

Swiss Tunnel Congress 2009

Fachtagung für Untertagbau

18. Juni 2009 in Luzern

schweizerischer
ingenieur- und
architektenverein

société suisse
des ingénieurs et
des architectes

società svizzera
degli ingegneri e
degli architetti

swiss society
of engineers
and architects

selnaustrasse 16
ch-8039 zürich
www.sia.ch



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

Ceneri-Basistunnel, Nordportal Vigana Unterquerung der Autobahn A2 im Lockergestein, das Bauprojekt

Francesco Rossi, dipl. Bauing. REG-A / SIA / M. ASCE; CIPM – G. Dazio & Associati SA, Cadenazzo
Raffaele Filippini, dipl. Bauing. ETH / SIA; CIPM – Filippini & Partner Ingegneria SA, Biasca

CENERI BASE TUNNEL, NORTH PORTAL VIGANA UNDERPASSING THE MOTORWAY A2 IN SOIL, THE PROJECT

Constructing an underpass in soil under the motorway A2 at the north portal of the Ceneri Base Tunnel presents one of the main challenge for the overall project. In particular, the caverns with a escaration face of 300 m² and a minimum overburden were investigated in detail already at the planning and design stages, which is the focus of this contribution. Ensuring uninterrupted use of the motorway, together with the minimization of surface settlements and avoiding tunnel collapse, were the main requirements.

The task was to pass under the motorway embankment built in the 1970s, at the point of transition from the Magadino Plain to the slope of the Ceneri (rock section).

The design concept, involving challenging jetting operations, expect to the preliminary excavation of two side galleries to allow the soil to be consolidated up to where it meets the rock.

Massive concrete abutments will be built in the side galleries, which will provide the foundation for the future construction of the crown.

The statical analysis, which for this construction project was of considerable importance, served to confirm the design concept as well as allow the specification of the dimensions and the amount of reinforcement required. In this contribution the selected models are presented together with the main results.

After a description of the construction process the paper concludes with a section on risk management, in which the methodology applied, containing the residual risks and the monitoring system, is explained.

1. Einleitung

1.1 Projektübersicht

Mit der Fotomontage auf Bild 1 mit Sicht nach Süd-Westen wird der Knotenpunkt Camorino im Bereich des Nordportals des Ceneri-Basistunnels dargestellt. Im Vordergrund ist die Autobahnausfahrt «Bellinzona Süd» zu erkennen, westlich davon verläuft die neue offene Zulaufstrecke zum Ceneri-Basistunnel. Auf dem Bild hervorgehoben ist die Unterquerung der Autobahn A2 zu erkennen, die in diesem Bereich insgesamt 5 Fahrspuren aufweist.

Die Autobahn ist mit 4 Gleisen schief zu unterqueren:

- Je ein Gleis nach Lugano und nach Bellinzona.
- Ein Gleis für die kantonale Verbindung von und nach Locarno.
- Ein Gleis als Spurwechsel bzw. im Hinblick auf die NEAT-Fortsetzung der «Umfahrung Bellinzona».

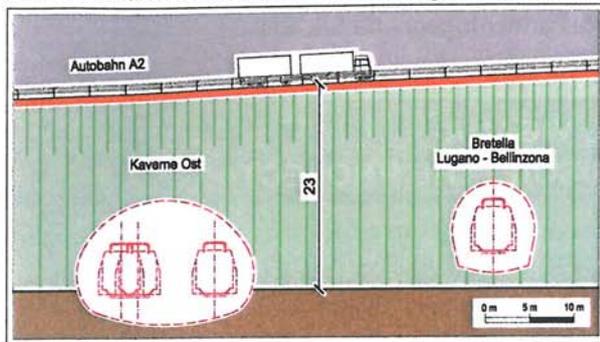
Bild 1: Fotomontage «Knoten Camorino» – Sicht nach Süd-Westen (Quelle: ATG)



Die Lichtraumprofile für die zu erstellenden Untertagearbeiten, sowie die Massverhältnisse, sind auf Bild 2 dargestellt. Rechts auf dem Bild ist die sogenannte Bretella Lugano – Bellinzona schematisch zu erkennen. Links auf

dem Bild ist die Kaverne Ost skizziert. Diese muss im Bauzustand, aus logistischen Gründen, als ein einziges Grossprofil zur Verfügung stehen, d.h. ohne Zwischenpfeiler. Zu bemerken ist auch die Höhe des Autobahndammes, die in diesem Bereich 23 m beträgt.

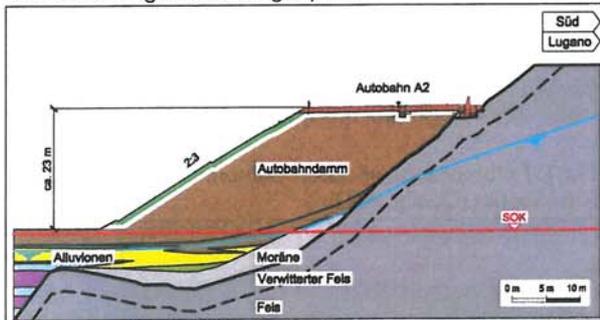
Bild 2: Portalen und Strecken im Lockergestein-Ansicht



1.2 Geologie

Der in den 70er Jahren gebaute Autobahndamm stellt den Übergang zwischen der Magadino-Ebene und dem Ceneri-Hang, bzw. der Felsstrecke dar (Bild 3). Geotechnisch ist mit einem Reibungswinkel von 40° und einer Kohäsion von 5 kPa zu rechnen. Noch zu erwähnen ist eine gut gelagerte Moräne zwischen Damm und Fels sowie der Hangwasserspiegel.

Bild 3: Geologisches Längsprofil



2. Entwurfskonzept

Unter Berücksichtigung der aussergewöhnlichen Vorgaben wurde das Entwurfskonzept von Professor Kalman Kovári erarbeitet.

Dies sieht als erster Schritt die Ausführung zwei Paramentstollen, im Schutze eines Jettinggewölbes, mit Spritzbeton gesichert und mit einer Ausbruchfläche von je maximal 60 m² vor (Bild 4a). Die Paramentstollen wirken auch als Drainage an der Grenzfläche zwischen Lockergestein und Fels.

Aus den erstellten Paramentstollen wird das Lockergestein im Sohlbereich bis zum Fels mit dem Jetting konsolidiert (Bild 4b).

Als dritter Schritt werden in den Paramentstollen massive Betonwiderlager ausgeführt (Bild 4c). Somit sind die Fundationen des künftigen Kalottengewölbes bis auf den Fels geführt und so für den nachfolgenden Ausbruch der Kalotte vorbereitet.

Die ca. 8 m hohe Kalotte wird nach der vorausseilenden Erstellung eines doppelten Jettingschirmes und der Ortsbrustsicherung, in Abschlügen von 1 m, ausgebrochen (Bild 4d).

Infolge der fächerförmigen Ausbildung des Jettinggewölbes variiert die Spannweite des Kalottenausbruches zwischen 20 und 24 m. Als Ausbruchsicherung ist Spritzbeton vorgesehen.

Nach dem in Längsrichtung abgestuft ausgebrochenen Strosse und Sohle wird das Sohlgewölbe eingezogen und an die Betonwiderlager angeschlossen (Bild 4e).

Bild 4a: Kaverne Ost – Ausbruch und Sicherung Paramentstollen

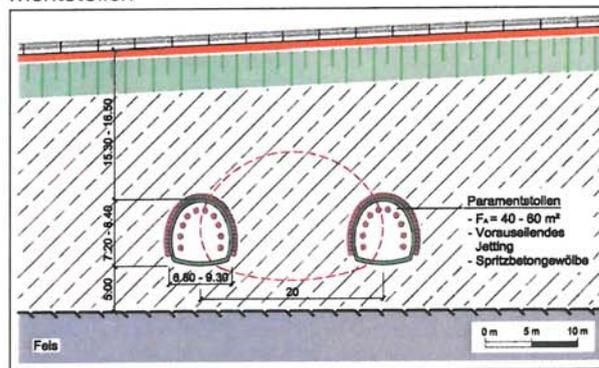


Bild 4b: Kaverne Ost – Erstellung Fundationskörper aus Jetting

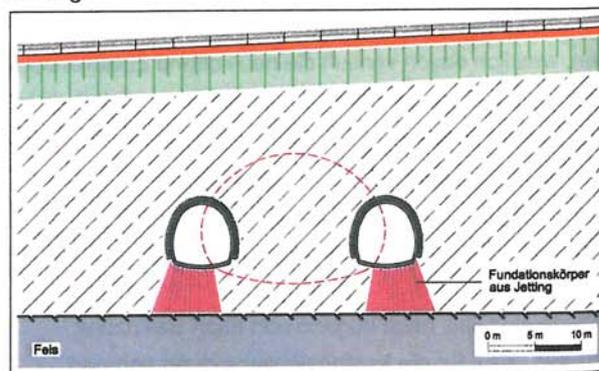


Bild 4c: Kaverne Ost – Erstellung Betonwiderlager

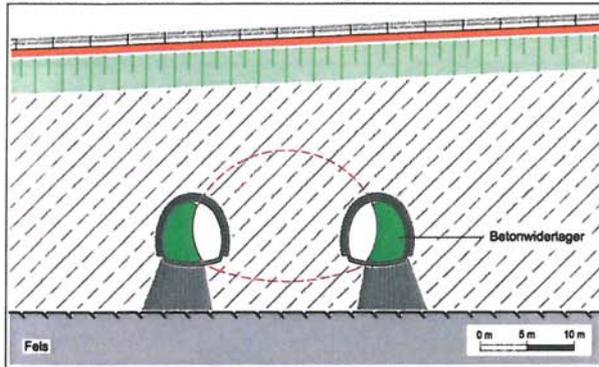


Bild 5a: Kräftespiel – Kaverne Ost – Äussere Belastung

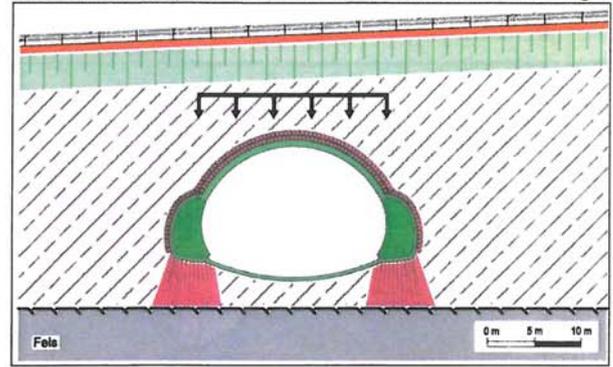


Bild 4d: Kaverne Ost – Ausbruch und Sicherung Kalotte

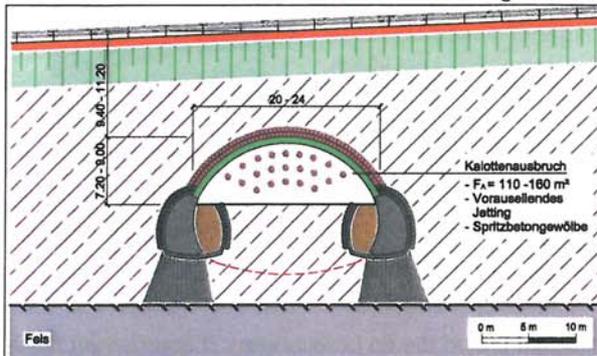


Bild 5b: Kräftespiel Kaverne Ost – Kalottengewölbe

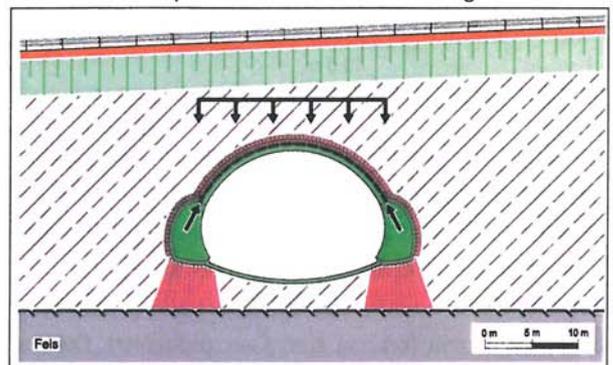


Bild 4e: Kaverne Ost – Strossen- und Sohlenausbruch

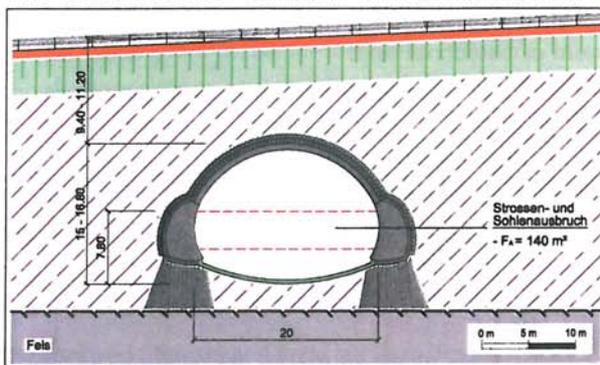
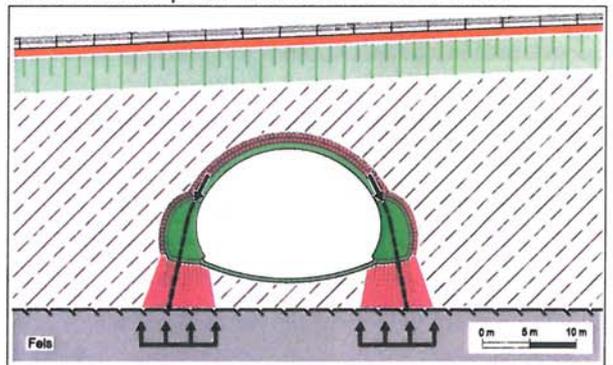


Bild 5c: Kräftespiel Kaverne Ost – Fundationen



Die so entwickelte Lösung:

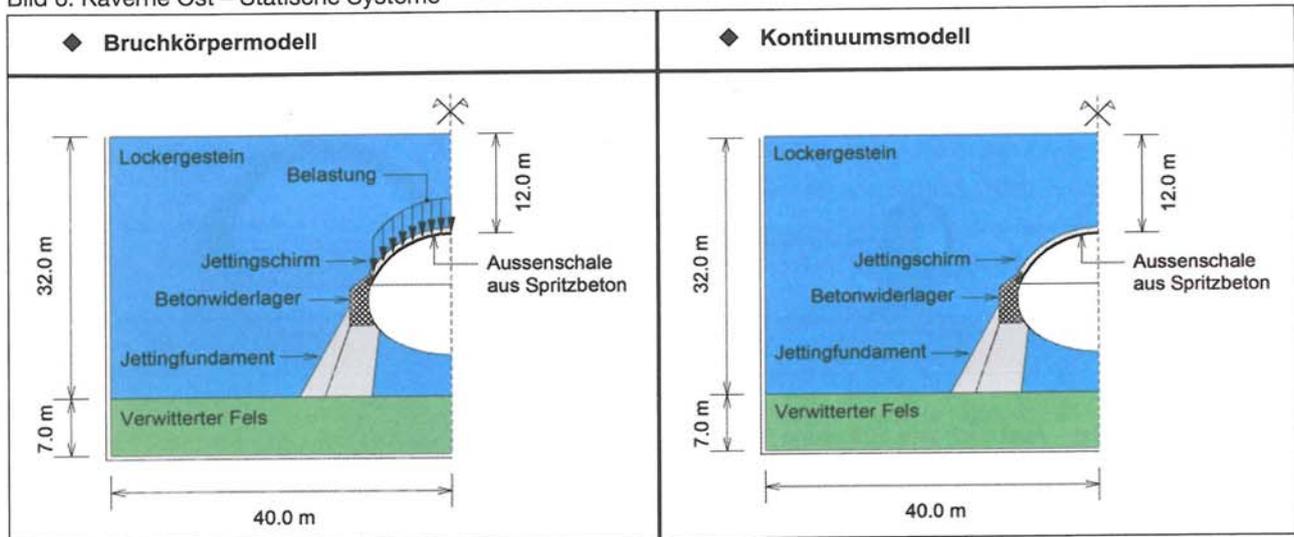
- ist klar und übersichtlich,
- garantiert ein steifes Verhalten,
- sieht anspruchsvolle Jettingsarbeiten vor,
- ermöglicht eine einfache und anpassungsfähige Bauausführung,
- mit annehmbar geringen Risiken.

Bild 5 stellt das Kräftespiel schematisch dar. Als äussere Belastung wirkt der Überlagerungsdruck, der durch die Spritzbetonschale der Kalotte aufgenommen wird (Bild 5a). Aus Bild 5b wird klar wie die Belastung auf das Kalottengewölbe von den massiven Betonfundamenten aufgenommen wird. Die vertikale Belastung wird somit durch die Betonwiderlager und ihre Jetting-Fundamenten direkt auf den Fels geleitet (Bild 5c).

3. Statik

Die statische Berechnung hatte für dieses Bauprojekt eine besondere Bedeutung. Sie diente für die Bestätigung des Entwurfskonzeptes und zur Festlegung der Abmessungen und Bewehrungsinhalte. Für die Berechnung der Schnittkräfte wurde ein Bruchkörpermodell, bzw. für die Schätzung der Verformungen ein Kontinuumsmodell angenommen (Bild 6). Die Belastung aus dem Auflockerungsdruck wurde sowohl mit der Silotheorie, wie auch mit dem vollen Überlagerungsdruck gemäss Norm SIA 197 für oberflächennahen Tunnel, analysiert. Die Berücksichtigung der Silotheorie hätte eine Verminderung von circa 45 % vom gesamten Überlagerungsdruck gebracht.

Bild 6: Kaverne Ost – Statische Systeme

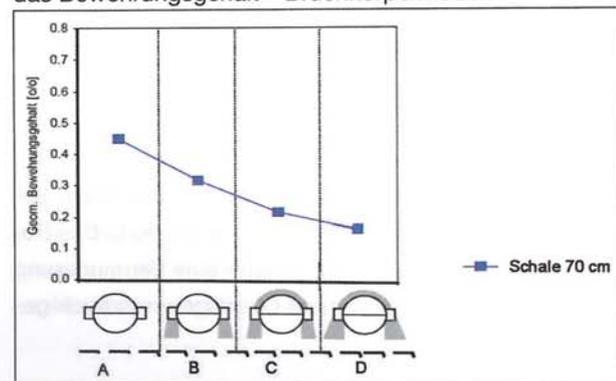


Auf Bild 7 wird der Einfluss der konstruktiven Massnahmen auf das Bewehrungsgehalt dargestellt. Der Fall «A», links auf der Horizontale, stellt die theoretische Situation einer Spritzbetonschale, ohne jegliches Jetting, dar. Beim Fall «B» wurden die Fundationskörper aus Jetting unter den Paramentstollen, bis zum Fels, modelliert. Der Fall «C» berücksichtigt zusätzlich das Jettingewölbe. Der Fall «D», als letzter Berechnungsfall hier ganz rechts dargestellt, veranschaulicht den günstigen Effekt der Fundationsverbreiterung nach Aussen.

Bei den Resultaten ist es interessant zu erkennen wie die Geschlossenheit des Entwurfskonzeptes durch die statische Berechnung bestätigt wurde. Die Foundation bis zum Fels, sowie das doppelte Jettingewölbe ermöglichen, für eine gewählte 70 cm-starke Spritzbetonschale, das Bewehrungsgehalt von 0.45 % auf 0.2 % zu bringen.

Es sei an dieser Stelle auch auf die konstruktiven Aspekte der aussergewöhnlich dicken Spritzbetonschale, die nicht mit Netzen sondern mit speziell ausgeführten Gitterträgern bewehrt wird, hingewiesen (Bild 9).

Bild 7: Kaverne Ost – Einfluss diverser Massnahmen auf das Bewehrungsgehalt – Bruchkörpermodell



Des Weiteren, aus dem Verlauf der Kurve sieht man eindeutig die relative Bedeutung der verschiedenen Massnahmen, die auch bei der Analyse der Oberflächensetzungen zu erkennen ist.

Auf Bild 8 sind die so berechneten, theoretischen Oberflächensetzungen dargestellt, die dank der gewählten Massnahmen, auf ein Minimum reduziert werden. Zu betonen ist, dass folgende Einflüsse bei dieser Darstellung nicht einberechnet sind:

Bild 8: Kaverne Ost – Einfluss diverser Massnahmen auf die Oberflächensetzung – Kontinuumsmodell

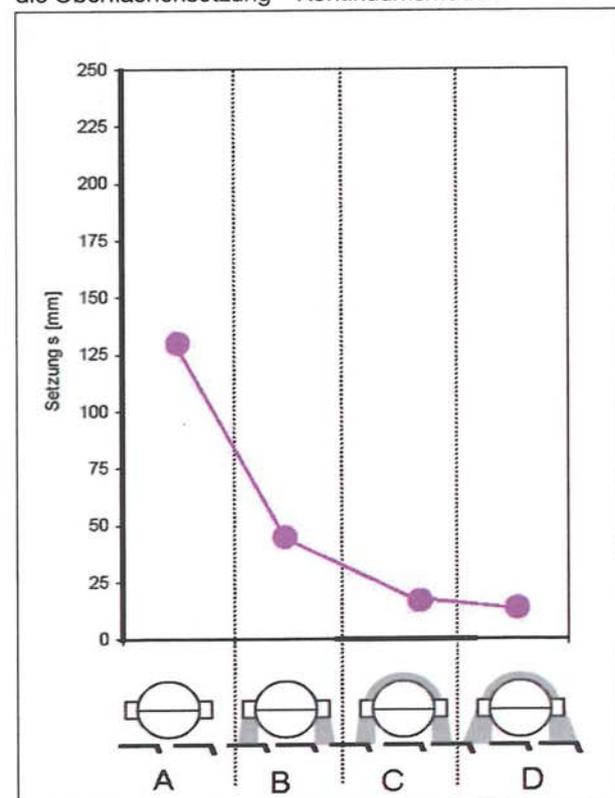
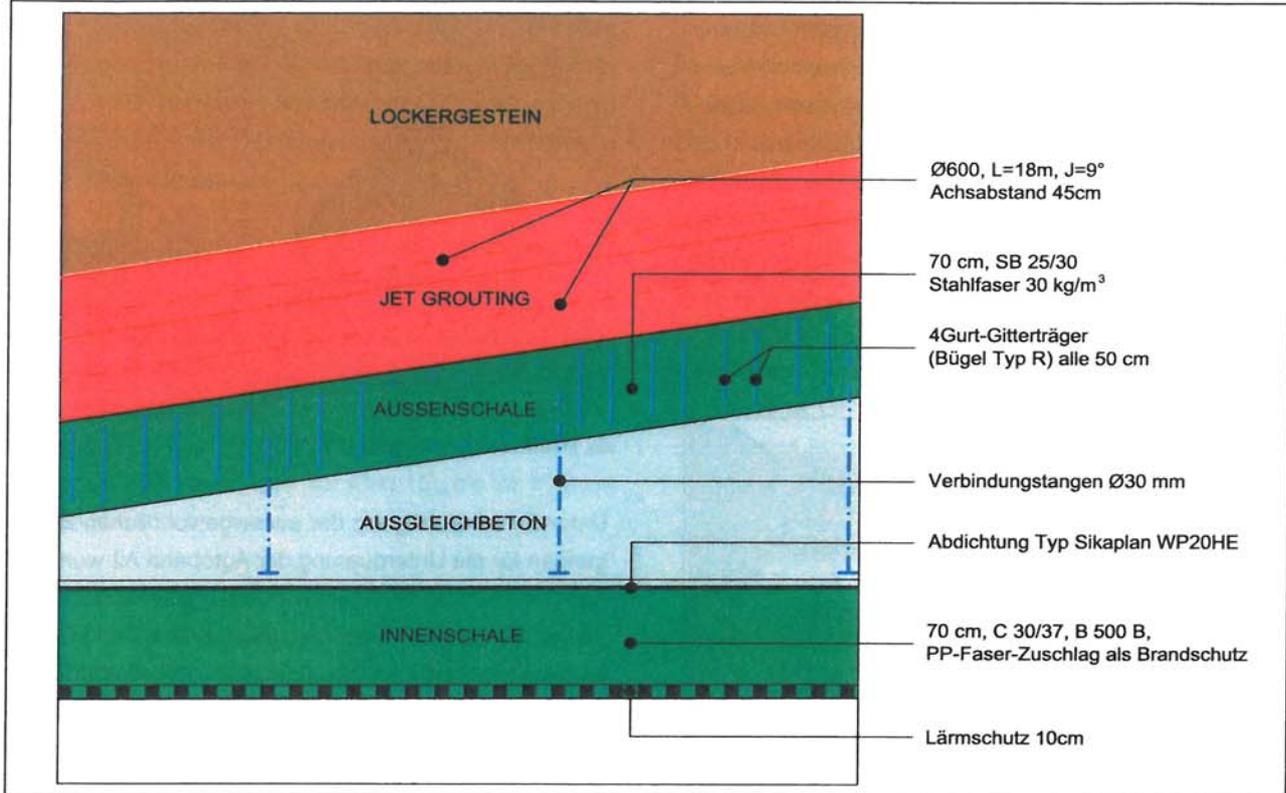


Bild 9: Ausbruchssicherung und Innenschale – Konstruktionsdetail



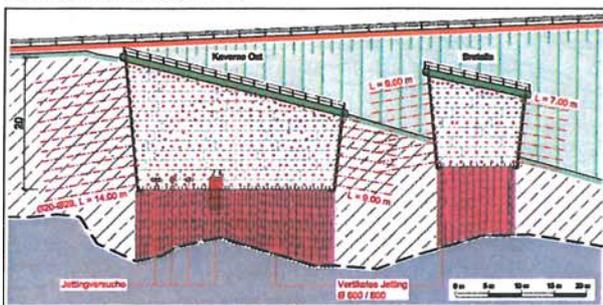
- die Voreinschnitte,
- die Paramentstollen,
- das Jetting,
- das Kriechen und das Schwinden.

4. Bauvorgang

Für die Ausführung der Voreinschnitte wurde eine Nagelwand vorgesehen (Bild 10).

Die passiven Stahlanker (Länge bis 18 m, Raster 1.5 x 1.5 m, Bohrdurchmesser 130 mm) konnten somit auch für die Stabilität der Ortsbrust der ersten Ausbruchsetappe einberechnet werden.

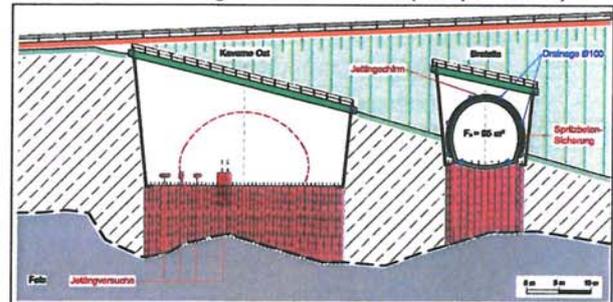
Bild 10: Voreinschnitte



Nach der Erstellung der Voreinschnitte, bei welchen auch die Jettingversuche angeordnet wurden, ist die Ausführung des Bretella-Tunnels vorgesehen. Für diesen einspu-

rigen Tunnel, als Vollausbau, wurde auch eine voraussehlende Jettingsicherung und eine Spritzbetonschale, sowie eine Konsolidation bis zum Fels, vorgesehen (Bild 11).

Bild 11: Bretella Lugano – Bellinzona (Einspurtunnel)



Danach folgt die Ausführung der Kaverne Ost. Auf Bild 12 ist somit die Situation nach dem Ausbruch beider Röhren dargestellt. Links auf dem Bild die Kaverne Ost und rechts die Bretella Lugano – Bellinzona.

Bild 12: Kaverne Ost – Querschnitt

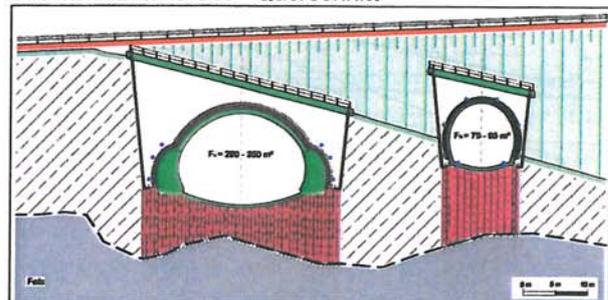
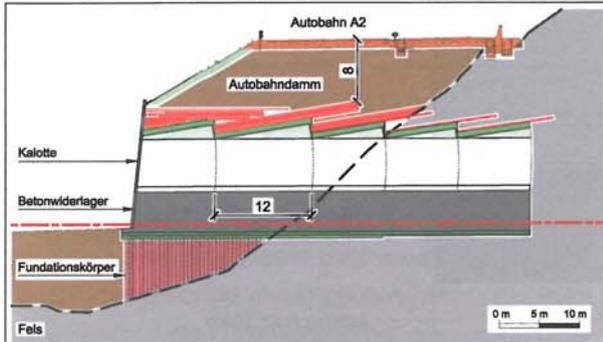


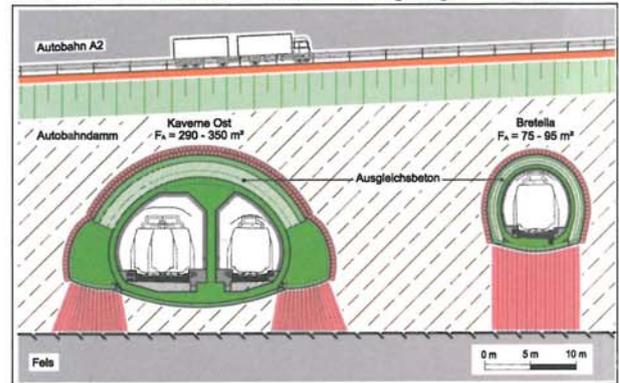
Bild 13 zeigt einen Längsschnitt durch die Kaverne Ost. Ersichtlich sind die 3 Jettingetappen bis zum verwitterten Fels, wo auf eine Rohrschirmsicherung gewechselt wird. Auf dieser Darstellung ist des Weiteren der massgebende Abstand zwischen den höheren Jettingskolonnen und der Autobahn A2 zu erkennen. Dieser beträgt 8 m. Es sei an dieser Stelle auch auf die fächerförmige Geometrie der Ausbruchsetappen (mit einer Länge bis zu 12 m) hingewiesen, die zu einer ungewöhnlichen Gesamtstärke des Spritzbetongewölbes in der Kalotte von 2.5 m führt.

Bild 13: Kaverne Ost – Längsschnitt



Dieses Merkmal ist auch auf Bild 14 zu erkennen. Die Ausbruchfläche der Kaverne Ost, inklusive Paramentstollen, erreicht somit 350 m². Aus betrieblichen und Sicherheitsgründen ist bei der Kaverne, mit dem endgültigen Ausbau, eine Trennwand vorgesehen.

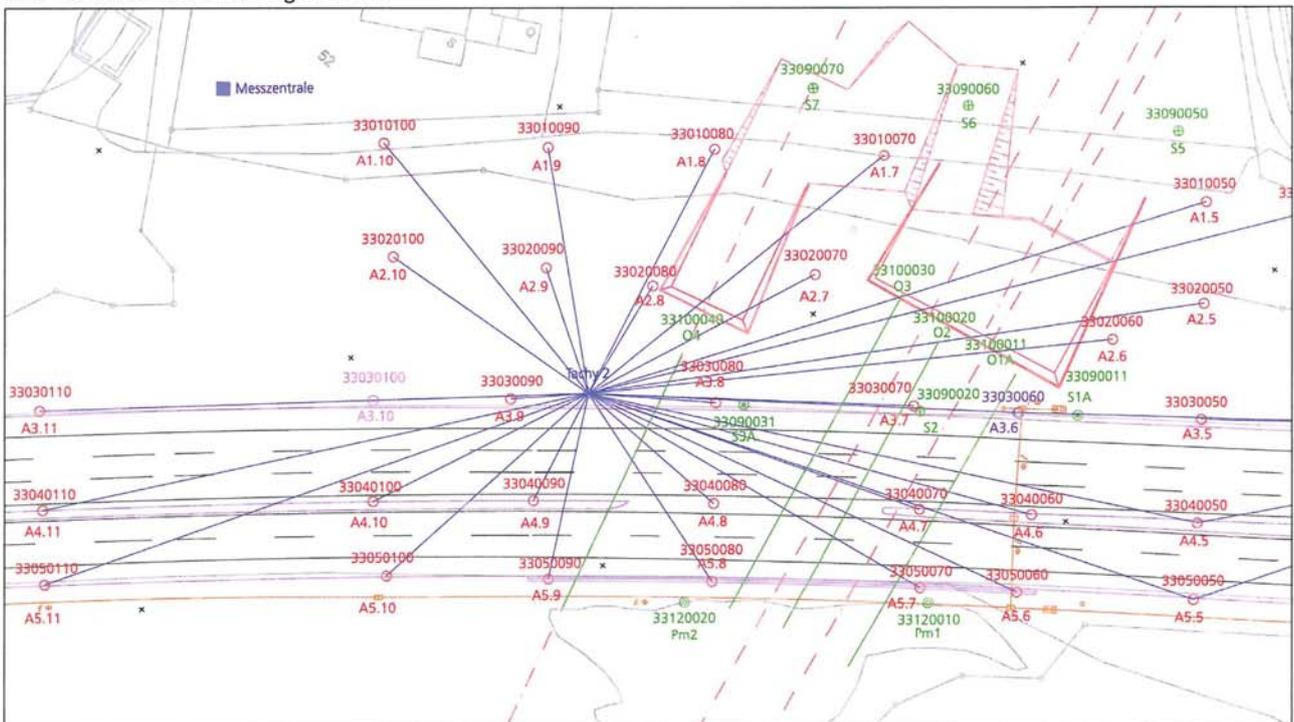
Bild 14: Kaverne und Bretella – Endgültiger Ausbau



5. Risiko-Management

Unter Berücksichtigung der aussergewöhnlichen Bedingungen für die Unterquerung der Autobahn A2 wurde eine systematische Risikoanalyse durchgeführt. Zu diesem Zweck wurde ein Sicherheitsplan erarbeitet, der auf eine bereits mehrmals angewendeten Methodik für städtische Tunnelbauprojekte sich basierte (z.B. Zimmerberg-Basistunnel). Mit dem Sicherheitsplan wird die Erkennung von Risiken bzw. die Massnahmendefinition vereinfacht und er bedient eine Visualisierung der von ihm behandelten Gegenstände (Fakten, Annahmen, Erkenntnisse, Massnahmen usw.), was für alle Projektbeteiligten (Bauherrschaft, Bauleitung, Projektverfasser, Unternehmer, Dritte usw.) sehr nützlich ist.

Bild 15: Messüberwachung Los 704



Das Risiko ist als Produkt von Schadensausmass und Eintretenswahrscheinlichkeit ($R = A \times W$) definiert. Mit dem Projekt, im Hinblick auf eine Schadensbegrenzung bzw. auf eine Reduktion der Eintretenswahrscheinlichkeit von unerwünschten Ereignissen, wurden deshalb Massnahmen identifiziert.

Um das so verbleibende Restrisiko (bzw. akzeptiertes Risiko) zu beherrschen und weiter zu reduzieren wurde als letzter Schritt ein Überwachungssystem definiert. Dies wurde, unter der Leitung von der Vermessungsabteilung ATG, in das spezifische Los 704 integriert. Die Überwachung sieht sowohl geodätische wie auch geotechnische kontinuierliche Messungen vor (Bild 15), die via Internet on-line abrufbar sind:

- 2 teodolitische Stationen auf der Autobahn A2 (Tachy1 und Tachy2)
- 4 horizontale Inklinometer (O1A, O2, O3, O4)
- 2 vertikalen Inkli-Extensometer (S1A, S3A)
- 4 vertikalen Inklinometer (S2, S5, S6 und S7)
- 2 Piezometer (PM1 und PM2)

(grün: Inklinometer, blau: geodätische Messlinien, rot: geodätische Messpunkten)

Mit der geotechnischen Messüberwachung ist die Meldung (auch via SMS) bei Überschreitung der vordefinierten Grenzwerten gekoppelt. Die geodätische Messüberwachung ist hingegen nur für die Voralarm-Stufe und für die Überprüfung der Gesamtsituation reserviert. Das System ist in 3 Stufen unterteilt:

- Warnung (Meldung an Projektverfasser, Bauleitung, Unternehmer),
- Voralarm (Meldung an erweiterte Gremium und Massnahmendefinition),
- Alarm (Meldung an erweiterte Gremium und Massnahmendefinition),

wobei zu bemerken ist, dass die Alarm-Stufe nur aus formellen Gründen aufgelistet wurde.

Das System kann des Weiteren den Verkehr auf der Autobahn, unter Einbezug der Kantonspolizei, mit einer automatischen Ampelanlage führen.

6. Projektbeteiligte

Gesamtprojektleitung

AlpTransit San Gottardo SA, Bellinzona

Vor- und Bauprojekt

Consorzio Ingegneri Piano di Magadino, Biasca

- Projektleitung:

Filippini & Partner Ingegneria SA, Biasca

- Projektingenieur: Dazio & Associati SA, Cadenazzo

- Entwurfskonzept: Prof. Dr. K. Kovári, Zürich

- Statik: RSE GmbH, Oberengstringen

Ausschreibung und Ausführungsprojekt

Consorzio Ingegneri Piano di Magadino, Biasca

im Subakkord von

Consorzio ITC (ITECSA – Toscano), Lugano