3]. It deals in detail with underground construction in soil and, above all, takes account of the concepts introduced into the SIA structural codes (especially SIA 160, "Actions on Structures" [5]) that had been in force since 1989. This generation of codes represented a turning point in the way structures are designed, which was also of special importance for underground structures: Engineers now had to grapple with critical risk scenarios and limit states, the so-called hazard scenarios, and document clearly their considerations on structural safety and serviceability in the so-called safety plan and in the service criteria [6]. The "thinking in hazard scenarios" [7] was actually familiar to underground engineers. The adoption and structuring of this approach in the codes had, nevertheless, pioneer character and in fact the SIA codes of 1989 were a model for the European structural codes, the "Eurocodes".

The first code, SIA 198 (1975), concerned mainly with contractual matters, but it also contained, due to the close relationship between construction methods, deadlines and costs, numerous technical conditions and explanations with regard to execution. The division between organisational and technical aspects first appeared in the edition of 2004, which had been thoroughly reworked in the process of harmonising the Swiss codes with the "Eurocodes" under the project "Swisscodes", and represents the last major revision of the SIA structural codes. The "Swisscodes" were harmonised with the European

# Gotthard-Basistunnel

## Der längste Tunnel der Welt

Mit dem Bau der neuen Gotthardbahn schreibt die Schweiz Verkehrsgeschichte. Die beiden Basistunnel am Gotthard und am Ceneri sind nicht nur eine technische Pionierleistung, sie sind auch Sinnbild für die Umsetzung des Volkswillens. Bereits 1992 stimmten die Schweizer Stimmbürgerinnen und Stimmbürger den Neuen Eisenbahn-Alpentransversalen (NEAT) am Gotthard und am Lötschberg zu. 1998 schufen Sie in einer erneuten Abstimmung den FinöV-Fonds, der die Finanzierung der grossen Schweizerischen Bahnprojekte sicherstellt.



1 Der Weg durch die Schweiz wird flacher  
1 The route through Switzerland becomes flatter

Der Gotthard-Basistunnel, mit 57 Kilometern der längste Eisenbahntunnel der Welt (Bild 4), wird 2016 in Betrieb gehen. Voraussichtlich 2019 vervollständigt der Ceneri-Basistunnel die Flachbahn durch die Alpen (Bild 1). Damit wird die Bahn wieder konkurrenzfähig zur Strasse. Durch die kürzere und flachere Linienführung kann die Produktivität im Güterverkehr wesentlich gesteigert werden. Der Reiseverkehr profitiert von beträchtlichen Zeitgewinnen. Mit der NEAT integriert sich die Schweiz zudem ins europäische Hochgeschwindigkeitsnetz.

### Projekt

NEAT-Achse Gotthard mit Gotthard-Basistunnel und Ceneri-Basistunnel

### Bauherr

AlpTransit Gotthard AG, Luzern

### Bauausführung

- Amsteg / Erstfeld: Arbeitsgemeinschaft Gotthard-Basistunnel Nord
- Sedrun: Arbeitsgemeinschaft Transco Sedrun
- Bodio / Faido: Consorzio TAT, Tunnel AlpTransit Ticino

### Kenndaten

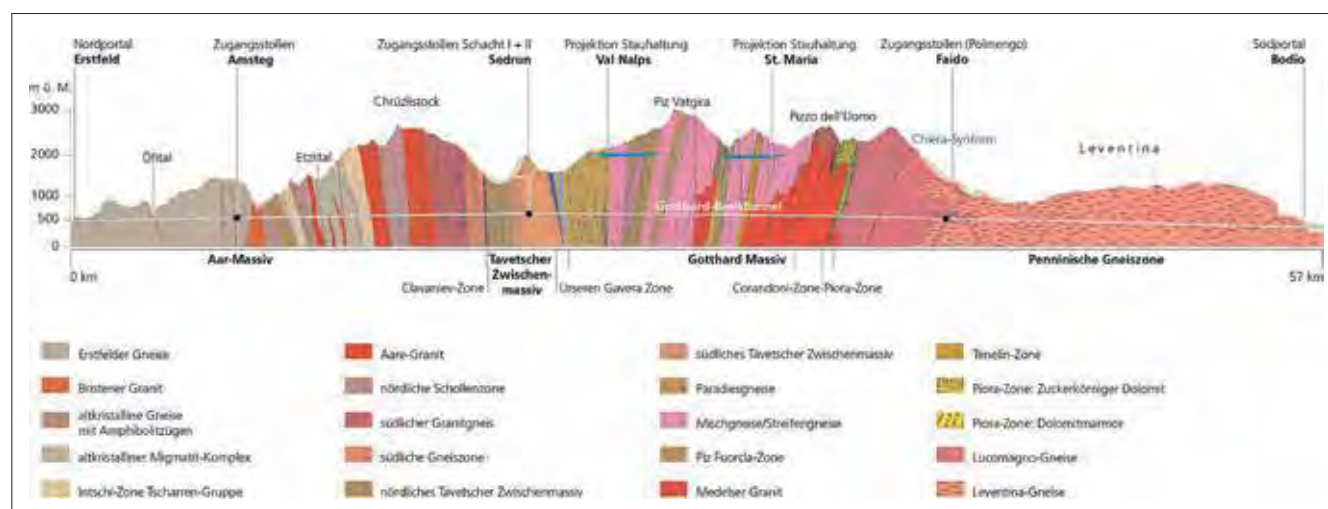
|                               |                |
|-------------------------------|----------------|
| Bauzeit Gotthard-Basistunnel: | 1996 bis 2014  |
| Inbetriebnahme:               | 2016           |
| Baukosten Tunnel (PB 1998):   | 9,9 Mia. CHF   |
| davon Kosten Rohbau:          | 5,53 Mia. CHF  |
| Gesamtlänge:                  | 57 km          |
| Anzahl Tunnelröhren:          | 2              |
| Maximale Felsüberlagerung:    | 2300 m         |
| Ausbruchmaterial:             | 28 Mio. Tonnen |
| Trassierungsgeschwindigkeit:  | 250 km/h       |

## Geologie Gotthard-Basistunnel – Prognose und Realität

Trotz einigen wenigen Überraschungen waren die Prognosen der Geologen für den Gotthard-Basistunnel im Wesentlichen richtig (Bild 2).

Der Teilabschnitt Erstfeld durchquerte die bautechnisch günstigen altkristallinen Erstfelder Gneise. Geologische Überraschungen gab es hier keine.

Im Teilabschnitt Amsteg traf die Prognose im Wesentlichen zu. Rund 2200 m unter dem Chrützlistock traf man auf einer Länge von rund 60 m auf einen hydrothermal zersetzten Gneis.



2 Geologisches Längenprofil Gotthard-Basistunnel (Befund 2011)  
2 Geological longitudinal section of the Gotthard base tunnel (on-site findings 2011)

# Gotthard Base Tunnel

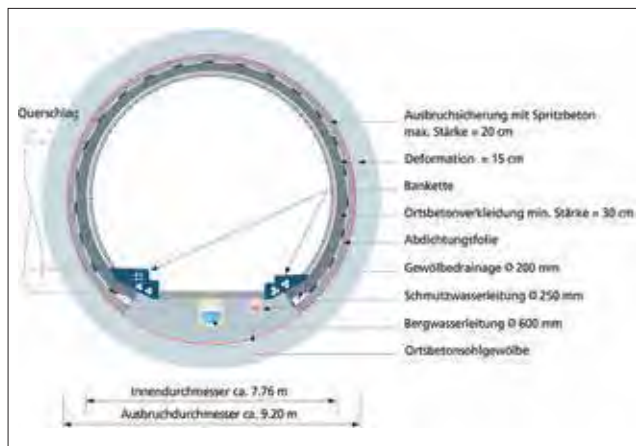
## The world's longest tunnel

With the construction of the new Gotthard Rail Link, Switzerland is creating transport history. The two base tunnels Gotthard and Ceneri are not only pioneering technical achievements, they also symbolise the materialisation of a nation's will. As long ago as 1992, Switzerland's electorate approved the New Rail Link through the Alps (NRLA) under the Gotthard and Lötschberg mountain ranges. In a further referendum in 1998, they created the Public Transport Finance Fund (Finöv) to secure financing for major Swiss railway projects.

The Gotthard base tunnel, at 57 km the world's longest railway tunnel (Fig. 4), will go into operation in 2016. In 2019, the flat low-level route through the Alps is scheduled to be completed with the Ceneri base tunnel (Fig. 1). This will restore the competitiveness of rail transport over road transport. With the shorter and flatter route, productivity in goods traffic can be substantially increased. Rail passengers benefit from substantial time gains. Also with the NRLA, Switzerland integrates itself into the European high-speed network.

### Geology of the Gotthard base tunnel – forecast and in reality

Despite some unpleasant surprises, the geological forecasts for the Gotthard base tunnel were essentially correct (Fig. 2).



3 Normalprofil TBM-Vortrieb  
3 Tunnel cross-section for TBM drive

The Erstfeld section traversed the constructionally-favourable Erstfeld gneisses of the crystalline basement. There were no geological surprises in this section.

In the Amsteg section, the forecast was essentially accurate. Some 2200 m under the Chrüzlistock, along a length of around 60 m, hydrothermally fragmented gneiss was encountered. In the east tube, the tunnel boring machine (TBM) traversed this zone without difficulty; a small water

### Project

NRLA-Axis Gotthard with Gotthard Base Tunnel and Ceneri Base Tunnel

### Client

AlpTransit Gotthard Ltd, Lucerne, Switzerland

### Execution

- Amsteg / Erstfeld:  
Gotthard Base Tunnel North Consortium
- Sedrun: Transco Consortium
- Bodio / Faido: AlpTransit Tunnel Ticino (TAT) Consortium

### Key data

Gotthard base tunnel construction

|                                   |                   |
|-----------------------------------|-------------------|
| period:                           | 1996 to 2014      |
| Start of operations:              | 2016              |
| Tunnel construction costs (1998): | CHF 9.9 billion   |
| Costs civil work:                 | CHF 5.53 billion  |
| Total length:                     | 57 km             |
| Number of tubes:                  | 2                 |
| Maximum rock overburden:          | 2300 m            |
| Excavated rock:                   | 28 million tonnes |
| Maximum design speed:             | 250 km/h          |

inflow of 2 to 3 litres per second in combination with loose rock, blocked the cutter head in the western tube. Additional auxiliary measures (grouting and auxiliary reverse drive) were required to release the TBM.

In the northward drive in the Sedrun section, the Tavetsch Intermediate Massif was regarded as one of the main risks in sectioned developed construction of the Gotthard base tunnel. Thanks to the especially developed construction method, the zone was mastered without any problems. Situated to the south of the Tavetsch Intermediate Massif is the Urseren Garvera Zone (Fig. 2). Although this was encountered around 500 m further south than forecast, it was about 200 m shorter, and constructionally more favourable than originally assumed. Further south, in the Gotthard Massif, the fault zone "50/50b" was encountered. This was not, as expected, only a few metres long, but extended over a length of around 120 m and required a very laborious method of driving. In the west tube of the northward TBM drive from Faido, a downbreak occurred, which had to be stabilised by grouting and excavated with an auxiliary reverse drive. In the east tube, the same fault could be traversed without major difficulty. The Piora Zone, which was the topic of so much discussion before construction began, was excavated without problem, as was expected from the results of a system of trial bores. According to the forecasts of the ground conditions, the multifunction station (MFS) at Faido should have been situated in constructionally-favourable gneiss. However, construction of the lateral cavern and side galleries revealed that a large fault zone with squeezing, brittle rock was situated in the middle of the MFS. This led to relocation of the MFS 600 m further to the south.

In der Oströhre durchfuhr die Tunnelbohrmaschine (TBM) diese Zone ohne Probleme, in der Weströhre hingegen genügte ein Bergwasserzutritt von 2–3 l/s, um das aufgelockerte Gestein in den Bohrkopf einzuschwemmen. Zur Deblockierung der TBM waren gebirgsverbessernde Injektionen und ein Gegenvortrieb nötig.

Der Nordvortrieb im Teilabschnitt Sedrun im Tavetscher Zwischenmassiv zählte zu den Risikoschwerpunkten beim Bau des Gotthard-Basistunnels. Dank der speziell entwickelten Baume-thode konnte die Strecke ohne Probleme bewältigt werden. Südlich des Tavetscher Zwischenmassivs liegt die Urseren-Garvera-Zone (Bild 2). Sie wurde rund 500 m weiter südlich angetroffen als prognostiziert, war dafür rund 200 m weniger mächtig und bautechnisch günstiger als ursprünglich angenommen. Weiter südlich, im Gotthard-Massiv, traf man auf die Störzone «50/50b». Diese war nicht wie erwartet wenige Meter lang, sondern erstreckte sich über eine Länge von rund 120 m und erforderte ein sehr aufwändiges Vorgehen beim Vortrieb. Beim TBM-Vortrieb in Faido Richtung Norden erfolgte in der Weströhre kurz vor dem Vortriebsende ein Niederbruch, der mit Injektionen verfestigt und mit einem Gegenvortrieb ausgebrochen werden musste. In der Oströhre konnte die gleiche Störung ohne grössere Schwierigkeiten durchörtert werden. Die vor Baubeginn heftig diskutierte Piora-Zone konnte, wie nach den Ergebnissen des Sondiersystems erwartet, ohne Probleme aufgefahren werden. Die Multifunktionsstelle Faido sollte gemäss den ursprünglichen Prognosen in bautechnisch günstigem Gneis liegen. Mit dem Bau der Querkaverne und der Seitenstollen zeigte es sich, dass inmitten der MFS eine grosse Störzone mit druckhaftem brüchigem Gebirge lag. Die grossen Querschnitte der Tunnelwechsel mussten deshalb 600 m nach Süden verschoben werden.

Der Teilabschnitt Bodio liegt in den bautechnisch günstigen Leventina-Gneisen. Einzig kurz nach dem Start der TBM behinderte eine nicht prognostizierte Störung die Ausbrucharbeiten. Eine druckhafte Zone kurz vor dem Vortriebsende in Bodio machte umfangreiche Nachprofilierungsarbeiten nötig.

## Baumethode

Der Gotthard-Basistunnel wurde mit zwei einspurigen Tunnel-röhren, die alle 330 Meter miteinander verbunden sind, konzipiert (Bild 5). An den Drittelpunkten in Sedrun und Faido wurden Nothaltestellen gebaut.

Die Wahl der Vortriebsmethode ist massgebend für die Vortriebsleistung. Die AlpTransit Gotthard AG hat nur in jenen Fällen Vorgaben gemacht, wo zwingende Gründe nur die eine oder andere Baumethode zulassen. Dies kam in den Teilabschnitten Erstfeld (Tunnelbohrmaschine) und Sedrun (konventioneller Vortrieb) zum Tragen. In allen anderen Fällen wurde die Wahl der Vortriebsmethode dem Unternehmer überlassen, schliesslich musste er mit der von ihm gewählten Vortriebsmethode die angebotenen Leistungen garantieren.

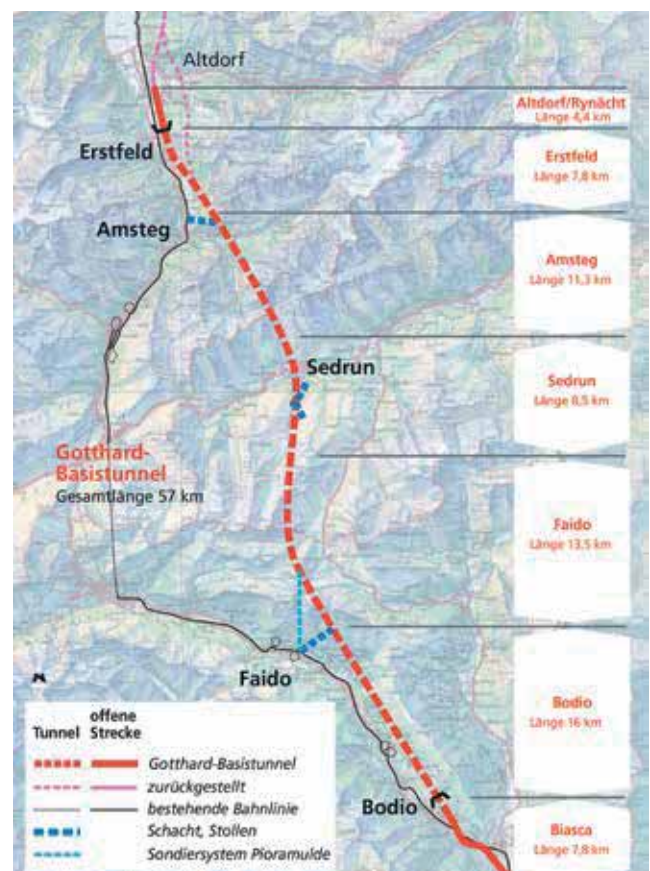
Das wichtigste Projektziel bei der Planung des Gotthard-Basistunnels war die Optimierung der Gesamtbauzeit und da-

mit verbunden auch die Gesamtkosten. Mit der Unterteilung des Tunnels in fünf Abschnitte konnte die Bauzeit um mehr als die Hälfte reduziert werden.

Der Teilabschnitt Erstfeld ist 7,8 km lang. Die ersten 600 m des Gotthard-Basistunnels entstanden im Tagbau. Verzweigungen im Tunnel stellen sicher, dass eine zukünftige Verlängerung des Tunnel nach Brunnen (Kt. Schwyz) ohne Betriebsunterbruch möglich ist. Der Tunnel unterquert in Erstfeld Teile des Dorfes in relativ geringer Tiefe. Aus Gründen des Lärm- und Erschütterungsschutzes kam deshalb nur der Vortrieb mit Tunnelbohrmaschinen in Frage.

Bevor die Vortriebsarbeiten am 11,3 km langen Teilabschnitt Amsteg beginnen konnten, musste ein 2,1 km langer Zugangstollen gebaut werden. Zudem entstand ein Kabelstollen von 1,9 km Länge, der direkt in die unterirdische Zentrale des Kraftwerks Amsteg führt. Anders als in Erstfeld war es in diesem Teilabschnitt dem Unternehmer frei gestellt, die für ihn optimale Vortriebsmethode zu wählen. Die Arbeitsgemeinschaft entschied sich für den Vortrieb mit Tunnelbohrmaschinen.

Der 8,5 km lange Teilabschnitt Sedrun ist nur über zwei 800 m tiefe Versorgungs- und Förderschächte zugänglich. Dies bedeutet eine besondere baubetriebliche und logistische Herausforderung da die Transportkette mehrfach gebrochen wird. Sämtliches Material musste über die beiden Schächte



4 Linienführung Gotthard-Basistunnel  
4 The route of the Gotthard base tunnel

The Bodio section is situated in the constructionally-favourable Leventina gneisses. The only hindrance here was an unforeseen disturbance zone encountered soon after the start of the TBM drive and a zone of large convergences towards the end of the tunnel drive which had to be reprofiled in a time consuming operation.

### Construction methods

The Gotthard Base Tunnel was designed with two single-track tubes connected to each other every 330 metres (Fig. 5). At the one-third points in Sedrun and Faido there are emergency-stop stations.

The choice of driving method determines the advance rate. AlpTransit Gotthard Ltd only stipulated the method in those cases in which compelling reasons allowed a particular construction method to be used. This only applied in the Erstfeld section (TBM) and at Sedrun (conventional drive). In all other cases, the choice of driving method was left to the contractors, since it was they who had to guarantee the offered performance with their chosen method.

The most important project goal when planning the Gotthard base tunnel was optimisation of the total construction time and total costs. By dividing the tunnel into five sections, the construction time could be reduced by more than half.

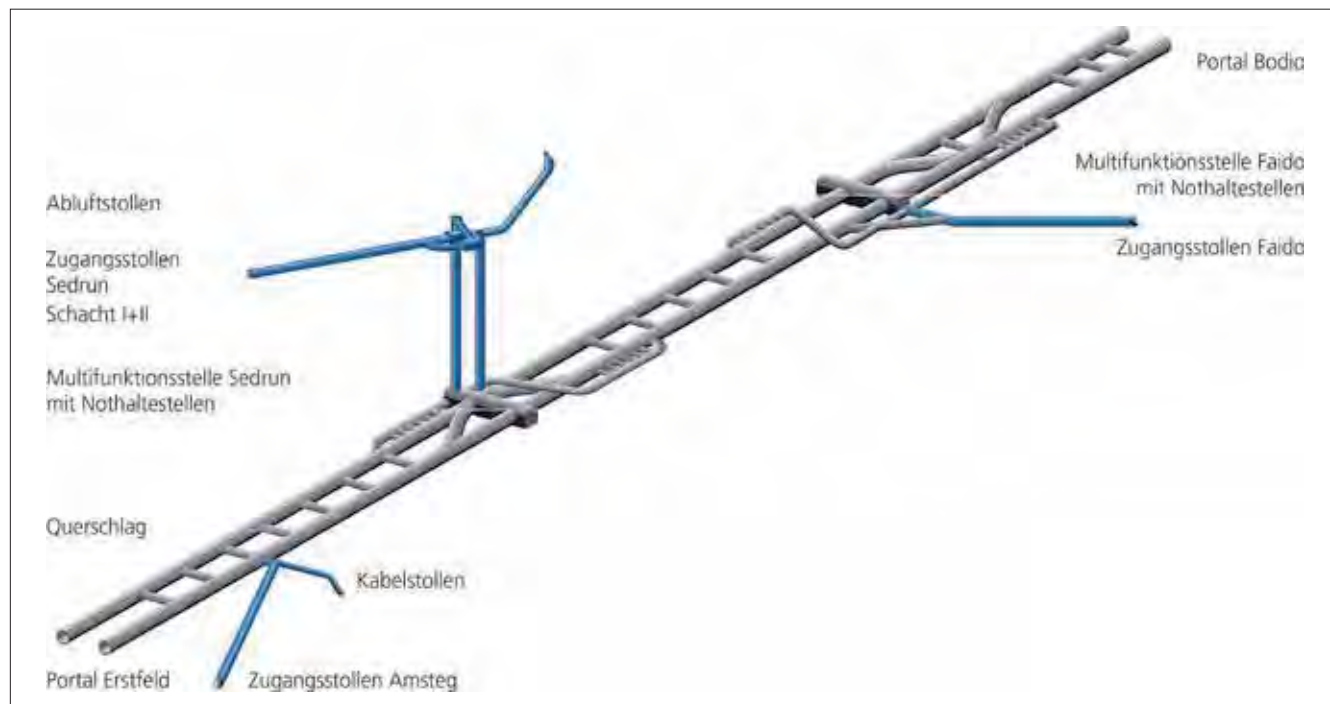
The Erstfeld section is 7.8 km long. Here, the first 600 m of the Gotthard base tunnel were constructed by the cut-and-cover method. Y-junctions in the tunnel ensure that a future extension of the tunnel to Brunnen, in the canton of Schwyz, is possible without interruption the tunnel operations.

At Erstfeld, the tunnel passes under parts of the village at a relatively shallow depth. For reasons of noise and vibration prevention, only a TBM drive was possible.

Before driving work could begin on the around 11-km-long Amsteg section, a 2.1-km-long access adit had to be constructed. A 1.9-km-long cable duct was also constructed, which runs directly into the power house of the Amsteg hydro power plant. In contrast to Erstfeld, in this section the choice of the optimal driving method was left to the consortium of contractors, which chose to use TBMs.

The 8.5-km-long Sedrun section is only accessible via two 800-m-deep supply and spoil-removal shafts. These presented a special challenge to construction operations and logistics. Enormous quantities of materials had to be transported through the two shafts. The lift system also served to transport around 150 miners per shift. For the north drive and the south drive in Sedrun, the geologists forecast extremely difficult rock conditions, which only allowed a conventional drive. From the bottom of the shaft at Sedrun, the four drives proceeded simultaneously 2.1 km northwards and 6.4 km southwards. The excavation work also included construction of one of the two MFSs.

The Faido section is approximately 13.5 km long. Also in this section, one of the two MFSs was constructed as well as the tunnel tubes. Before work on the base tunnel tubes could begin, a 2.7-km-long access adit was excavated. The adit, as well as the MFS, was excavated by the drill-and-blast method.



5 Tunnelsystem Gotthard-Basistunnel  
5 Tunnel system of Gotthard base tunnel

an- und abtransportiert werden. Die Schachtförderanlage war zudem Transportmittel für rund 150 Mineure pro Schicht. Sowohl für den Nord- als auch für den Südvortrieb in Sedrun waren schwierigste Baugrund-Verhältnisse prognostiziert, welche nur den konventionellen Vortrieb erlaubten. Die vier Vortriebe erfolgten gleichzeitig vom Schachtfuss Sedrun 2,1 km Richtung Norden und 6,4 km Richtung Süden. Die Ausbrucharbeiten beinhalteten auch die Erstellung von einer der beiden Multifunktionsstellen.

Der Teilabschnitt Faido ist 13,5 km lang. Neben den Tunnelröhren entstand hier die zweite Multifunktionsstelle. Bevor mit den Arbeiten an den Basistunnelröhren begonnen werden konnte, wurde ein 2,7 km langer Zugangsstollen mit 12 % Gefälle ausgebrochen. Dieser, wie auch die Multifunktionsstelle, wurden im Sprengvortrieb erstellt.

Wegen der engen logistischen Verknüpfung wurden die Tunnellose Faido und Bodio als Loskombination an die gleiche Arbeitsgemeinschaft vergeben. Das führte dazu, dass für die gesamte Strecke von Bodio bis zur Losgrenze Sedrun nur zwei Tunnelbohrmaschinen zum Einsatz kamen.

Bevor in Bodio die Arbeiten am Hauptlos begannen, waren umfangreiche Vorarbeiten nötig. Auf den ersten 800 m unterquert der Gotthard-Basistunnel das Bergsturzgebiet «Ganna di Bodio». Die erste Hälfte dieser Strecke wurde als Tagbautunnel erstellt, die zweite Hälfte erfolgte im bergmännischen Vortrieb. Zudem entstand ein 3,1 km langer Schutterstollen, der die Baustelle mit der Deponie «Buzza di Biasca» verband. Die rund 15 km im Tunnelhauptlos galten als bautechnisch günstig und eigneten sich deshalb besonders gut für den Vortrieb mit Tunnelbohrmaschinen (Bild 3). Die tatsächlichen Verhältnisse waren allerdings schwieriger als erwartet. Eine lange horizontale Störzone und eine Zone mit grossen Konvergenzen wurden schliesslich aber erfolgreich bewältigt.

Neben der Erstellung des Gotthard-Basistunnels beinhaltet das Projekt AlpTransit Gotthard auch die Anbindung des neuen Tunnels an das bestehende Streckennetz der SBB.

Die Zufahrtsstrecke Nord umfasst das 5 km lange, offene Bahntrasse im Kanton Uri mit allen nötigen Kunstbauten. Im Süden führt die 7.5 km lange Strecke vom Südportal des Gotthard-Basistunnels in Bodio bis nach Giustizia in Biasca.

## 15 Jahre Vortrieb

Trotz umfangreicher Vorauserkundungen treffen die Tunnelbauer nicht immer die erwarteten Verhältnisse an. Dies war auch beim Gotthard-Basistunnel so. Der Baugrund in den Abschnitten Erstfeld, Amsteg und Sedrun präsentierte sich über weite Strecken wie prognostiziert. Die Vortriebe erfolgten deshalb auch innerhalb der vorgesehenen Fristen oder teilweise sogar schneller. Anders sah es in den beiden südlichen Abschnitten aus. Vor allem wegen unvorhergesehener, schwieriger Baugrundverhältnisse dauerten die Vortriebe insgesamt 27 Monate länger als ursprünglich geplant.

Nach Vortriebsende am Gotthard-Basistunnel kann mit Genugtuung festgestellt werden, dass die ursprünglichen Kon-

zepte richtig waren. Die Vortriebsmethoden haben sich durchwegs bewährt. Selbst in bautechnisch schwierigen Zonen erzielten die Tunnelbohrmaschinen mittlere tägliche Vortriebsleistungen im Bereich von 4–6 m/AT, was der Leistung eines gut organisierten konventionellen Vortriebs entspricht. Die hohe Flexibilität des konventionellen Vortriebs erwies sich in den schwierigsten Strecken in Sedrun und Faido als äusserst wertvoll. Dank gezieltem Ausbruch von Überprofil konnten die grossen Konvergenzen bei einer Vortriebsgeschwindigkeit von ca. 1,0 m/AT beherrscht werden.

Das Gesamtterminprogramm wurde durch die Verschiebung der Losgrenze Sedrun/Faido um ca. 2 km nach Süden optimiert. Diese Lösung war nur dank vorausschauendem Handeln der verantwortlichen Instanzen möglich, mussten doch wegen geänderter Materialbewirtschaftungskonzepte die entsprechenden öffentlich-rechtlichen Verfahren durchgeführt werden. Dass die termingerechte Ausführung schliesslich gelungen ist, stellt allen Beteiligten ein ausgezeichnetes Zeugnis aus.

*Literatur: siehe englische Fassung*



6 Hauptdurchschlag am 15. Oktober 2010

6 Main breakthrough on October 15, 2010

On account of the close logistical interaction, the Faido and Bodio sections were awarded to the same consortium as a combined contract section. As a result, only two tunnel boring machines were used for the entire distance from Bodio to the boundary of the Sedrun section.

Before work on the main section at Bodio began, extensive preparations were necessary. In the first 800 m, the Gotthard base tunnel passes under the area of the Ganna di Bodio rock fall. The first half of this section was constructed as a cut-and-cover tunnel, while driving of the second half was by the conventional method. In addition, a 3.1-km-long spoil removal gallery was constructed, which connected the construction site with the Buzza di Biasca landfill site. The approximately 15-km-long main contract section of the tunnel was not expected to be problematic from the construction viewpoint and therefore especially suited to driving with TBMs (Fig. 3). However, actual conditions were more difficult than anticipated. A long horizontal fault zone and a zone of large convergences could finally be successfully overcome.

In addition to the construction of the Gotthard base tunnel, the AlpTransit Gotthard project also includes linking the new tunnel to the existing network of Swiss Federal Railways (SBB). The northern link comprises the 5-km-long open stretch of rail track in the canton of Uri and all the necessary ancillary structures. The southern link comprises the 7.5-km-long section from the south portal of the Gotthard base tunnel in Bodio to Giustizia at Biasca.

### 15 years of tunnelling

Despite extensive exploratory rock investigations, tunnelers do not always encounter the expected conditions. This was also the case with the Gotthard base tunnel. The rock conditions in the Erstfeld, Amsteg and Sedrun sections corresponded over long distances to the forecasts. The drives therefore progressed within the planned schedule or even faster.

In the two southern sections, the situation was different. Mainly because of unexpectedly difficult rock conditions, the total driving time was 27 months longer than originally planned.

Now that excavation work for the Gotthard base tunnel is finished, it can be confirmed with a sense of satisfaction that the original concepts were correct. The driving methods proved to be reliable. Even in difficult excavation zones, the TBMs achieved daily advance rates in the range of a well-organised conventional drive (4 to 6 m/day).

The high flexibility of the conventional drive proved to be extremely valuable in the very difficult zones in Sedrun and Faido. Thanks to planned additional excavation the unavoidable large convergences could be controlled with an average advance rate of 1.0 m/WD.

The overall construction programme was optimised by shifting the intersection Sedrun / Faido by about 2 km to the south. This solution was only possible due to early decisions of the responsible authorities. Because of changes in material ma-



7 Bahntechnik eingebaut, Teststrecke Bodio West  
7 Rail technology installed, test section Bodio West

nagement concepts, the corresponding legal requirements had to be complied with. That the tunnelling work was finally successful and on schedule is an excellent testimony to all parties involved.

#### Literature

- Gotthard-Basistunnel – der längste Tunnel der Welt  
Band 1: Die Zukunft beginnt, Werd Verlag, 2002  
Gotthard-Basistunnel – der längste Tunnel der Welt  
Band 2: Das Jahrhundertbauwerk entsteht, Stämpfli Verlag AG, 2010