Besonderheiten der Bauausführung

Autor(en): **Schuler, Urs**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **102 (1984)**

Heft 49: **Zur Eröffnung des Loppertunnels - N8**

PDF erstellt am: **29.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-75582

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Besonderheiten der Bauausführung

Von Urs Schuler, Zürich

Installationen

Die schwierigen Zufahrtsverhältnisse zu den Nordportalen und der Wunsch, den Raum Hergiswil vor Immissionen des Baubetriebs zu schützen, legten es nahe, den Tunnel - trotz unterschiedlichster Bauverfahren im Fels und Lokkergestein - auf die ganze Länge vom Südportal aufzufahren und auszubauen. Während die Schlafbaracken und die Kantine in den Raum Niederstad zu liegen kamen, wurden Werkstatt und Spritzbeton-Mischanlage im Portalbereich installiert. Zwei Elektrokompressoren mit einer Leistung von 60 m³/min versorgten die Baustelle mit Druckluft. Das Druckwasser wurde mittels zweier Hochdruckpumpen dem Alpnachersee entnommen.

Die Belüftung der Arbeitsstellen erfolgte in einer ersten Phase durch einen Korfmann-Ventilator von 23 m³/s Leistung über Kunststofflutten ∅ 1,60 m. In der Tunnelverzweigung übernahmen kleinere Ventilatoren die Frischluft und bewetterten die Arbeitsstellen in den vier Paramentstollen über Lutten ∅ 0,80 m (Bild 1).

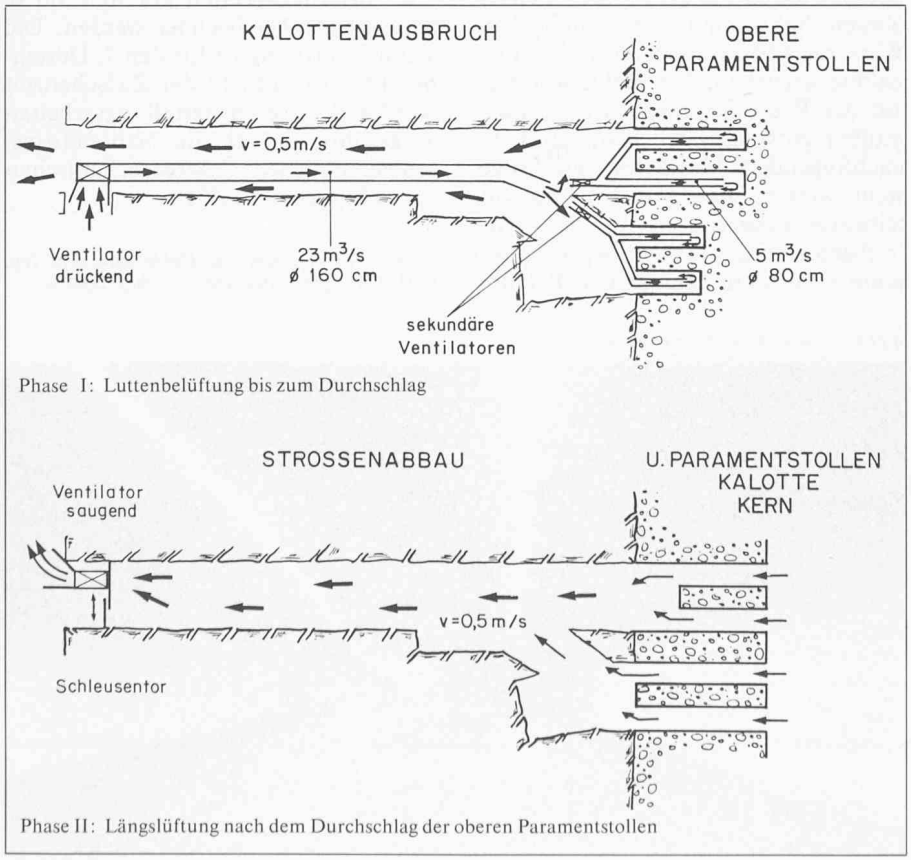
Nach dem Durchschlag der oberen Paramentstollen am 1. Juli 1981 konnte die Bewetterung vereinfacht werden: Ein saugender Ventilator sorgte für die Zuführung von frischer Luft von den Nordportalen durch den freien Tunnelquerschnitt bis zur Ausblasstelle am Südportal, wo durch ein Schleusentor die Längslüftung sichergestellt wurde.

Der Abtransport des Ausbruchmaterials erfolgte geleiselos. Es standen drei knickgelenkte Muldenkipper Cat 621 mit je 18 m³ Fassungsvermögen im Einsatz.

Bauvorgang in der Felsstrecke

Auf die gesamte Länge der Felsstrecke wurde der Tunnel im Kalottenvortrieb aufgefahren. Der Strossenabbau und der Rigolenausbruch erfolgte nach dem Durchschlag der Paramentstollen im Lockergestein, so dass die Sprengarbeiten nicht durch Lutten behindert wurden. Als Bohrgerät war ein zweiarmiger Hydraulikboomer eingesetzt. Die mittlere Abschlagslänge betrug beim Kalottenvortrieb 3,30 m, beim Strossenabbau 4,90 m.

Bild 1. Schema der Bauventilation



Für die Wahl des Kalottenausbruchs waren folgende Gegebenheiten und Erfahrungen massgebend:

- Im Flysch und im Bereich des Lopperbruchs wurde der Vollausbruch als fraglich beurteilt.
- Im Bereich der Vorsortierspur und der Verzweigung erweitert sich das Profil auf eine Breite von 24 m.
- Gegenüber dem Vollausbruch ist die Sicherheit vor Ort grösser, die Ausführung von Felssicherungen zugänglicher, und das Profil kann genauer eingehalten werden.

Unmittelbar hinter jedem Abschlag wurden 3 cm Spritzbeton als Kopfschutz aufgebracht. Im Flysch mussten zur Sicherung des Hohlraums zusätzlich Anker und Netze eingebaut werden, während im Kieselkalk das Versetzen einzelner Anker genügte. Wie gutmütig das «Streichen» und «Fallen» der Schichtung war, zeigte sich in der Verzweigung: Auch in diesem 24 m breiten und flachen Profil genügten als erste Felssicherung einige wenige Anker. Erst nach dem Abschluss des Kalottenvortriebs wurde systematisch pro 1,50 m² Felsfläche ein Mörtelanker von 5 bis 8 m Länge versetzt (Bild 2).

Als Besonderheiten sind zu erwähnen:
a) Da Flyschschiefer als Gasmuttergestein und Kieselkalke als Träger von flüssigen Kohlenwasserstoffkondensaten bekannt sind, wurden in der Kalotte dem Vortrieb 80 bis 100 m vorausgehende Bohrungen ausgeführt. Die gemessenen Gaskonzentrationen erreichten jedoch nie die untere Explosionsgrenze.
b) Der Lopperbruch, d.h. der Übergang vom Schrattenkalk zum Kieselkalk, war mit keinen bautechnischen Schwierigkeiten verbunden. Erwähnenswert ist hingegen das etwa 50 m vor dem eigentlichen Lopperbruch im Schrattenkalk angefahrene grössere Karstsystem, welches vollständig mit Ton ausgefüllt war. In dieser etwa 25 m langen Karstzone ereigneten sich durch ausfliessenden Ton drei Niederbrüche. Die Verhältnisse erforderten den Einbau von Stahlbogen, verbunden mit Spritzbeton und auf etwa 8 m Länge Marciavantivortrieb. Die Karsthöhlen wurden mit Pumpbeton verfüllt. Nach dem Ausbruch der Kalotte wurde durch Schlagbohrungen die Ausdehnung des Karstsystems sondiert. Es zeigte sich, dass streckenweise die ganze Tunnelröhre in dem mit Ton gefüllten Karstsystem lag. Auf Grund einer umfangreichen Sondierkampagne wurde das weitere Vorgehen im Detail festgelegt. Das Hauptproblem bestand im Unterfangen der Einbaubogen. In einem ersten Schritt wurden die Bogenfüsse auf Kämpferhöhe durch einen Betonriegel

miteinander verbunden. Dann erfolgte die Verankerung dieses Riegels mit 50 t starken, bis 22 m langen Vorspannankern im sondierten Fels. Anschliessend wurde die Seitenstrosse in Abschnitten von 2 m im Schlitz ausgehoben und der betonierte Abfangträger unterfangen. Diese Arbeiten wurden vor dem Ausbruch der Mittelstrosse ausgeführt (Bild 3).

Bauvorgang in der Lockergesteinsstrecke

Die 250 m lange Lockergesteinszone war mit dem Haupt- und dem Anschlusstunnel zu durchfahren. Der Gehängeschutt setzte sich weitgehend aus locker gelagerten Schottern und Blökken zusammen und erwies sich als kohäsionslos und damit als stark niederbrüchig. Der Anteil an Blöcken grösser als 0,50 m³ betrug im Mittel 22 Prozent. In diesen schwierigen Verhältnissen kam die vom Projektverfasser vorgesehene «deutsche Bauweise» zur Anwendung (Bild 4).

Obere Paramentstollen

Bei den vorstehend beschriebenen geotechnischen Verhältnissen mussten praktisch auf die ganze Länge der Paramentstollen die Verzugsbleche als «Marciavanti» eingebaut werden. Mit folgenden Vorgehen konnten Niederbrüche weitgehend verhindert werden:

- Ins Profil einspringende Blöcke wurden nicht gesprengt, sondern mit Hydraulikgeräten gespalten.
- Um die Verzugsbleche vortreiben zu können, musste das Material im Schlitz zwischen Stollenleibung und Kern von Hand abgebaut und die Enden der Verzugsbleche mit Spritzbeton abgestützt werden.

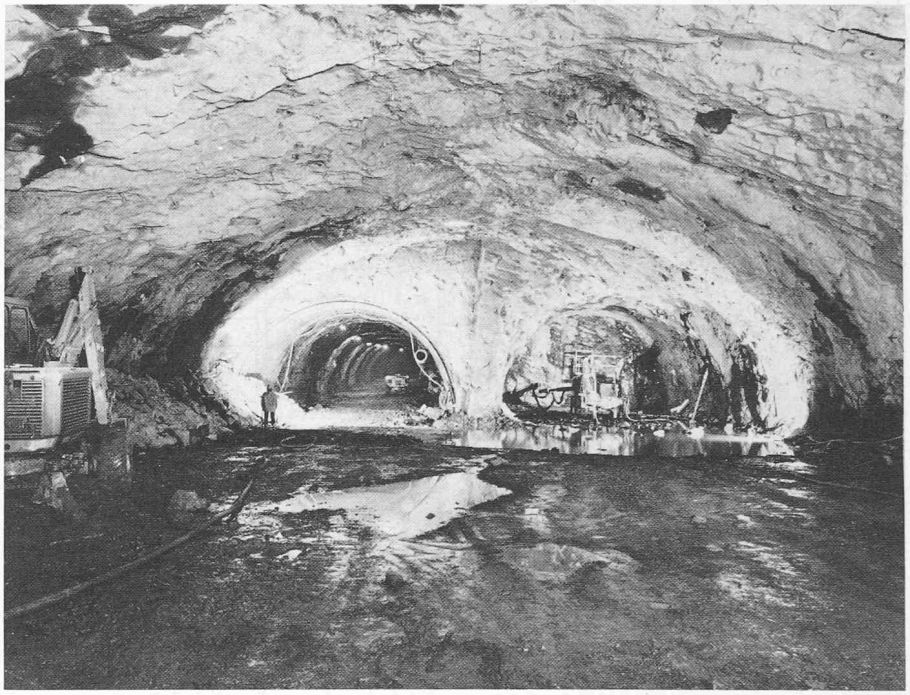


Bild 2. Kalottenausbruch in der Verzweigung. Links Haupttunnel Richtung Luzern mit Stahleinbau zur Sicherung des Mittelpfeilers, rechts Beginn des Ausbruchs im Anschlusstunnel

- Nach dem Stellen eines weiteren Einbaubogens erfolgte der Kernabbau und die Spritzbeton-Brustsicherung in Etappen von etwa 60 cm von oben nach unten (Bild 5).

Trotz diesem sorgfältigen Vorgehen konnte eine zum Teil recht starke Auflockerung des Gebirges nicht verhindert werden.

Die kleinen Abbauetappen und der grosse Blockanteil bedingten weitgehend Handarbeit. Einzig beim Abbau des Kerns und beim Aushub für die Sohlsprenger konnte ein Menzi-Muck eingesetzt werden. Das Schuttern des Materials auf eine maximale Länge von 220 m Länge erfolgte mit einem Trax Cat. 941. Je nach Blockanteil wurden Vortriebsleistungen von wenigen Dezimetern bis anderthalb Meter, im Mittel 1,20 m pro Arbeitstag erreicht.

Untere Paramentstollen

Auch diese wurden im Marciavantivortrieb, mit sorgfältig gesicherter Ortsbrust und ohne Sprengen der Blöcke aufgefahren. Zudem mussten in jedem Paramentstollen die Elemente der beiden 10 m langen Abfangträger umgesetzt werden, so dass die im Vortriebsbereich frei stehenden oberen Einbaubogen vorn und hinten auf mindestens drei standfeste Profile abgestützt werden konnten (Bild 6). Die Vortriebsleistung betrug im Mittel 3 m pro Arbeitstag.

Bild 3. Tunnelquerschnitt in der Karstzone

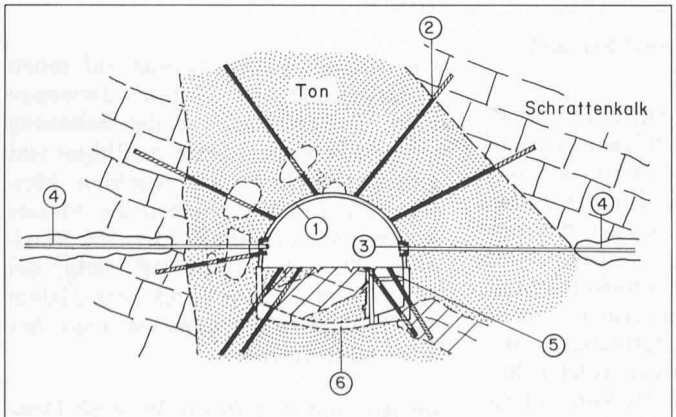
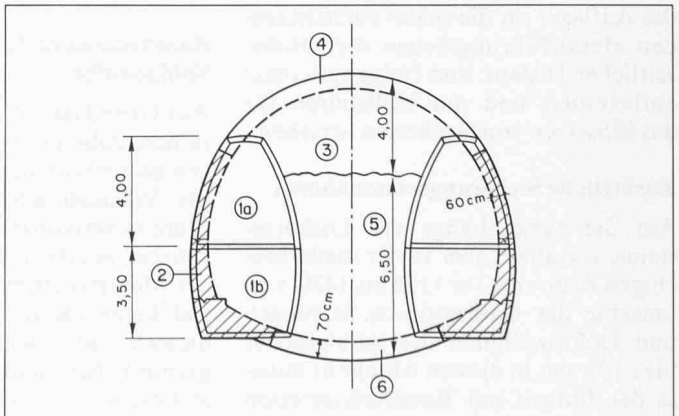


Bild 4. Deutsche Bauweise, genereller Arbeitsablauf



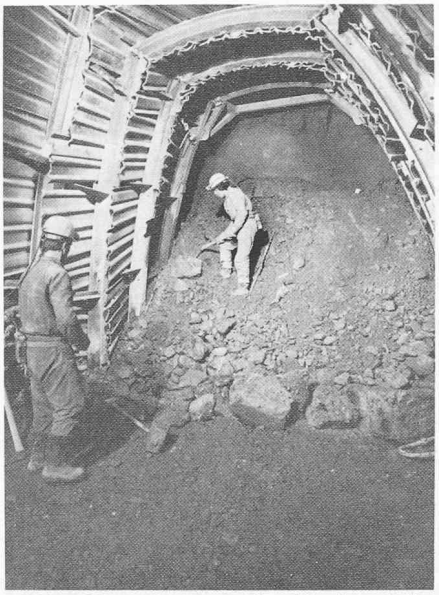
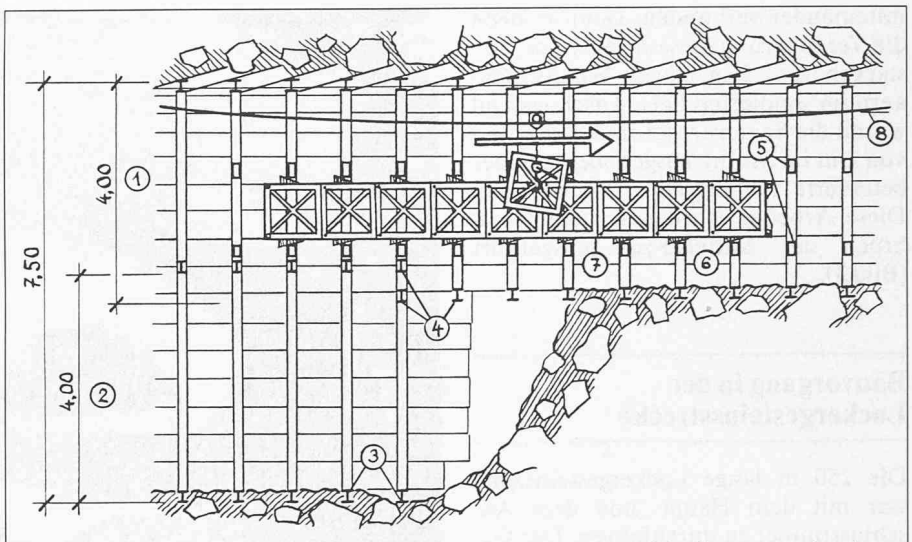


Bild 5. Oberer Paramentstollen Marciavanti-Vortrieb mit Hilfsbogen. Ortsbrust im oberen Bereich mit Spritzbeton gesichert.



1 Einbau oberer Paramentstollen (HEB 160 und Marciavanti)
2 Einbau unterer Paramentstollen
3 Sohlsprenger (HEB 140)
4 Sohlsprenger bzw. Mittelspriess (HEB 140)
5 Auflagerkonsolen an Einbaubogen angeschraubt
6 Holzkeile
7 Abfangträger (10 Elemente à 1 m)
8 Drahtseil als Verschiebebahn

Bild 6. Arbeitsvorgang im unteren Paramentstollen

Betonierung der Widerlager und Paramente

Zur Vergrösserung des Auflagers wurde das Widerlager auf die ganze Breite des Paramentstollens ausgebildet (Bild 4). Die armierten Paramente von 5,60 m Höhe mussten infolge der nachträglich eingebauten Holzspriessung in zwei Etappen ausgeführt werden (Bild 7). Die Betonierung erfolgte bei den Widerlagern in Etappenlängen von 18 m, bei den Parametern in solchen von 6 m. Der Beton PC 325 wurde über Pumpleitungen bis zu 100 m Länge ohne Zusatzmittel eingebracht.

Diese auf engstem Raum durchzuführenden Arbeiten wurden dadurch erschwert, dass in den Paramentstollen gleichzeitig die Profilregulierung im Gange war und an besonders niederbrüchigen Stellen Verfestigungsinjektionen in den Kalottenbereich ausgeführt wurden.

In einem weiteren Arbeitsgang wurde das Auflager für die später aufzusetzenden Messerführungsbogen nach Höhe, seitlicher Distanz und Neigungswinkel aufbetoniert und mit Hüllrohren für das Einsetzen von Steckeisen versehen.

Zusätzliche Sicherungsmassnahmen

Auf die ganze Länge des Lockergesteins, vor allem aber in der niederbrüchigen Zone von Tm 1350 bis 1430, verursachte der Gebirgsdruck Setzungen und Deformationen des Stahleinbaus bis zu 30 cm. In diesem Abschnitt musste der Einbau mit Rundholzspriessen und Spritzbeton verstärkt werden.

Die nachträglichen Setzungen hatten im weiteren ein Unterprofil im Bereich der Kämpfer zur Folge. In diesen Abschnitten musste vor dem Betonieren der Paramente der Stahleinbau in kleinsten Etappen ausgebaut und profilgerecht wieder eingebaut werden. Um Niederbrüche zu vermeiden, wurde das Gebirge vor dem Ausbau des Stahlverzugs mit Polyurethan injiziert.

Ursprünglich war vorgesehen, die Paramentstollen vor dem Kalotten- und Kernausbruch auf die ganze Länge der Lockergesteinsstrecke aufzufahren. Infolge der grossen Setzungen und Deformationen, die zum Teil in unmittelbarem Zusammenhang mit Wassereinbrüchen standen, wurde dieser Arbeitsablauf im Hinblick auf einen, dem Ausbruch der Paramentstollen rascher folgenden Ringschluss des Aussengewölbes umgestellt. Nachdem im Mittel jeweils 50 m der Paramentstollen mit eingebautem Widerlager und Parament fertiggestellt waren, folgten über diese Länge die weiteren Arbeiten für den Ringschluss.

Kalottenausbruch, Kernabbau und Sohlgewölbe

Auf Grund der beim Auffahren der Paramentstollen vorgefundenen schwierigen geotechnischen Verhältnisse wurde der Vollausbruch der Kalotte mittels Marciavantivortrieb als kaum durchführbar beurteilt. Obwohl bekanntlich der Messervortrieb im blockigen Material keine ideale Bauweise ist, wurde diesem aus wirtschaftlichen, programmlichen und nicht zuletzt bautechnischen Gründen der Vorzug gegeben.

Die Messervortriebsausrüstung ist in Bild 8 dargestellt: Die drei Messerstützbogen wurden auf dem betonierten Parament mit hydraulischen Pressen gerichtet und gehalten. Nachdem alle 17 Messer einzeln um 1,25 m vorgetrieben waren, klappte man die Füsse des jeweils hintersten Bogens ein und versetzte ihn nach vorne. Der Abbau des Materials vor der Messerschneide erfolgte mit der gleichen Sorgfalt wie in den Paramentstollen, d.h. die Blöcke wurden gespalten und der freie Schlitz zwischen Messer und Kern mit Spritzbeton abgedeckt. Der Kern blieb im natürlichen Böschungswinkel zur Stützung der Ortsbrust stehen. Bei besonders niederbrüchigem Material war es nötig, dieses vorgängig zu verfestigen, sei es durch Zementinjektionen aus den oberen Paramentstollen oder durch Polyurethan-Injektionen aus der Ortsbrust. Im Schutze des Messerschwanzes konnte dann das Gewölbe armiert und in Etappen von 2,50 m betoniert werden. Je nach Blockanteil im Messerbereich betrug der Vortrieb 4 bis 5 m pro Woche.

Die Messerausrüstung war auf einen Gebirgsdruck von 25 t/m² dimensioniert. Stellenweise war die Belastung grösser, besonders beim Aufliegen von grossen Blöcken auf einzelnen Messern. Für das Vorschieben der Messer waren im Normalfall 70 t, im Maximum 225 t Vorschubkraft nötig. Bei einseitigem Gebirgsdruck war zudem das Einhalten der genauen Lage der Stützbogen erschwert.

Im Abstand von 20 bis 30 m ab Ortsbrust folgte in Etappen von etwa 10 m Länge der Kernabbau und das Betonieren der Sohle.

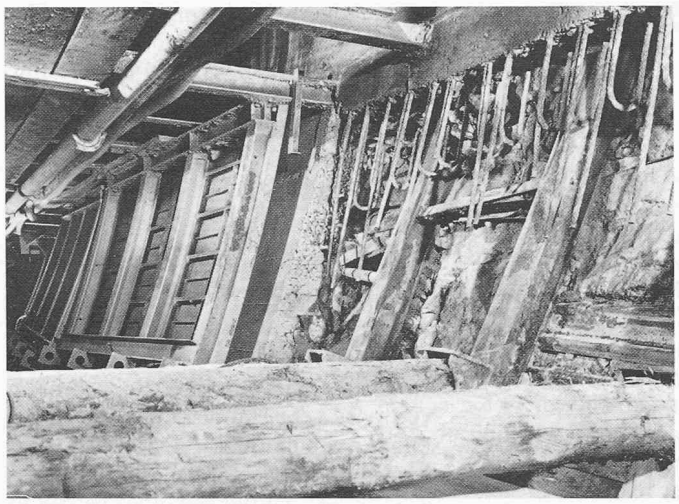


Bild 7. Betonieren der Paramente. Links: deformierte Einbaubogen, abgestützt mit Rundholzspriessen. Unten: Anschlusseisen für obere Paramentetappe. Rechts: fertig betoniertes Parament, davor Schalelement.

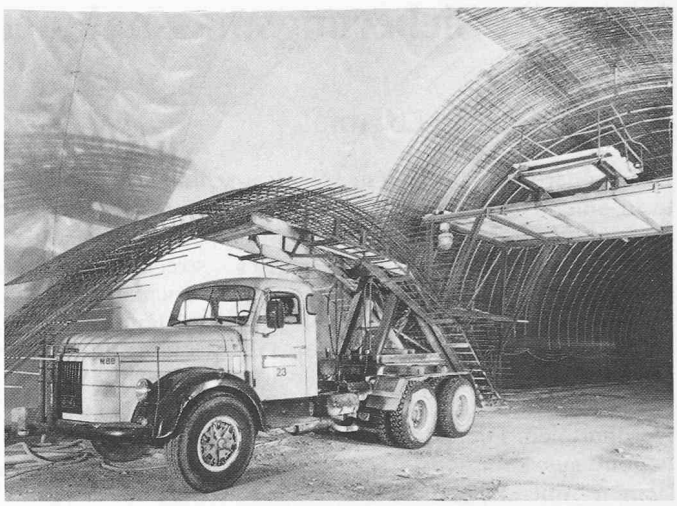


Bild 9. Armierung des Innengewölbes. Antransport eines vorgefertigten Armierungskorbes mit Spezialfahrzeug

Innenausbau

Ende 1981 war auf die ganze Länge der Felsstrecke der Ausbruch abgeschlossen, die Rigolen betoniert und der Sohlenausgleichsbeton eingebracht. Die Arbeiten für den Innenausbau wurden in der bekannten Reihenfolge ausgeführt und umfassten:

- 6 cm Spritzbeton und 2 cm Gunit als Isolationsunterlage
- Enkamat-Draingewebe (20 mm) und Sarnafil-Isolationsfolie (2 mm), welche punktweise befestigt und an die Sickerleitung angeschweisst wurde
- Innenringbeton, 30 cm stark, in Etappen von 8 m Länge
- Zwischendecke und Trennwand.

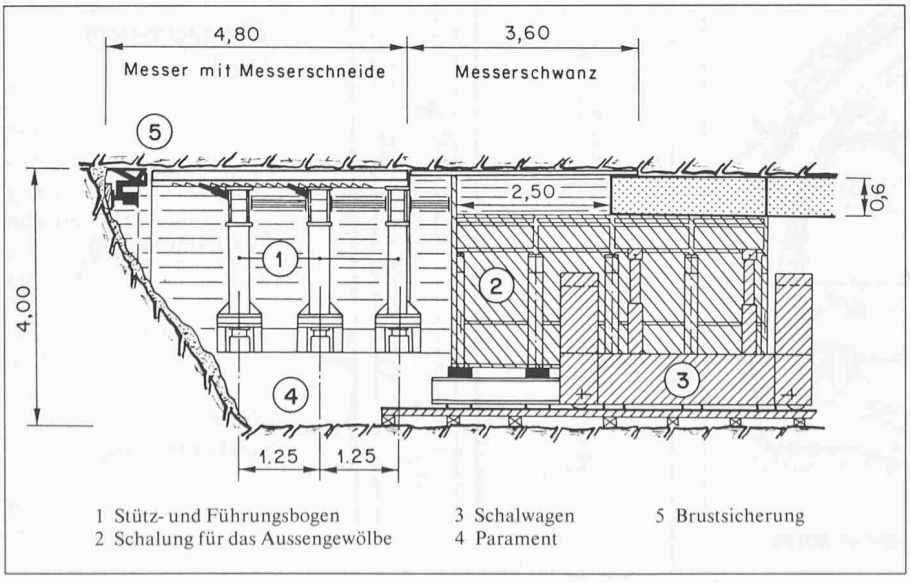
In der Verzweigung mit sowohl in der Breite als auch in der Höhe ändernden Profilabmessungen sind die Paramente nur bis unter die Zwischendecke betoniert. Das in Spritzbeton ausgeführte Gewölbe mit einer theoretischen Stärke von 35 cm ist an Ankern aufgehängt und hat folgenden Aufbau:

- Wasserableitungen mit Eternit-Halbschalen
- äussere, 10–15 cm starke und netzarmierte Schale mit Gunit-Deckschicht
- punktweise befestigte PVC-Isolationsfolie auf Drainmatte
- 2 cm starker Schutzgunit, «armiert» mit Drahtgewebe 20/20/1,5 mm
- innere, 15–20 cm starke Schale mit zwei Armierungsnetzen
- abgeglättete Gunit-Deckschicht.

Die Zwischendecke wurde im Verzweigungsbereich an genau versetzten, rostfreien Ankern aufgehängt, wobei die Verlängerungsstangen mit rostfreien Spezialmuttern gekuppelt worden sind. Hier und bei allen Gewölbeankern (1 Stück pro m²) erforderte die Abdichtung der Isolation an den Durchdringungsstellen besondere Sorgfalt.

Als weitere Massnahme zur Verhinderung von Deformationen und zur Aufnahme des Gebirgsdruckes wurde in der Lockergesteinsstrecke der Innenring als armiertes Gewölbe ausgebildet. In Zusammenarbeit mit dem Stahllieferanten wurde eine Lösung unter Verwendung von in Grösse und Form vorgefertigten Armierungsnetzen entwikkelt. Diese wurden auf der Baustelle zu 12 m langen Körben verarbeitet und mit einem Transportversetzgerät zur Einbaustelle gebracht (Bild 9). Dort wurden die Elemente in Querlage gedreht und hydraulisch in die richtige Lage gehoben. Durch das Verschweissen der beiden halbseitigen Korbelemente im Scheitel wurde die Konstruktion selbsttragend. Damit konnte vermieden werden, dass die Isolationsfolie mit Halterungen durchstossen werden musste.

Bild 8. Messervortrieb in der Kalotte, Längsschnitt



Adresse des Verfassers: *Urs Schuler*, dipl. Ing. ETH, Locher & Cie AG, 8022 Zürich.

Fotos:
- Maggia AG, Locarno
- O. Pfeifer, SWB, Luzern

Arbeitsgemeinschaft:
- AG Franz Murer, Beckenried
- Riva AG, Buochs
- Bürgi AG, Alpnach Dorf
- Imfeld & Camenzind AG, Alpnach Dorf
- Gasser AG, Lungern
- Locher & Cie AG, Zürich
- Prader AG, Zürich