

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 81 (1963)  
**Heft:** 37

**Artikel:** Bernhardin-Tunnel  
**Autor:** Pfister, R.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-66873>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 29.01.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## Bernhardin-Tunnel

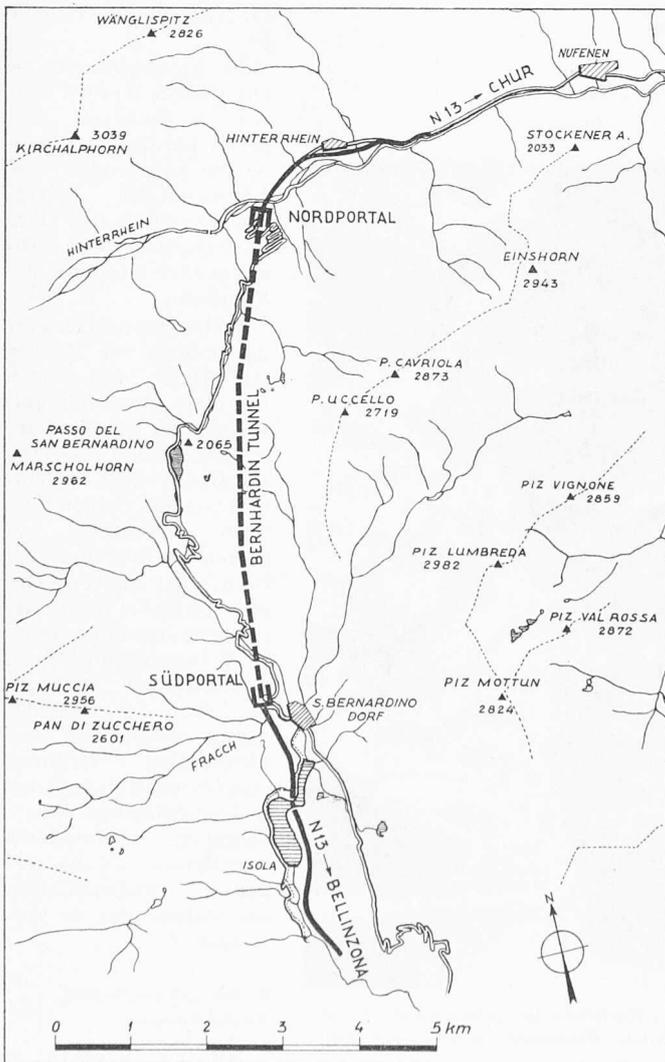
Ueber die Nationalstrasse 13, insbesondere im Gebiet des Bernhardinpasses, hat die Zeitschrift «Strasse und Verkehr» der VSS, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachmänner, in Nr. 8 des laufenden Jahrganges auf 46 Seiten folgende Beiträge veröffentlicht: Das 6. bündnerische Strassenbau- und Finanzierungsprogramm, von Regierungsrat *R. Lardelli*, Baudirektor des Kantons Graubünden, Chur. Die Zufahrten zum Bernhardintunnel, von *H. Fuhr*, Oberingenieur, Chur. Bündnerische Kunst- und Kulturstätten von europäischem Range längs der Bernhardinstrasse, von Dr. *Rudolf Jenny*, Staatsarchivar, Chur. Vorbereitung und Bau der Strasse Thuis-Rongellen, von *A. Schmid*, a. Oberingenieur, Maienfeld. Brücken an der N 13, von Dr. sc. techn. ETH *Christian Menn*, Chur. Die Nationalstrasse im Churer Rheintal, von Ing. *S. Davatz*, kant. Tiefbauamt, Chur. Planung und Bau der N 13 und A 19 im Raume Reichenau, von *E. Knecht*, Techn. Adj., kant. Obering., Chur. Die Strassenverlegung bei Sufers der Kraftwerke Hinterrhein im Rheinwald, mit Hinweisen auf die historische Trasseentwicklung, von *Hans Kradolfer*, Bauingenieur, Motor-Columbus AG, Baden. Probleme zur Planung der N 13 in der unteren Mesolcina, von Ing. *A. Zanetti* im Ingenieurbüro Dr. Lombardi und Ing. Gellera, Locarno.

In gegenseitiger Verständigung mit der VSS haben wir die Veröffentlichung der Beiträge über das Kernstück der

N 13, den Bernhardintunnel, übernommen, und wir danken Kantonsoberingenieur *H. Fuhr* in Chur sowie der *Elektrowatt AG* in Zürich für ihre massgebende Mitwirkung an dieser Aufsatzreihe. Sie umfasst folgende Beiträge, die im Verlauf der kommenden Wochen hier erscheinen werden: Der Bernhardin-Strassentunnel, von *R. Pfister*, dipl. Ing., Elektro-Watt. Die Lüftung des Bernhardin-Tunnels, von *A. Heller*, dipl. Ing., u. *A. Schatzmann*, dipl. Ing., Elektro-Watt. Ein Beitrag zur Aerodynamik der Tunnellüftung von *J. Kempf*, dipl. Ing., Elektro-Watt. Die Beleuchtung des Bernhardin-Tunnels, von Ing. *G. Rieder*, Chur, und *M. Fischer*, dipl. Ing., Elektro-Watt. Stromversorgung, Sicherungs- und Ueberwachungsanlagen des Bernhardin-Tunnels, von *M. Fischer*, dipl. Ing., Elektro-Watt. Die Bauarbeiten am Bernhardin-Strassentunnel, Los Süd, von Ing. *E. Staub* und *H. Oswald*, dipl. Ing., Losinger & Co. AG, Locarno.

Zu guter Letzt wird *M. R. Roš*, dipl. Ing., in der SBZ über die Hinterrheinbrücke der N 13 bei Reichenau berichten.

Schliesslich ist vorgesehen, von allen Aufsätzen in «Strasse und Verkehr» und SBZ einen Gesamt-Sonderdruck zu erstellen, der im November dieses Jahres lieferbar sein wird.  
Die Redaktion



## Der Bernhardin-Strassentunnel

DK 625.712.35

Von *Rudolf Pfister*, dipl. Ing. ETH, Elektro-Watt, Zürich

### 1. Allgemeines

Die Bernhardinroute — von Bellinzona durch das Misox zur Passhöhe auf 2066 m ü. M., dann hinunter dem Rhein entlang nach Thuis und weiter bis Chur — zählte von alters her zu den bevorzugten Handelswegen zwischen Oberitalien und dem Süddeutschen Raume. Mit dem Bau der Eisenbahnen verlagerte sich dann das Schwergewicht des Verkehrs für einige Jahrzehnte auf die Schienenwege. Heute, im Zeichen des Automobils, kommt der Strassenverbindung über die Alpen wieder erhöhte Bedeutung zu. Als N 13 ist die Bernhardinroute, zusammen mit ihrer Fortsetzung bis zum Bodensee, Bestandteil des Schweizerischen Nationalstrassennetzes. Dank umsichtiger Planung der Kantone Graubünden und St. Gallen konnten schon beträchtliche Abschnitte der N 13 dem Verkehr übergeben werden und weitere stehen bereits im Bau. In wenigen Jahren wird die Ostschweiz über eine rasche, leistungsfähige und ganzjährig offenstehende Verbindung mit dem Süden verfügen.

Als Kernstück des ganzen Strassenzuges darf wohl der Alpentranch von Hinterrhein bis San Bernardino gelten. Erst dieser Strassentunnel kann Gewähr bieten für die Wintersicherheit der Route. Durch ihn wird der Scheitelpunkt des Alpenüberganges um rund 400 m auf Kote 1644 m ü. M. gesenkt. Etwa vier Dutzend Wendeplatten und enge Kurven werden ausgemerzt. Die Fahrzeit vermindert sich um rund eine halbe Stunde. Dem eiligen Fahrer aber — um auch die Kehrseite zu nennen — wird dabei ein reizendes touristisches Erlebnis entgehen.

Gemäss geltender Ordnung für die Nationalstrassen ist der *Kanton Graubünden* Bauherr des Bernhardintunnels. Er hat auch das vom Bundesrat im Januar 1961 genehmigte Vorprojekt erstellt. Die dem Bund zustehende Oberaufsicht wird durch das *Eidg. Amt für Strassen- und Flussbau* ausgeübt. Projektierung und Bauleitung wurden dagegen der *Elektro-Watt, Elektr. und Industr. Unternehmungen AG*, Zürich,

Bild 1. Bernhardintunnel, Lageplan 1:100 000

übertragen die ihrerseits die Ingenieurbüros Dr. Ch. Menn, Chur, und G. Rieder, Chur, zur Mitarbeit herangezogen hat.

## 2. Die Linienführung in Situation und Längenprofil

Die topographischen und geologischen Gegebenheiten haben die Lage der beiden Portale weitgehend vorgezeichnet. Im Norden kommt der Tunneleingang rd. 1 km südwestlich von Hinterrhein auf Kote 1613 m ü. M., im Süden knapp neben den westlichen Dorfrand von San Bernardino auf Kote 1631 m ü. M. zu liegen. An beiden Orten führt die bestehende Passstrasse in unmittelbarer Nähe vorbei und wird dort je kreuzungsfrei mit der N 13 verbunden. Die Anschlussbau-

werke können dabei in Kombination mit den Ausbruchdeponien erstellt werden.

Die direkte Verbindung beider Tunnel-Portale läuft genau in nordsüdlicher Richtung. Die Linienführung im Grundriss beschreibt jedoch eine leichte Ausbuchtung nach Westen. Die 6,6 km messende Tunnelstrecke ist in drei gleich lange Geraden aufgeteilt, die unter sich mit Bogen von 2000 m Radius verbunden sind (Bild 1). Damit wird die an sich eintönige und deshalb nicht ganz ungefährliche Tunnelfahrt etwas aufgelockert. Die künstliche Beleuchtung dient dabei dem Fahrer als optische Führung und kündigt die Richtungsänderungen schon auf grosse Distanzen an.

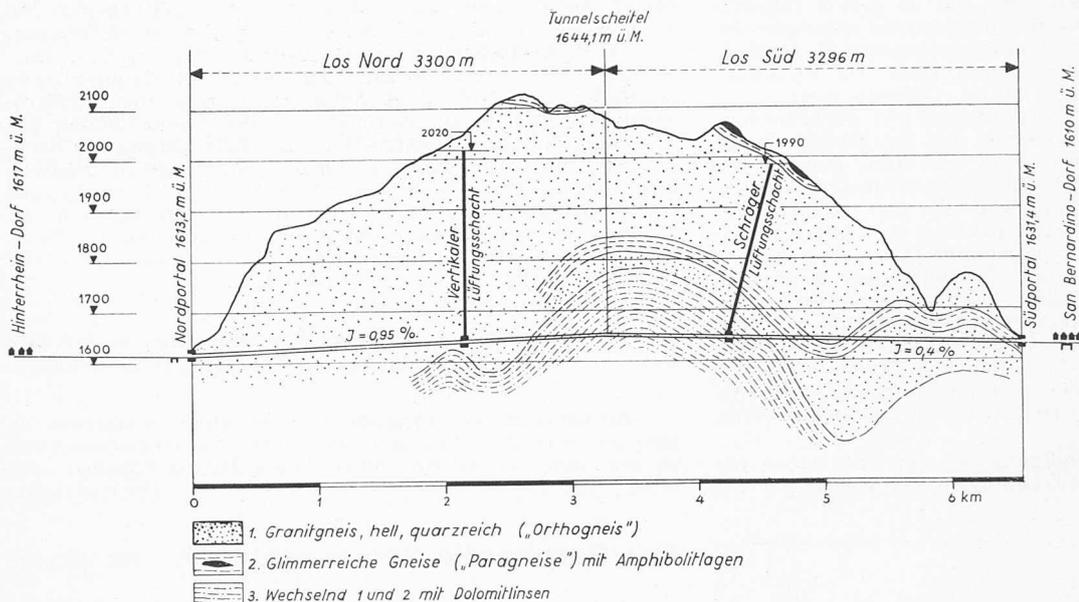


Bild 2. Geologisches Längenprofil des Bernhardintunnels. Längen 1:60 000, Höhen 1:15 000

In den Endstrecken des Tunnels sind ebenfalls Kurven angeordnet. Sie verhindern, dass der Automobilist bei der Ausfahrt schon von weitem durch das Tageslicht geblendet oder doch mindestens gestört wird. Die helle Portalöffnung wird erst in der bereits stärker beleuchteten Adaptionsstrecke sichtbar.

Die Portale selbst werden mit Rücksicht auf die Gefahr von Schneeverwehungen und lokalen Schneerutschen vom Berghang abgerückt, so dass je noch ein Stück Tunnelröhre im Tagbau zu erstellen ist.

In Abständen von je rund 750 m werden seitlich alternierend Nischen parallel zur Tunnelaxe angeordnet. Ihre Abmessungen gestatten das Ausstellen eines Lastwagens samt Anhänger ausserhalb der Fahrbahn.

Im Längenprofil steigt der Tunnel von Norden mit 0,95%, von Süden mit 0,4% zum Kulminationspunkt in der Tunnelmitte (Bild 2). Dieses Dachgefälle ist baulich bedingt, da der Vortrieb gleichzeitig von beiden Seiten her erfolgt. Das kleinere Gefälle ist dabei noch ausreichend, um eine saubere Wasserabführung zu gewährleisten. Steigungen über 1% sind dagegen sowohl aus bautechnischen Gründen (Gleisbetrieb) als auch aus betrieblichen Überlegungen (vermehrte Ventilation infolge erhöhter CO-Produktion der Fahrzeuge) zu vermeiden.

## 3. Die geologischen Verhältnisse

Mit der Beratung in

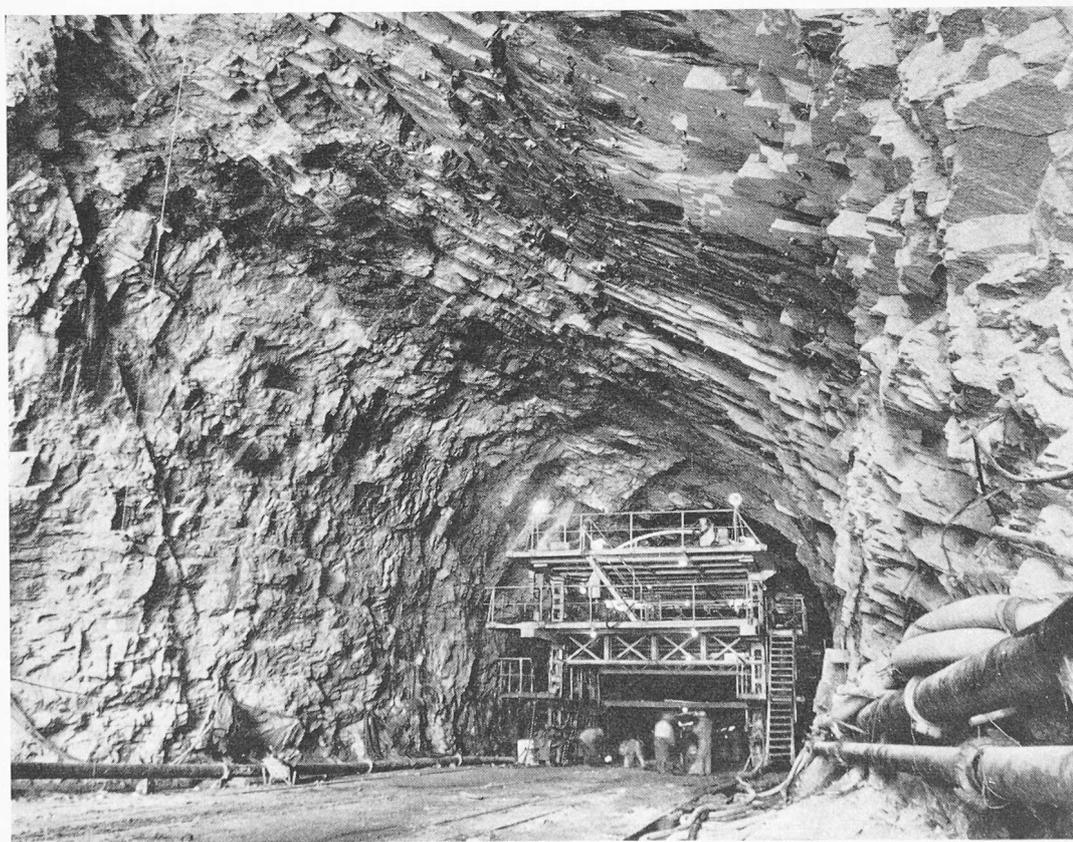


Bild 3. Vollausbruch im Los Süd. Die plattige Gesteinsstruktur und das Einfallen der Schichten gegen das östliche Tunnelparament sind deutlich erkennbar; Kalottensicherung mittels Felsanker. Hinten der Bohrwagen (Photo Rieser, Mesocco)

geologischen Fragen ist Prof. Dr. J. Cadisch, Bern, beauftragt. Gemäss seinem Gutachten kommt der Tunnel ausschliesslich in die altkristallinen Gesteine der Adula-Decke, einer grossen alpinen Schubmasse, zu liegen. Sie bildet im Gebiet des Bernhardins ein flaches Gewölbe, dessen Axe von Westen nach Osten verläuft und im gleichen Sinne mit ungefähr 30° einfällt. Dies hat zur Folge, dass die Schichten nahezu parallel zur Tunnelaxe streichen, was sich beim Bau auf die Abschlagslängen und damit auch auf die Vortrieblängen nachteilig auswirkt. Das Einfallen der Schichten erfolgt dementsprechend stets gegen das östliche Tunnelparament, und zwar unter einem zwischen 25° und 39° liegenden Winkel.

Die vorhandenen Gesteine sind zur Hauptsache Ortho- und Paragneise mit relativ hohem Glimmergehalt. Sie sind von auffällig dünn-bankiger, oft plattiger bis schiefriger Struktur (Bild 3).

Diese ausgeprägte Anisotropie, verbunden mit einer starken Klüftung, liess von Anfang an eine starke Tendenz zu Nachbrüchen aus der östlichen Hälfte der Kalotte erwarten. Zudem waren wenige Jahre zuvor beim Bau der Misoxer Kraftwerke im selben Gestein zum Teil recht unliebsame Erfahrungen gesammelt worden [1]. Vor Beginn der eigentlichen Bauarbeiten wurden deshalb mit Hilfe je eines Sondierstollens von beiden Portalen aus die Möglichkeiten für die Anwendung des Vollaussbruchs abgeklärt. Die Aufschlüsse waren ermutigend, und die daraus gezogenen Schlüsse in bezug auf das Felsverhalten wurden inzwischen auch weitgehend bestätigt. Der Ausbruch erfolgt ausschliesslich im vollen Profil, erfordert aber eine laufende, systematische Sicherung mittels Ankereisen, streckenweise verstärkt durch Profileisen, Drahtnetze oder Gunitüberzüge. Bisher wurden im Mittel 7 Anker pro laufenden Meter Tunnel versetzt. Während im Los Süd diese Schutzmassnahmen vollauf genügten, mussten auf der Nordseite zur Durchföhrung einzelner stark zerrütteter, z. Teil mylonitisierter Zonen wiederholt Stahlrahmen und -spitzen eingebaut und sofort hinterbetoniert werden (Bild 4).

Die Gesamtmenge des in den Tunnel einsickernden Bergwassers ist verhältnismässig gering. Ihre Verteilung auf zahlreiche Tropfstellen und nasse Partien erfordert aber dennoch umfangreiche Abdichtungsarbeiten. Stärker als vermutet ist der Einfluss eines Triasbandes, das in mehreren hundert Metern Distanz parallel zur Tunnelaxe verläuft. Statt der erwarteten, lokal begrenzten Gipswassereintritte weist praktisch alles anfallende Wasser einen hohen Sulfatgehalt auf, wobei Konzentrationen bis zu 1900 mg/l SO<sub>4</sub> gemessen wurden. Für sämtliche mit dem Fels in direktem Kontakt stehenden Betonteile kommen deshalb nur Zemente mit erhöhter Sulfatbeständigkeit zur Verwendung. Die durch die Zirkulation des Kluftwassers aus der Trias in die benachbarten Gneise verfrachtete Gipsartikel haben sich dort auf den Kluftflächen im Laufe der Jahrtausende in beträchtlichen Mengen wieder angelagert. Das im Tunnel ausgebrochene Gestein weist deshalb öfters Gipskrusten auf, die mehrere Millimeter stark sein können. Da auf der Südseite das Ausbruchmaterial aufbereitet und als Betonzuschlagstoff verwendet wird, ist dort besondere Vorsicht am Platze.

#### 4. Das Tunnel-Normalprofil

Die geologischen Verhältnisse legten es nahe, für das grosse Profil von rund 85 m<sup>2</sup> Ausbruchfläche eine statisch möglichst zweckmässige Form zu wählen. Der Tunnelquerschnitt weist denn auch ein stark der Kreisform angenähertes Hufeisenprofil auf (Bild 5). Dabei genügt dann in dem zwar nachbrüchigen aber nicht druckhaften Gebirge in der Regel eine relativ dünne

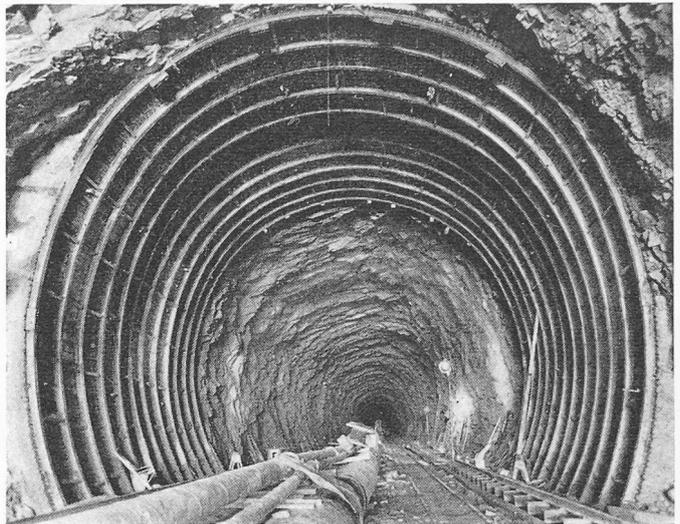


Bild 4. Stahleinbau, vollständig hinterbetoniert, in einer Mylonitzone im Los Nord (Photo Rieser, Mesocco)

Betonverkleidung von 35 cm Stärke. Bei geringeren Stärken ist eine gute Pervibration des Betons hinter den Teleskop-schalungen nicht mehr gewährleistet. In gebröchenen Zonen mit Stahleinbau sind selbstverständlich kräftigere Gewölbe vorgesehen. Auch ist durch Einzug eines Sohlgewölbes die Ergänzung zu einem einwandfreien Druckprofil jederzeit möglich.

Als Glied im Zuge einer Nationalstrasse 3. Klasse weist der Tunnel zwei für Gegenverkehr bestimmte Fahrspuren von zusammen 7 m Breite auf. Beidseitig schliessen 1 m breite Gehwege an. Sie sind selbstverständlich nicht für den Personenverkehr gedacht, sondern dienen der Distanzhaltung der Fahrzeuge von den Tunnelwänden und ermöglichen dafür durch die gewährte Seitenfreiheit ein volles Ausfahren der Spuren. Im übrigen stehen sie dem Dienstpersonal für Aufsicht und Wartung zur Verfügung.

Ueber dem 4,85 m hohen Lichtraumprofil verbleibt ein durch eine Zwischendecke abgetrennter Raum in der Kalotte. Er wird als Abzugskanal benutzt, durch welchen die aus dem Fahrraum abgesaugte, verbrauchte Luft den Ventilatoren zugeführt wird. Der Frischluftkanal dagegen ist unter der Fahrbahn angeordnet. Links und rechts davon steht je ein weiterer Kanal zur Verfügung. Der eine wird die zahlreichen, für den Tunnelbetrieb benötigten Kabel für Energie-

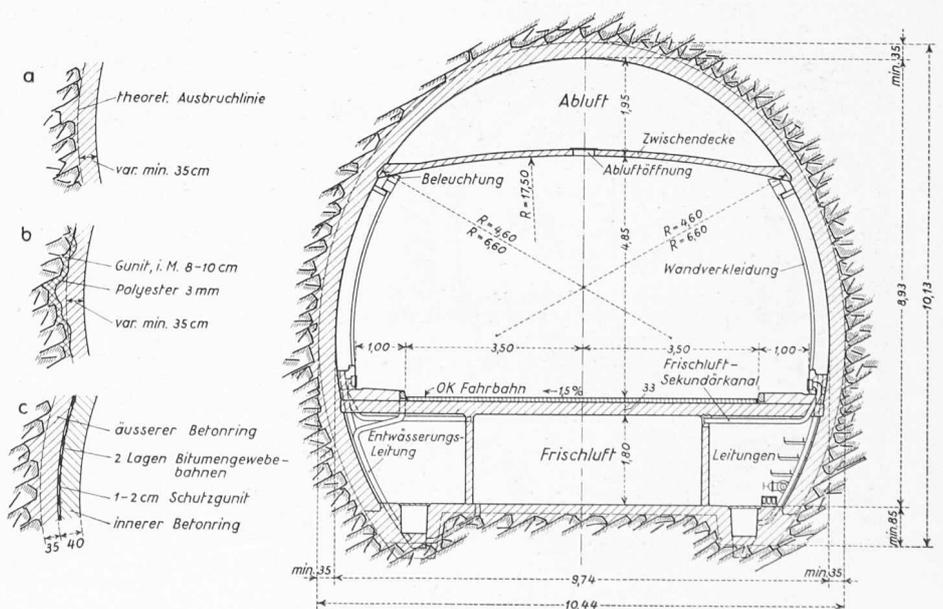


Bild 5. Tunnel-Normalprofil, Masstab 1:150. Gewölbe-Einzelheiten: a) normale Ausführung, b) Ausführung in stark wasserführenden Tunnelabschnitten, c) Ausführung in den Portalstrecken

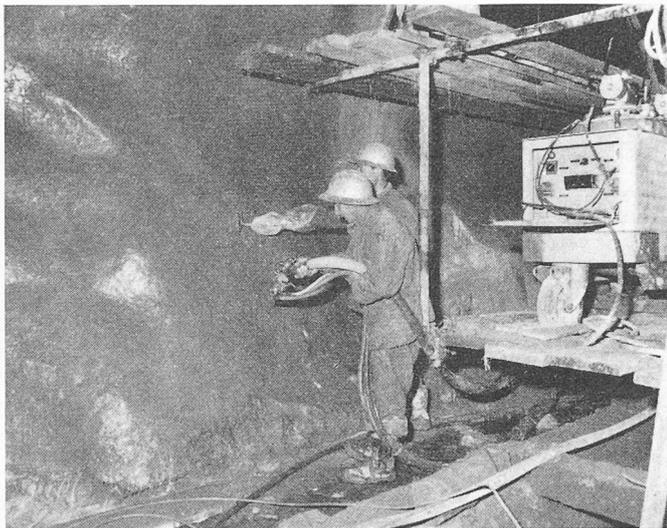


Bild 6. Aufbringen der Polyesterharzdichtung auf die gunitierte Felsoberfläche im Spritzverfahren (Photo Rieser, Mesocco)

versorgung, Fernmeldung und Steuerung, sämtliche Verteilkasten und eine Druckwasserleitung beherbergen. Der andere war ursprünglich für die Aufnahme einer Oelleitung geplant. Diese Leitung nimmt nun allerdings gemäss den kürzlich gefassten Beschlüssen ihren Weg nicht über den Bernhardin, sondern über den Splügen.

Die Fahrbahn erhält ein einseitiges Quergefälle von 1,5 % in den Geraden und 3 % in den Eingangskurven. Die Neigung wird durch Drehung des ganzen Tunnelprofils um den Mittelpunkt der Fahrbahnoberfläche erreicht. Damit bleibt die Profilsymmetrie voll gewahrt, was verschiedene bauliche Vorteile mit sich bringt. Zur Entwässerung der Fahrbahn, hauptsächlich bei den periodisch vorzunehmenden Tunnelreinigungen, führen alle 50 m Abzugsrohre vom tiefer gelegenen Fahrbahnrand zum darunter liegenden Drainagegraben.

Zu den Vorteilen des oben skizzierten Querschnittaufbaues ist neben der statisch günstigen Form auch die Schaffung von Fluchtwegen für Katastrophenfälle zu zählen. Der freie Zugang zu allen elektrischen Leitungen erleichtert die Ueberwachung und allfällig spätere Erweiterungen. Mindestens die Frischluft — an sich wäre es auch für die Abluft erwünscht — ist dem direkten Einfluss des Bergwassers entzogen. Ausschlaggebend für die Profilwahl war aber vor

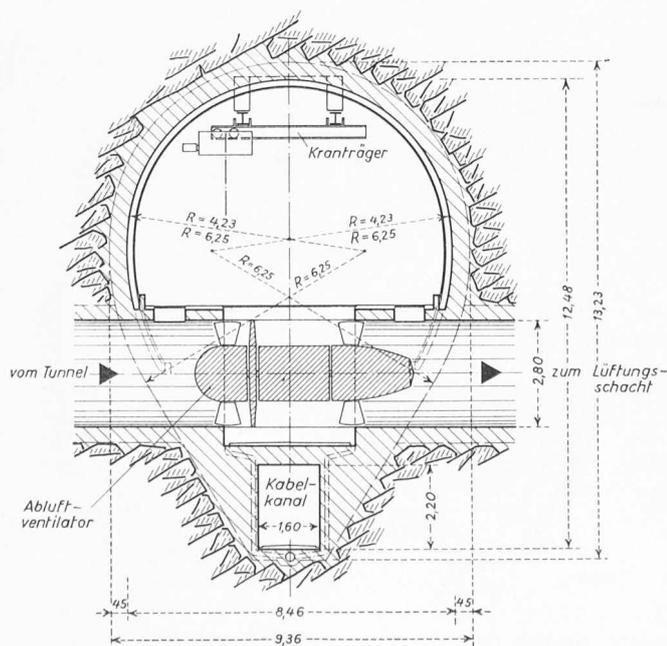


Bild 7. Schnitt durch eine unterirdische Lüftungszentrale 1:200

allem auch die Wirtschaftlichkeit. Hätten nämlich Zu- und Abluft nebeneinander in der Kalotte untergebracht werden müssen, so wäre dies infolge der beschränkten Platzverhältnisse nur durch eine Erweiterung des Lüftungssystems um eine vollständige Ventilatorenstation und um einen dritten Lüftungsschacht möglich gewesen (vergl. nächsten Abschnitt). Andererseits ist nicht zu übersehen, dass dem Profil auch Nachteile, besonders in bezug auf das Bauprogramm anhaften: Die Betonierung der Fahrbahnplatte samt ihren Stützwänden kann aus Baubetriebsgründen nicht vor dem Durchschlag und der Beendigung der Gewölbebetonierung in Angriff genommen werden, während der ganze Innenausbau samt der Verlegung der Kabel wiederum erst nach Fertigstellung der Fahrbahnplatte erfolgen kann.

Aus Gründen der Verkehrssicherheit ist jegliches Eindringen von Bergwasser in den Fahrraum zu verhindern. Eine vollständige Dichtung durch den Gewölbebeton allein ist aber erfahrungsgemäss, selbst bei günstigster Granulometrie und unter Verwendung von Zementzusätzen, nicht zu verwirklichen. Es braucht hierzu noch spezielle Abdichtungsmassnahmen.

Diese sind nicht zu verwechseln mit der sogenannten Vordichtung, bei welcher das Kluftwasser mittels Plastikschläuchen, Eternithalbschalen usw. und unter Verwendung von schnellbindendem Mörtel gefasst und in die Tunneldrainage abgeleitet wird. Es handelt sich hierbei um eine provisorische, aber unerlässliche Massnahme von zeitlich beschränkter Wirkung, ohne welche ein ordentlicher Gewölbebeton gar nicht erstellt werden könnte. Interessanterweise ist dabei die alte handwerkliche Methode nach dem bekannten «Oberhasliverfahren» einem rein maschinellen Vordichten heute noch preislich weit überlegen, wie dies Versuche am Bernhardtintunnel eindeutig gezeigt haben.

Eine durchgehende Isolation des Gewölbes als permanente Hauptdichtung wurde als zu kostspielig abgelehnt. Man beschränkt sich auf die Eingangspartien. Diese erhalten auf je 300 m Länge ab Portal eine zwischen einem Doppelgewölbe eingebettete Isolation aus einer zweifachen Lage von Bitumengewebehahnen. Darüber hinaus werden nur noch Zonen mit besonders starker Wasserführung speziell isoliert, und zwar nach der Methode des Polyester-Spritzverfahrens. Im übrigen Tunnel will man gelegentliche Durchsickerungen durch den Gewölbebeton in Kauf nehmen. Das eindringende Wasser wird aber durch die Zwischendecke und die seitlich dem Gewölbe vormontierte Wandverkleidung von der Fahrbahn abgehalten und der Tunneldrainage zugeführt. Die Frage nach dem für diese Verkleidung zweckmässigsten Material wird gegenwärtig noch eingehend geprüft.

Die Isolation mittels Bitumengewebehahnen verlangt eine sehr sorgfältige Ausführung, darf dann aber im allgemeinen als zuverlässige Abdichtung gelten. Die Applikation erfolgt von innen auf den äusseren Betonring, und zwar teilweise nach einem maschinellen Verfahren. Die begrenzte Haftung der Bahnen in der Kalotte verlangt ein rasches Nachziehen des innern Gewölberinges. Die Notwendigkeit, dieselbe Strecke zweimal zu schalen und zu betonieren, erschwert und verzögert den Arbeitsfortschritt erheblich. In

dieser Beziehung ist die Isolation durch Beschichtung mittels glasfaserarmierten Polyesterharzen wesentlich vorteilhafter. Sie benötigt nur noch eine Gunit- und keine Betonunterlage mehr (Bild 6). Eine nachträgliche Profilausweitung ist deshalb in der Regel nicht erforderlich, auch wenn der Entschluss zur Ausführung der Isolation erst nach erfolgtem Ausbruch gefasst wird. Eine sehr

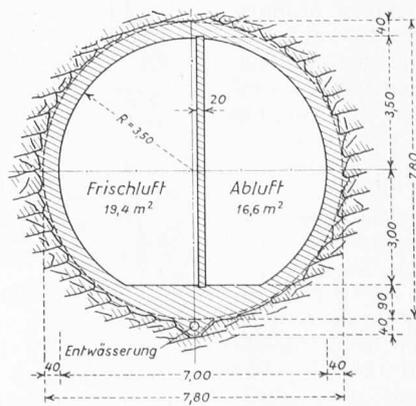


Bild 8. Lüftungs-Schrägschacht, Normalprofil 1:200

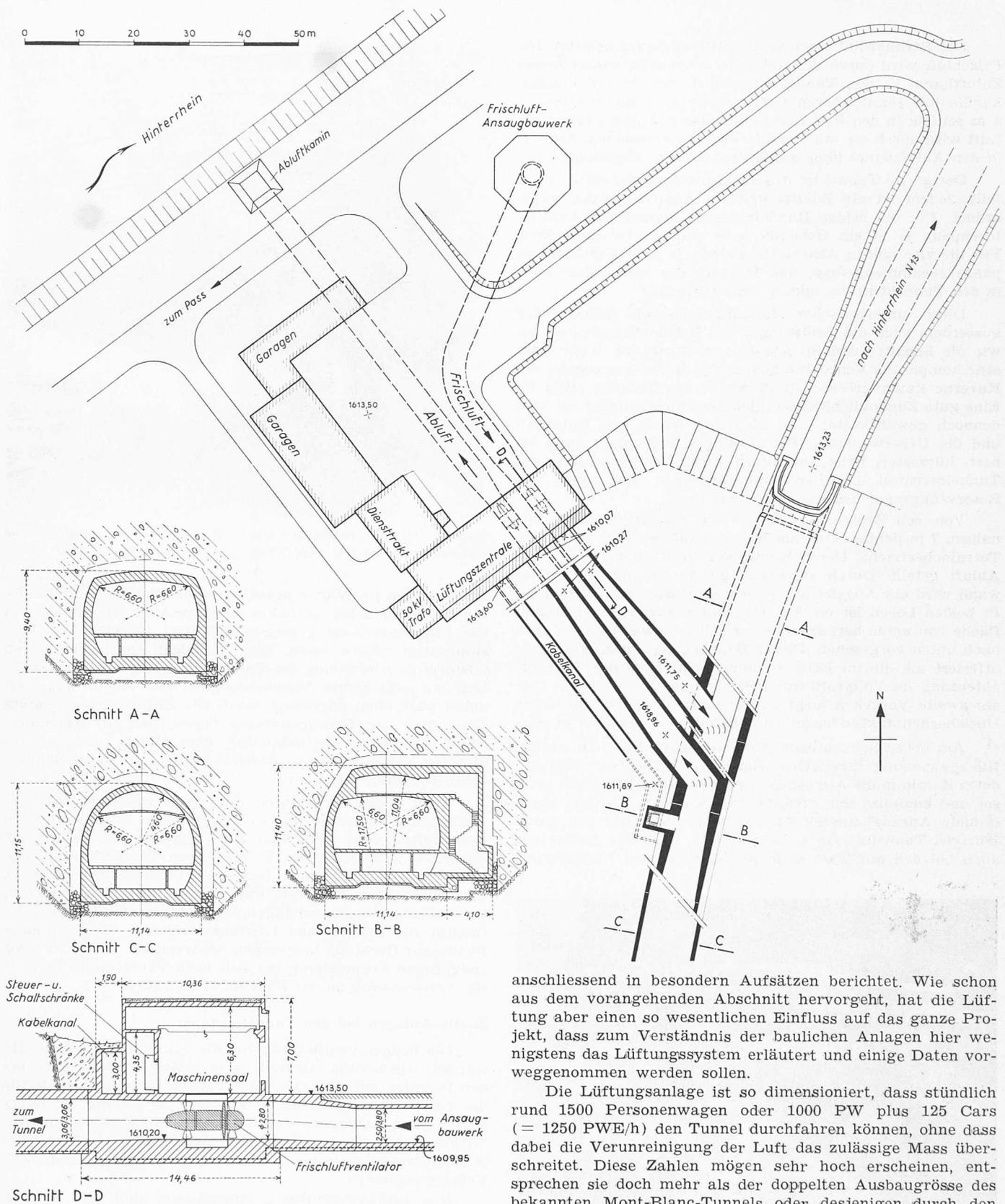


Bild 9. Nordportal mit oberirdischer Lüftungszentrale und Betriebsgebäuden; Lageplan 1:1000, Schnitte A bis C 1:500, Schnitt D 1:400

minuziöse Kontrolle der Polyesterschicht auf Porenfreiheit mit Hilfe eines elektrischen Prüfgerätes ist unerlässlich. Preislich besteht kein grosser Unterschied gegenüber der Bitumenisolation, da die dem kristallinen Gestein eigene, sehr unregelmässige Ausbruchoberfläche eine relativ starke Gunittschicht von 8 bis 10 cm verlangt.

**5. Die Tunnellüftung**

Ueber die Berechnungen, die Modellmessungen und die elektro-mechanische Ausrüstung für die Tunnellüftung wird

anschliessend in besondern Aufsätzen berichtet. Wie schon aus dem vorangehenden Abschnitt hervorgeht, hat die Lüftung aber einen so wesentlichen Einfluss auf das ganze Projekt, dass zum Verständnis der baulichen Anlagen hier wenigstens das Lüftungssystem erläutert und einige Daten vorweggenommen werden sollen.

Die Lüftungsanlage ist so dimensioniert, dass stündlich rund 1500 Personenwagen oder 1000 PW plus 125 Cars (= 1250 PWE/h) den Tunnel durchfahren können, ohne dass dabei die Verunreinigung der Luft das zulässige Mass überschreitet. Diese Zahlen mögen sehr hoch erscheinen, entsprechen sie doch mehr als der doppelten Ausbaugrösse des bekannten Mont-Blanc-Tunnels oder desjenigen durch den Grossen St. Bernhard. Eine Strasse ist aber nur dann wirklich wirtschaftlich gebaut, wenn ihre Leistungsfähigkeit auch tatsächlich voll ausgeschöpft werden kann. Deshalb ist es zweifellos richtig, in einem so bedeutenden Strassenzug die Kapazität des Tunnels derjenigen der Zufahrtsrampen anzugleichen und nicht um verhältnismässig geringfügiger Einsparungen willen zum vorneherein einen Engpass zu schaffen. Offenbar liess man sich von ähnlichen Ueberlegungen auch in unserem östlichen Nachbarlande leiten bei der Konzeption der neuesten Projektvariante für die Brenner-Autobahn [2], die einen 15,3 km langen belüfteten Scheiteltunnel, dimensioniert für einen stündlichen Verkehr von 6000 Autos, vorsieht!

Der Bernhardintunnel wird vollständig quer belüftet. Die Frischluft wird durch den unter der Fahrbahn angeordneten Zuluftkanal in den Tunnel eingeführt und über Sekundärkanäle mit regulierbaren Öffnungen in Abständen von je 5 m seitlich in den Fahrraum eingeblasen. Die verunreinigte Luft wird durch die mit Regulierklappen versehenen Schlitzte in den Abluftkanal über der Zwischendecke abgesaugt.

Der ganze Tunnel ist in sechs Lüftungsabschnitte unterteilt. Jedem ist ein Zuluft- und ein Abluftventilator zugeordnet. Für die beiden Randabschnitte kommt das Ventilatorenpaar je in ein Gebäude nahe dem Portal zu stehen. Für die vier innern Abschnitte werden je zwei Ventilatorenpaare zusammengefasst und in einer der beiden Kavernen in den Tunnelmittelpunkten untergebracht.

Diese unterirdischen Lüftungszentralen beherbergen ausserdem noch die Belüftungs- und Beleuchtungstrafo's, sowie die Schalter und Steuertableaux. Dank der Wahl einer sehr kompakten Ventilatorenbauart wird der Querschnitt der Kaverne kaum grösser als derjenige des Tunnels (Bild 7). Eine gute Zugänglichkeit zu allen Maschinenanlagen ist aber dennoch gewährleistet und erleichtert damit den Unterhalt und die Ueberwachung. Bei allfälligen Störungen kann in-ner kürzester Frist, praktisch ohne Unterbrechung des Tunnelbetriebes, ein Ventilator ausgebaut und gegen das Reserveaggregat ausgewechselt werden.

Von den Zentralen führt je ein Lüftungsschacht von nahezu 7 m lichtigem Durchmesser zur 400 m höher gelegenen Terrainoberfläche. Der Schachtquerschnitt ist nach Zu- und Abluft geteilt. Durch aussermittige Anordnung der Trennwand wird ein Ausgleich der Druckverluste erzielt (Bild 8). In beiden Losen ist ein Vortrieb mit reduzierter Ausbruchfläche von unten her, anschliessend die Ausweitung von oben nach unten vorgesehen. Dieser Bauvorgang wurde günstiger offeriert als die im Bergbau übliche Methode der Schacht- abteufung im Vollprofil mit gleichzeitiger Betonierung. Dieses zweite Vorgehen birgt zudem einen erheblich grösseren Unsicherheitsfaktor bezüglich Wasserhaltungskosten in sich.

Am obern Schachtende wird die Abluft über ein zwecks Rückgewinnung kinetischer Energie als Diffusor ausgebildetes Kamin in die Atmosphäre ausgestossen. Erheblich grösser und komplizierter wird das in etwa 50 m Abstand angeordnete Ansaugbauwerk für die Frischluft. Um den ganz-jährigen Tunnelbetrieb sicherzustellen, muss die Luftzufuhr auch bei den auf 2000 m ü. M. herrschenden klimatischen

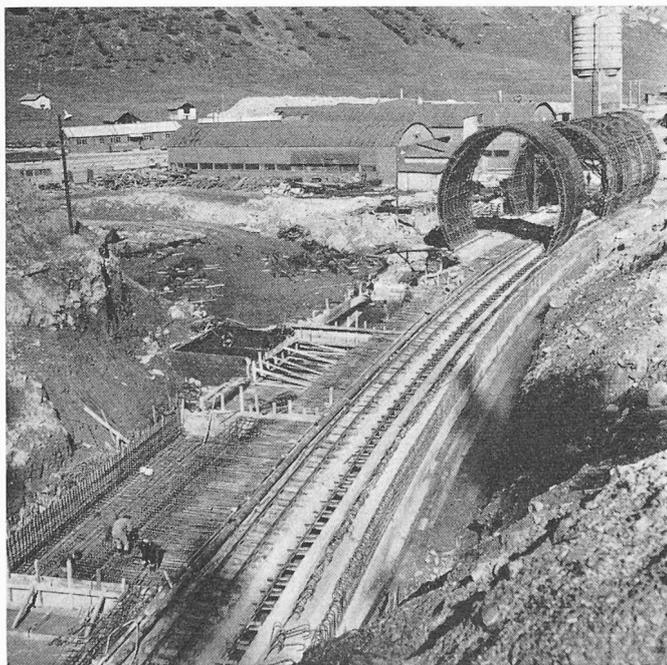


Bild 10. Im Voreinschnitt beim Nordportal wird die Tunnelröhre auf rund 150 m Länge im Tagbau erstellt: vorne Betonierung und Isolierung der Sohle, hinten Teleskopschalung für Gewölbe in Montage (Photo Rieser, Mesocco)

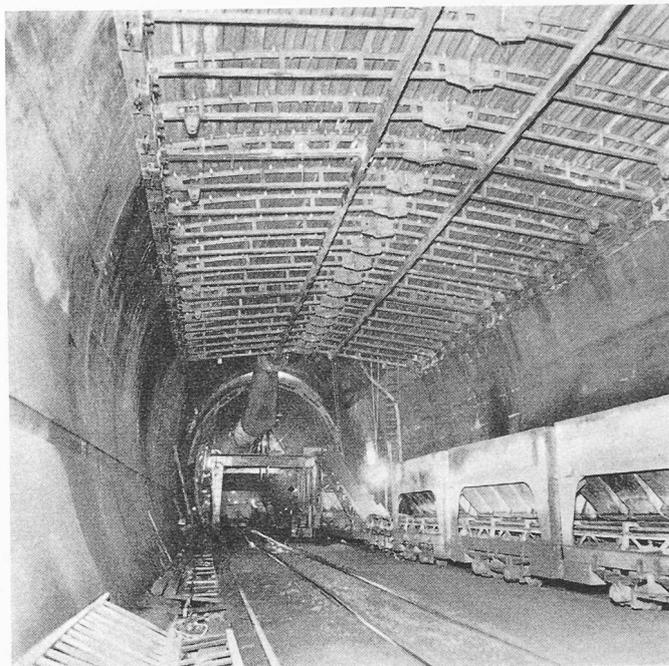


Bild 11. Hinten: Gewölbebetonierung; vorne oben: Schalung der Zwischendecke im Los Süd (Photo Rieser, Mesocco)

Bedingungen im Winter praktisch ohne Wartung funktionieren. In erster Linie ist daher zu vermeiden, dass Schnee in das Lüftungssystem gelangen und dort irgendwo zu Verstopfungen führen kann. Dies geschieht am besten durch pilzförmige Ausbildung des Zuluftbauwerkes, bei welcher die Luft mit sehr kleiner Geschwindigkeit (0,8 bis 1,0 m/s) von unten nach oben angesaugt wird. Die Entnahmeebene muss dabei über der Treibschneezone liegen, und für das ganze Bauobjekt muss ein möglichst dem Winde ausgesetzter Standort gewählt werden, damit darum herum keine Schneeb lagerungen stattfinden.

Auch wenn im Winter mit einer verminderten Verkehrs menge und z. B. nur mit der Hälfte des maximalen Frischluftbedarfes gerechnet wird, ergeben sich doch ganz erhebliche Abmessungen für die Ansaugbauwerke, die eine Höhe von etwa 20 m und einen ebenso grossen Durchmesser des «Pilzkopfes» erhalten. Für die mit dieser schneefreien Luftfassung zusammenhängenden Probleme wurde das Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Weissfluhjoch-Davos, zur Beratung beigezogen, während zur Abklärung der endgültigen Formgebung zur Zeit noch Versuche im Institut für Aerodynamik an der ETH im Gange sind.

## 6. Die Anlagen bei den Tunnelportalen

Die beiden Ventilatoren für die Randlüftungsabschnitte werden, wie bereits erwähnt, je in einem Gebäude nahe bei den Portalen untergebracht. Im Tagbau erstellte Kanäle für die Zuluft und die Abluft stellen die Verbindung einerseits zum Tunnel, andererseits zum Ansaugbauwerk, bzw. zum Abluftkamin her. Trafo und Schaltanlage sind hier grösser als in den Kavernenstationen wegen der Anschlüsse an die 50-kV-Versorgungsnetze.

Den Lüftungszentralen angegliedert sind alle übrigen Räumlichkeiten, die für Ueberwachung, Betrieb und Unterhalt des Tunnels bereitgestellt werden müssen (Bild 9). Auf beiden Seiten des Tunnels sind Einrichtungen für den Notfalldienst vorgesehen. Dazu sind vor allem die Sanitäts-, Feuerwehr- und Abschleppfahrzeuge, die zugehörigen Ausrüstungen und Einstellgaragen, ein Sanitätslokal sowie Schlaf- und Kochgelegenheiten für die Pikettmannschaften zu zählen. Mit Rücksicht auf die klimatischen Verhältnisse wird aber alles, was nicht unbedingt auf beiden Portalseiten benötigt wird, im Süden zusammengefasst. Dort befinden sich zusätzlich die Reparaturwerkstätte und die Garagen für die Reinigungs- und Unterhaltsfahrzeuge, ferner das eigentliche Betriebsgebäude mit Kommando- und Relaisraum,

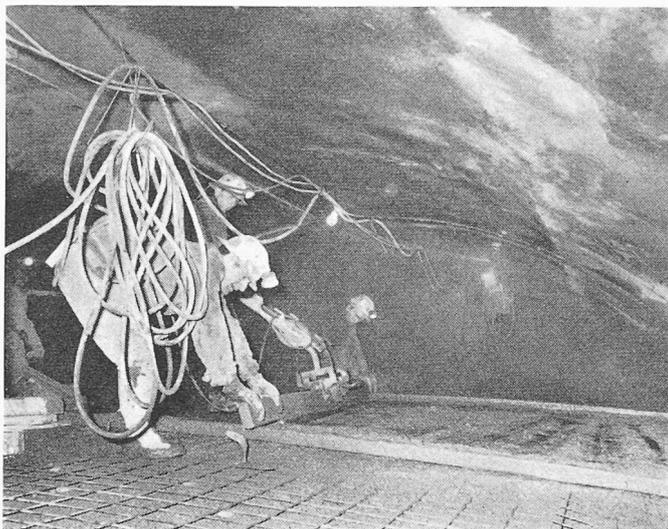


Bild 12. Betonierung der Zwischendecke im Los Süd (Photo Rieser, Mesocco)

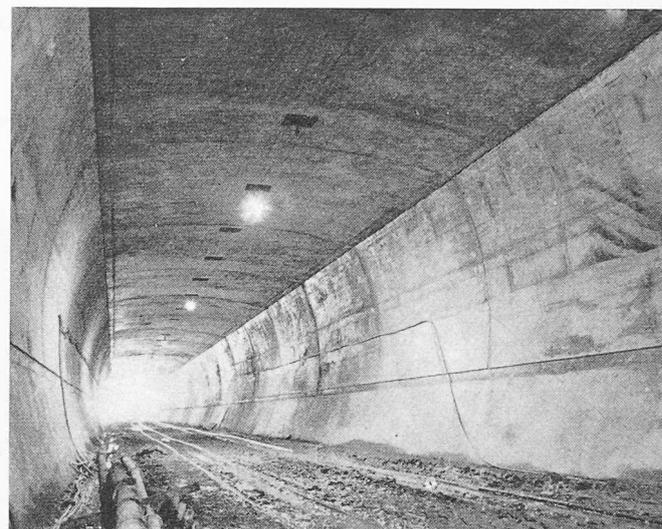


Bild 13. Im Los Süd sind Gewölbe und Zwischendecke auf 500 m Länge betoniert. Auf etwa  $\frac{1}{3}$  Höhe ist die Auflageausparung für die Fahrbahnplatte erkennbar (Photo Rieser, Mesocco)

Büros und Aufenthaltsräumen für das Betriebspersonal und die Polizei, einem Trocken- und einem Waschraum, einem Sitzungs- oder Besucherempfangsraum usw. Ja selbst zwei Arrestzellen werden auf Wunsch der Polizei eingebaut, da offenbar mit widerspenstigen Automobilisten gerechnet wird.

Im weiteren wird San Bernardino Ausgangsstation sein für den gesamten Unterhalts- und Winterdienst auf der Südrampe der N 13 bis gegen Soazza hinunter. Es liegt daher nahe, zur Aufnahme der nötigen Geräte und Fahrzeuge den Gebäudekomplex beim Südportal noch um einige Trakte zu erweitern. Ähnlich müssen auch bei der Zentrale Nord noch Einstellgaragen für die Schneebruchgeräte der Nordrampe bereitgestellt werden, da der geplante Werkhof Splügen noch während einiger Jahre nach der Betriebsaufnahme im Tunnel nicht zur Verfügung stehen dürfte.

## 7. Bauprogramm

Die Bauarbeiten für den Tunnel, die Kavernenzentralen und die Schächte wurden im Juli 1961 in zwei Losen vergeben. Die Installationen der Baustellen, die Voreinschnitte von 40 000 m<sup>3</sup> Aushub auf der einen, bzw. 65 000 m<sup>3</sup> auf der andern Seite und schliesslich die Verlegung der Passtrasse im Norden auf 750 m Länge nahmen zusammen mehrere Monate in Anspruch. Anfangs 1962 konnte der eigentliche Tunnelvortrieb aufgenommen werden. Ende Juni 1963 erreichte der Ausbruch folgenden Stand: Los Süd 1870 m, Los Nord 1490 m, total 3360 m, also zusammen etwas mehr als die halbe Tunnellänge. Betoniert ist im Norden erst der äussere Ring des Doppelgewölbes (rd. 150 m) sowie ein Grossteil der Tagbaustrecke. Im Süden steht der Gewölbebeton bereits bei m 650 ab Portal. Die Zwischendecke folgt dicht aufgeschlossen.

Aus obigen Daten lässt sich die mittlere Vortriebsleistung in den vergangenen anderthalb Jahren berechnen. Sie beträgt, wenn die über Weihnachten, Ostern und Ferragosto verlorene Arbeitszeit in Abzug gebracht wird, etwa 115 m/Monat im Süden und etwa 95 m/Monat im Norden. Im Vergleich zu andern Tunnel- oder Stollenbaustellen sind das keine glänzenden Leistungen. Zwar ist zu beachten, dass sie im zwei- und nicht im dreischichtigen Betrieb erbracht wurden, und es darf gerechterweise nicht unerwähnt bleiben, dass man von Anfang an eine möglichst wirtschaftliche und nicht eine aus irgendwelchen Prestige Gründen forcierte Bauweise angestrebt hat.

Gegenüber den vertraglichen Bauprogrammen besteht aber in beiden Losen heute bereits ein Rückstand, der insbesondere auf der Nordseite schon ein beträchtliches Ausmass angenommen hat. Neben den erheblichen Anfangsschwierigkeiten mit den Installationen, die hüben und drüben zu überwinden waren, stellt auf beiden Baustellen der andauernde Mangel an qualifizierten Arbeitern eine schwere

Belastung dar. Selbst wenn es zeitweise gelingt, die Belegschaft rein zahlenmässig dem Sollbestand anzunähern, so bringt doch die überwiegende Mehrzahl der neu angeworbenen Arbeitskräfte überhaupt keine Erfahrung im Untertagebau mit. Am schlimmsten steht es bei den Mineuren, von denen nur noch der geringste Teil diese einst stolze Berufsbezeichnung tatsächlich verdient.

Unter diesen Umständen ist der Durchschlag — entgegen dem Programm — erst in der zweiten Hälfte des nächsten Jahres zu erwarten. Die Fertigstellung des Betongewölbes, das Einziehen der Fahrbahnplatte, die Montage der Wandverkleidung, der Beleuchtung und aller übrigen elektrischen Einrichtungen, all diese Arbeiten werden anschliessend noch gut zwei Jahre in Anspruch nehmen, so dass der Tunnel frühestens 1966 dem Verkehr übergeben werden kann.

## Literaturhinweise

- [1] E. Meyer, Erfahrungen beim Bau der Misoxer Kraftwerke, «Die Wirtschaft», Nov./Dez. 1960.
- [2] Ein Tunnelprojekt für die Brennerautobahn, «Neue Zürcher Zeitung», 2. Mai 1963, Blatt 4.



Bild 14. Das Nordportal bei Hinterrhein, darüber die zahlreichen Kehren der heutigen Passtrasse (Photo Rieser, Mesocco)