

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 109/110 (1937)
Heft: 3

Artikel: Das Projekt eines Autotunnels Graubünden-Tessin durch St. Bernhardin
Autor: Simmen & Hunger
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-49084>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 15.01.2026

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

Autos im Tag und bis 62 Autos in 10 Minuten. Die Ventilation erfordert bei der gewählten Längslüftung keine besonderen Querschnitts-Vergrößerungen.

Es wurden vier Tunneltypen unterschieden:

Typ 1, das unverkleidete Profil, mit 30 m² Ausbruchfläche. Von grösster Wichtigkeit für die Kostenfrage ist es, zu wissen, wie weit es angewendet werden kann. Ohne weiteres dürfen wir annehmen, dass fast im ganzen Bereich des Orthogneises, also auf etwa 2500 m Länge keine Auskleidung notwendig wird. Im Paragneis können grosse Strecken ebenfalls unausgekleidet gelassen werden und in andern wird eine Gunitierung zur Verhinderung der Verwitterung genügen.

Typ 2, mit Gewölbeverkleidung. Es wird bei der vorhandenen wenig geneigten Schichtung vorkommen, dass der Scheitel in schlechten Gesteinschichten liegt, während die Kämpfer noch gut sind. Ein Scheitelgewölbe zur Sicherung des Firstes genügt; in Frage kommt es in dünnplattigen, in losem Zusammenhange verbundenen Schichten des Paragneises. Auch hier kann das Verwittern der Seiten durch Gunitierung gehindert werden.

Typ 3. Das ausgemauerte Profil kommt dort in Frage, wo im Kämpfer und im Scheitel alle oder einzelne Schichten verwittert, nicht standfest sind, d. h. in Platten oder einzelnen Steinen sich auflösen. Es ist ein Verkleidungsmauerwerk zur Konsolidierung der Felspartien am Profilumfang. Die Stärke der Mauerung ist im Scheitel 30, im Kämpfer 40 und in den Seitenmauern wieder 30 cm; diese können nach Gutfinden auch ohne weiteres in Bruchsteinmauerwerk ausgeführt werden.

Typ 4. Der auf 40 cm verstärkte Typ 3 dürfte nach dem geologischen Gutachten zu urteilen, nur an den Portalen, in den Verwitterungszonen des Gesteins, allenfalls an den Uebergängen von Ortho- zu Paragneisen notwendig sein.

Die normale Form der Fahrbahnoberfläche ist das beidseitig 2 ÷ 3 % geneigte Dachprofil. Im Tunnel stehen dieser Form entgegen die dadurch notwendigen Wasserzuleitungen von den seitlichen Sammelrinnen zum Hauptstrang in der Tunnelmitte. Die Mittellage entspricht dem bei den letzten Alpentunnel allgemein gewählten Sohlenstollenvortrieb, in dem die Lage der definitiven Entwässerungsröhren jener während dem Bau entspricht. Es liegt daher die Frage nahe, ob die Fahrbahn nicht mit nach innen geneigter Fläche ausgebildet werden könnte, um dadurch die Zuleitungen zu ersparen. Die Ersparnis ist aber so gering, dass die Entscheidung verkehrstechnischen Faktoren überlassen werden kann. Die Fahrbahn ist rechts und links begrenzt von Gneis-Bordsteinen, in Beton versetzt und mit Beton hintergossen. Eine grosse Rolle spielt der Belag für die Gesteinskosten, den Betrieb und Unterhalt. Der für den Betrieb und Unterhalt, sowie für die Materialbeschaffungsmöglichkeiten geeignetste ist ein in Beton versetzter Gneisplattenbelag. Alle Materialien können an Ort und Stelle gewonnen werden. Ein Betonbelag wird in Betrieb und Unterhalt dem Plattenbelag nicht viel nachstehen.

In Strassenmitte ist eine durchgehende Zementröhre Ø 30 gelegt, die das Wasser aus den seitlichen Sammelrinnen alle 50 m sammelt und zu den Portalen führt. In sie wird auch alles ins Profil eintretende Wasser geleitet. Alle 100 m sind Putzschächte vorgesehen.

Die Lüftung des Tunnels.

Allgemeines. Beim Verbrennungsprozess der Automotoren entsteht das die menschliche Atmung schädigende Kohlenoxyd CO; zudem wird durch die Auspuffgase und den Staub die Luft verunreinigt und die Sicht gestört. Die Ventilation hat für die Zufuhr der notwendigen Frischluft, insbesondere des Sauerstoffs, und die Abfuhr der verunreinigten Luft, des Kohlenoxyd, zu sorgen. Ueber die hierzu erforderliche Luftmenge haben wir für Alpen-Automobiltunnel noch keine Erfahrungswerte. Sie ist abhängig vom CO-Gehalt der zugeführten und der abgeführten Luft, diese wieder ist abhängig von der Verkehrsdichte, der Grösse und dem Verbrennungsgrad der Motoren. Direkte Vergleiche und Schlüsse von den Autotunnels der amerikanischen Städte auf unsere Verhältnisse sind mit aller Vorsicht aufzunehmen, denn einmal haben unsere Tunnels einen bei weitem nicht so gewaltigen Verkehr zu bewältigen, andererseits ist unsere zugeführte Luft sauerstoffreicher und kohlenstoffärmer als die der amerikanischen und andern Grosstädte.

Die Forderungen an die Tunnelluft. Die Ventilation muss folgenden Ansprüchen genügen: 1. Maximale und minimale Luftgeschwindigkeiten müssen eingehalten werden; 2. der CO-Gehalt darf das zulässige Mass nicht überschreiten.

Bei Bahntunnels wird die zulässige Geschwindigkeit mit Rücksicht auf das Streckenpersonal zu 2÷4 m/sec angegeben. Wenn diese Daten sich auch auf Bahntunnel beziehen, so können sie, was die Geschwindigkeit anbelangt, doch auf die Autotunnels übertragen werden. Sie sind sowohl für den Autofahrer als auch

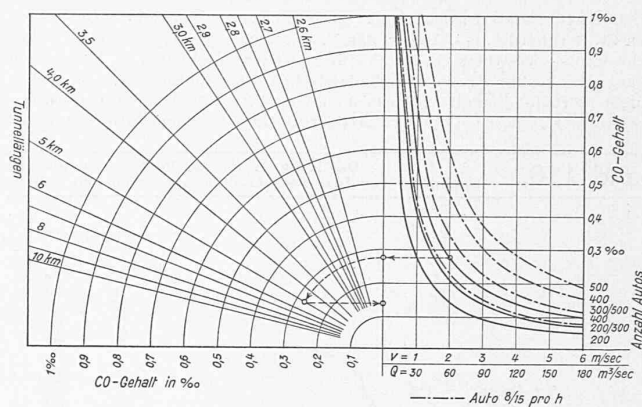


Abb. 4. Beziehungen zwischen CO-Grenze und Verkehrsdichte.

für den Fussgänger noch zulässig. Die untere Grenze wird bestimmt durch die Gase und Verunreinigungen, die schwerer sind als die Luft. Sie werden im Autotunnel eher kleiner sein als im Bahntunnel mit Dampfbetrieb. Das schädliche CO hat ein kleineres spez. Gewicht (0,967 kg/m³) als die Luft, und wird von der Luft mit den Nebenbestandteilen mitgenommen.

Ueber die im Tunnel zulässige Grenze des CO-Gehaltes, d. h. über die vom Menschen noch ohne Schaden tragbaren CO-Gehalte, gehen die Ansichten auseinander. Immerhin lassen sich aus elf Literaturangaben über Versuche und Erfahrungen folgende ziemlich gut übereinstimmende Resultate feststellen:

0,4 ÷ 0,5 ‰ mehrstündig eingeatmet gefährlich, aber nach nur einer Stunde noch ohne wahrnehmbare Wirkung,
1 ‰ dauernd macht bewusstlos, für ½ ÷ 1 Stunde ertragbar, nach einer Stunde unangenehm, aber noch nicht gefährlich; ½ Tag arbeitsunfähig, Unwohlsein.

Die amerikanischen Versuche der University of Yale ergaben bei einer Stunde Einatmung:

von 0,4 ‰ niemand litt unter dem Gas,
0,6 ‰ teilweise Beschwerden,
0,8 ‰ Bureauarbeit unmöglich,
1,0 ‰ ½ Tag arbeitsunfähig, Unwohlsein.

Bei dem mit Lüftungsschacht in der Mitte kurzen Tunnel (2 × 2540 m), der bei 4 m/sec eine vollständige Durchlüftung in 635 Sek. = 10 Min. gestattet, dürfte zwar auch 1 ‰ als untere Grenze noch zulässig sein; wenn wir indessen 0,5 ‰ einsetzen, haben wir volle Sicherheit, daß wir eine Luft besitzen, die niemand Beschwerden verursacht, und müsste er auch den ganzen Tunnel zu Fuss durchwandern oder in ihm arbeiten.

Um diesen Sättigungsgrad einzuhalten, müssen wir eine gewisse Menge Frischluft zuführen; sie hängt vom eigenen CO-Gehalt der Tunnelluft ab, der auf dem Lande und im Gebirge praktisch gleich Null sein wird.

In welchem Verhältnis steht nun die notwendige Luftmenge bei dem als zulässig angenommenen Maximum von 0,5 ‰ zu den durchfahrenden Autos? Prof. Dr. Schlöpfer von der E. T. H. bestimmte für ein zulässiges Mass von 1,0 ‰ CO die notwendige Anzahl von Lüftererneuerungen pro Stunde abhängig von der Anzahl Autos, den verschiedenen Motorenstärken und ihren Verbrennungskapazitäten. Unter diesen Angaben wurden die in Abb. 4 dargestellten Kurven bestimmt. Aus ihnen ist der CO-Gehalt, abhängig von der Tunnellänge, der Anzahl und Art der Autos, und der Luftgeschwindigkeit, bzw. Luftmenge bei 30 m² Tunnelquerschnitt, ersichtlich, also das, was zur Dimensionierung erforderlich ist.

Zur Charakterisierung des Durchströmens der Luft betrachten wir den Vorgang der entsteht, wenn z. B. 400 Autos/Std. mit durchschnittlich 15 l Benzinverbrauch pro 100 km und 5 % CO der luftfreien Autoabgase durch den Tunnel fahren:

In ruhender Tunnelluft erzeugen die 400 Autos 0,08 % CO, d. h. pro m Tunnel $\frac{30 \times 0,08}{100} = 0,024$ m³ pro Std. In einer Sekunde und pro m Tunnel somit 6,6 cm³ CO.

Ein Tunnelring von 1 m Länge = 30 m³ Luft werde nun mit 2,0 m Geschwindigkeit durch den Tunnel fortbewegt. Er nimmt jede Sekunde $2 \times \frac{1}{2} \times 6,6 = 6,6$ cm³ CO auf; im ganzen hat er bei 2540 m Tunnellänge bis zum Schacht 1270 sec, um ihn zu durchfahren. In dieser Zeit nehmen diese 30 m³ Luft 8400 cm³ CO auf, d. h. am Ende der Strecke sind in ihnen 0,28 ‰ CO enthalten. Bei 5080 m Tunnellänge, also ohne Schacht, wäre die Zeit doppelt so lang, die Anhäufung von CO doppelt so gross, sodass am Ende der Gehalt 0,56 ‰ beträgt; bei Autos mit schlechter Verbrennung und 8 % CO der Abgase



Abb. 1. Uebersicht 1:65000 (Bew. 25. IX. 1935)

= 0,88 ‰. Wird die Geschwindigkeit erhöht, z. B. auf 4,0 m, so ist die Zeit des Durchströmens halb so gross; in der Sekunde wird gleichviel aufgenommen, da wie oben der Aufenthalt zur Produktion und Aufnahme von CO in jedem Meter nur $\frac{1}{4}$ sec ist, sodass der Schlussgehalt $635 \times 6,6 = 4200 \text{ cm}^3$, also der Gehalt 0,14 ‰ ist. Aus dem Diagramm Abb. 4 ergibt sich für stündlich 400 Autos und

eine Tunnellänge von 2,5 km,	bzw. 5,0 km
bei Luftgeschwindigkeit $v = 2,0 \text{ m} : 0,28 \text{ ‰}$	0,56 ‰ CO
$v = 4,0 \text{ m} : 0,14 \text{ ‰}$	0,28 ‰ CO

Ist die erforderliche Luftgeschwindigkeit bekannt, so hängt es von dem natürlichen Luftzug ab, ob eine künstliche Lüftung nötig ist oder nicht.

Der natürliche Luftzug ist abhängig:

- Vom Unterschied im äusseren Luftdruck an den beiden Tunnelportalen, auf gleicher Höhe über Meer, der entsteht durch die verschiedenen meteorologischen Verhältnisse am Nord- und Südhang der Alpen. Er wird als atmosphärischer Ueberdruck bezeichnet;
- vom Auftrieb der Luft infolge der Temperaturunterschiede im Innern des Tunnels und an den Portalen;
- vom Winddruck auf die Portale.

Die Grösse dieser Einflüsse auf den Luftzug wird ausgedrückt durch die Druckhöhendifferenz an beiden Portalen. Der atmosphärische Ueberdruck wird durch direkte gleichzeitige Barometerablesungen bestimmt, der Auftrieb wird berechnet aus den Temperaturmessungen an den Portalen und der heute nur theoretisch feststellbaren Tunneltemperatur. Den Winddruck auf die Portale haben wir vernachlässigt.

a) **Der barometrische Ueberdruck.** In Ermangelung meteorologischer Stationen in der Nähe des Süd- und Nordportales mussten die Barometerstände aus den nächsten Stationen umgerechnet werden. Hierzu wurde am Südhang Braccio, 1332 m ü. M., am Nordhang Splügen, 1500 m ü. M. gewählt. Die barometrischen Differenzen auf Meereshöhe 1500 wurden für die Monate Januar 1934, Juli 1933 als positive und negative tägliche Ueberdruckwerte aufgetragen (vgl. als Beispiel Abb. 5 und 6, ohne und mit Schacht).

b) **Temperatureinflüsse.** Durch den Temperaturunterschied der äusseren Luftschichten zwischen den Horizonten der Por-

Projekt Simmen & Hunger für einen Autotunnel durch den Bernhardin

Abb. 5. Druckhöhen-Unterschiede und Luftgeschwindigkeiten infolge atmosphärischen Ueberdruck und Temperaturunterschied im Tunnel ohne Schacht für Januar 1934

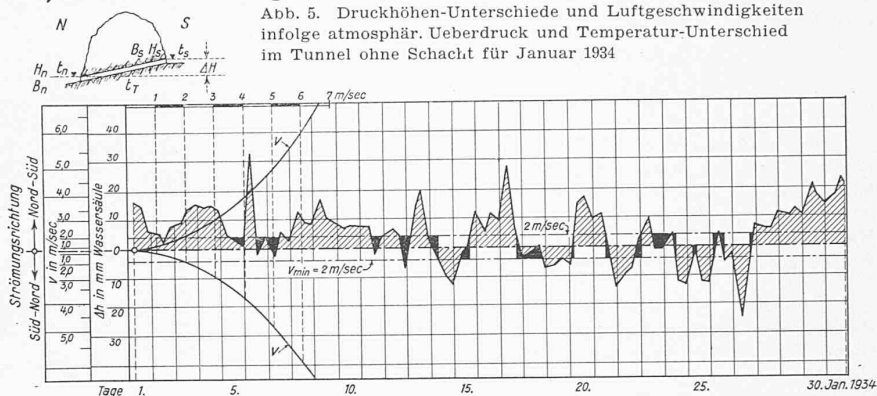
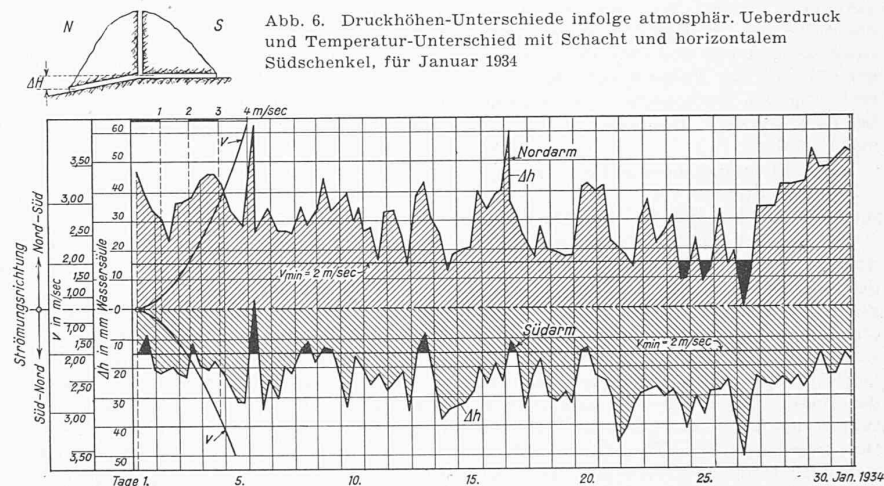


Abb. 6. Druckhöhen-Unterschiede infolge atmosphärischen Ueberdruck und Temperaturunterschied mit Schacht und horizontalem Südschenkel, für Januar 1934



tale und der Tunnelluft entsteht eine Luftströmung. Das spezifische Gewicht der Luft wächst umgekehrt proportional mit der absoluten Temperatur. Dadurch entstehen Unterschiede in den Gewichten der Luftsäulen im Tunnel und im Freien. Berücksichtigen wir den atmosphärischen Ueberdruck, so ist in ihm die Einwirkung der Temperatur auf die Luftsäule über dem höheren Portalniveau schon enthalten. Hierzu kommt der oben genannte Gewichtsunterschied. Diese Gewichts- oder Druckdifferenzen wurden nun ebenfalls für die täglich dreimaligen aus den Messstationen umgerechneten Temperaturablesungen am Nord- und Südportal und den angenommenen Innentemperaturen im Tunnelschacht ermittelt und als Druckhöhen aufgetragen, Abb. 5 und 6, für den ungünstigsten Monat des Jahres.

Um die zu erwartende Innentemperatur schon heute möglichst genau zu bestimmen, wobei die Innentemperatur bei ruhender Luft massgebend ist, wurden verschiedene Messungen und Angaben in der Literatur zusammengestellt und aus ihnen als mittlere Tunnellufttemperatur 18°C und im Schacht 12°C gesetzt, wobei sich zeigte, dass die Schwankungen der Aussenluft bei ruhender Tunnelluft keinen grossen Einfluss auf die mittlere Temperatur haben können. Die Strömung wird sofort das Verhältnis ändern, aber dieser Aenderung ist auch die Gesteinstemperatur von 22 bis 24°C , der Wärmespeicher, unterworfen. Wie sich die Gesteinstemperatur und Lufttemperatur beim Uebergang vom Ruhezustand in die Strömung und während der Strömung gegenseitig beeinflussen und vor allem zeitlich folgen, kann rechnerisch kaum erfasst und muss Messungen an Versuchs- oder fertigen Objekten überlassen werden. Gross werden die Differenzen gegenüber den Annahmen kaum sein. Für das Projekt genügt die Erfassung der Grenzfälle. Die Summe der beiden Druckhöhen ergibt den gesamten äusseren Luftüberdruck auf den Tunnel.

Die Strömungswiderstände.

Sind die natürlichen Luftenergien, die eine Luftströmung erzeugen wollen, bekannt, so sind sie ins Verhältnis zu setzen zu den Widerständen, die sich der Strömung entgegensetzen. Es sind die Reibungen an den Tunnelwänden, an den Aus- und Einmündungen, sind Wirbelbewegungen, Verzögerungen und Beschleunigungen durch Fahrzeuge usw. Diese Widerstände, mit Ausnahme jener der Wagen und an den Portalen, sind propor-

tional der Tunnellänge, dem Profilradius, dem spezifischen Gewicht und einem Koeffizienten, der die Reibung und Turbulenz berücksichtigt. Das Verhältnis lässt sich nach allgemein gültiger Regel ausdrücken in der Form:

$$v = \varphi \sqrt{2gh}$$

wobei

$$\varphi^2 = L \gamma \frac{\lambda}{4} \frac{U}{F}$$

Die Geschwindigkeiten v ergeben sich somit für einen gegebenen Tunnel mit bekannten Widerständen als konstantes Verhältnis zu \sqrt{h} . Sind die \sqrt{h} aufgetragen, so müssen wir nur den Masstab der Skala ändern, was auch durch Auftragung der v -Kurve im Verhältnis zu \sqrt{h} geschehen kann, um durch direkte Ablesungen zu jedem \sqrt{h} das zugehörige v zu erhalten (Abb. 5 und 6).

Die Frage, wie sich die Luftgeschwindigkeit ändert beim Fahren der Automobile gegen die Strömungsrichtung, wird theoretisch schwer zu erfassen sein. Das Verhältnis der Autoquerschnitte zum Tunnelquerschnitt ist etwa 1:10. Eine Gesamtverzögerung der Strömung wie in einem Bahntunnel wird also nicht spürbar sein, sondern nur lokale Verzögerungen mit nachfolgenden Beschleunigungen, Wirbelbewegungen, die sich rasch ausgleichen und vor allem eine rasche, starke Verdünnung der Giftgase zur Folge haben. Schwieriger gestaltet sich die Berechnung der Strömungen bei vorhandenem Schacht, vor allem bei nicht gleichen Temperaturen und Barometerdrücken an beiden Portalen.

Die Strömungsbedingungen lauten:

1. Die Summe der im Tunnel zu- oder ausströmenden Luft muss gleich sein der im Schacht ein- oder ausströmenden;

2. Sowohl für den linken wie rechten Tunnelarm muss die Summe der Druckhöhenverluste im Tunnel und Schacht gleich der äusseren Druckhöhe sein. Sie ergeben drei Strömungsgleichungen, die bei Einsetzen der vorhandenen Konstruktionsmasse für alle Strömungsfälle verhältnismässig einfache Formen annehmen. In Abb. 6 sind die äusseren vorhandenen Druckhöhen aufgetragen. Um 2,0 m/sec Geschwindigkeit zu erzeugen, muss die kleinere der äusseren Druckhöhen ~ 15 mm W. S. werden. Diese Horizontale in der Kurve eingezeichnet, gibt die Linie, von der an 2,0 m Geschwindigkeit im Tunnel herrscht, von wo an somit keine Ventilation mehr erforderlich ist. Damit sind auch die erforderlichen Betriebszeiten und Betriebskosten bestimmt. Die Dauerkurve Abb. 7 gibt ein Bild des Verlaufes.

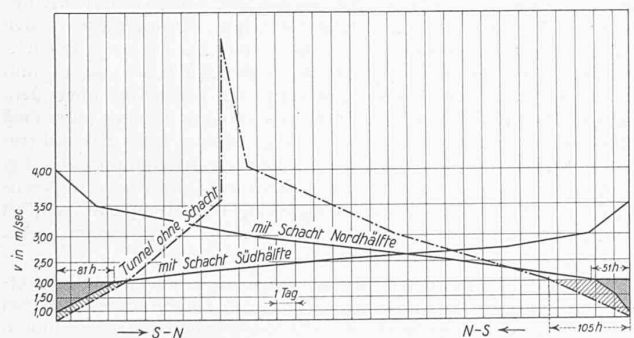


Abb. 7. Dauerkurven der Luftgeschwindigkeiten für Januar 1934
Schraffiert die Zeiten künstlichen Lüftungsbedarfs

Ausbildung des Schachtes.

Gewisse betriebstechnische und wirtschaftliche Vorteile hätte eine Unterteilung des Schachtes in zwei Stränge; sollen diese voll ausgenutzt werden, so müsste jede Tunnelhälfte für sich als Ventilationseinheit wirken können, was aber praktisch schwierig wäre. Die Betriebszeiten, in denen der Doppelschacht Vorteile böte, sind so gering, dass sich seine Mehrkosten kaum lohnen werden.

Der rd. 300 bis 350 m hohe Schacht liegt wie der Tunnel in den fast horizontal geschichteten Para- und Orthogneisen. Die flache Schichtung dürfte sich sowohl in der Erstellung als auch im definitiven Bauwerk sehr günstig auswirken, und ein Minimum an Ausmauerung erfordern. Die Ausmauerung des 4,0 m weiten Ringes ist 20 bis 30 cm stark. Als Abdeckung über dem Schacht und zugleich als Aus- und Eintrittsöffnung für die Luft dient ein Eisenbetonaufbau, ein rundes Dach auf vier Stützen.

Günstigste Tunnelneigung.

Eine Frage, die näher untersucht wurde, ist die der günstigsten Tunnelneigungen. Unabhängig von den topographischen und baulichen Verhältnissen, wäre ein horizontaler oder Süd-Nord schwach ansteigender Tunnel der gegebene, betriebstechnisch günstigste. Um einen Vergleich der Ventilationsgrössen zu

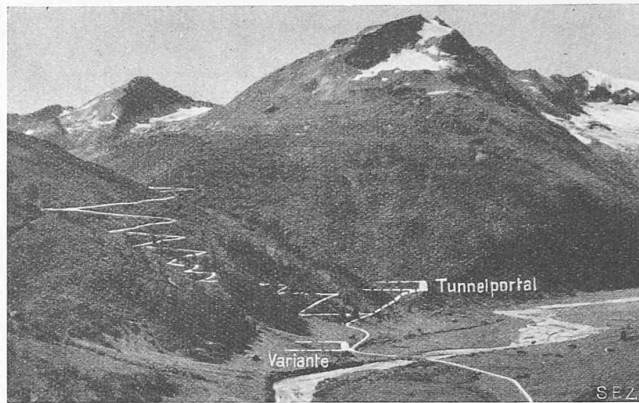


Abb. 9. St. Bernhardin-Nordrampe, aus Nordosten gesehen.

erhalten, wurden die Flächen der natürlichen Druckhöhen und Zeiten planimetriert und einander gegenübergestellt. Es zeigt sich, dass im Winter der beidseitig ansteigende Tunnel mit gleichen Portalhöhen die grösste natürliche Gesamtarbeit und die ausgeglichsten Werte in der Nord-Südrichtung, also die für die Ventilation rationellste Anlage ergibt! Im horizontalen Tunnel ist die Gesamtarbeit kleiner als in dem einseitig geneigten; die Strömungen in den beiden Tunnelhälften sind mehr ausgeglichen, was einem Kraftgewinn entspricht. Im Sommer zeigt der horizontale Tunnel die grösste Gesamtarbeit der natürlichen Ventilationskräfte und zugleich die kleinsten Unterschiede in den beiden Tunnelhälften, also die günstigste Lage. Die Unterschiede in den Arbeitsflächen des horizontalen und des beidseitig geneigten Tunnels gegenüber dem einseitig geneigten sind nicht gross. Die Verbilligung der Anlage am Bernhardin durch die Nord-Südsteigung ist bedeutend grösser, als sie die Ventilationsersparnisse bei horizontalem oder beidseitig geneigtem Tunnel ergeben würden. Tunnel und Zufahrten werden kurz, ohne wesentliche Mehrkosten der Ventilation.

Maschinelle Einrichtungen.

Zur künstlichen Erzeugung der notwendigen Strömung dienen zwei parallel geschaltete, vertikalaxige Schraubenräder (Abb. 8); jedes Rad fördert im Maximum 120 m³/sec Luft. Je nach der natürlichen Strömungsrichtung ist es vorteilhafter, die Luft anzusaugen oder einzudrücken. Um dies bei gleich drehenden Rädern tun zu können, sind Umstellklappen vorgesehen, die die Ein- und Austrittsrichtung in Schacht und Tunnel ändern. Vom Ventilator aus strömt die Luft in zwei getrennten Zuleitungskanälen zu den beiden Tunnelhälften. In ihnen sind noch besondere Regulier- und Abschlussklappen eingebaut, um vor allem auch bei stillstehenden Ventilatoren den Luftstrom durch den natürlichen Auftrieb aus den einzelnen Tunnelhälften in den Schacht regulieren zu können. Die Stärke eines Motors ergibt sich bei Berücksichtigung eines Gesamtwirkungsgrades der Maschinen von 50 %, bei 60–120 m³/sec geförderter Luft und den angenommenen Reibungsfaktoren der Luft an den Tunnelwandungen, zu 28 bis 210 PS. Die Regelung der Fördermenge ist auf verschiedene Weise möglich. Durch die Anordnung von zwei parallel laufenden Ventilatoren ist zugleich eine Reserve geschaffen, indem einer allein genügt, um 2,0 m/sec Luftgeschwindigkeit in jeder Tunnelhälfte zu erzeugen.

Hydrantenanlage zur Tunnelreinigung, Feuerlöschvorrichtungen, Sicherungsanlagen.

Die gelegentlich notwendig werdende Reinigung der Fahrbahn wird am einfachsten und rationellsten durch Druckwasser besorgt, das durch den Schacht oder von Zwischenquellen, längs dem Tunnel in ¼ bis 2" Röhren geführt wird und alle 100 m aus gewöhnlichen Hydranten entnommen werden kann. Für Feuersbrünste wird Sand in besonderen Sandbehältern bereitgehalten. Wie an den Pass-Strassen sollen etwa alle 500 m Telefonstationen angebracht werden, die eine möglichst rasche Meldung dem ständig anwesenden Wärter gestatten, der über den Luftzustand und die dadurch bedingte Inangangsetzung der Ventilatoren durch CO-Registrierapparate ständig unterrichtet wird.

Die Zufahrten zu den Portalen.

Die Zufahrtstrassen zu den Portalen sind für das Hauptprojekt und die Variante sehr günstig. Sie sind kurz, lawinensicher, windgeschützt, liegen zum grossen Teil im Walde und in gutem Gelände. Das Hauptprojekt hat am Nordportal eine 470 m lange Zufahrtsrampe von der ersten Kehre nach der neuen Landbrücke gegen Südwesten (Abb. 9); den Vorplatz und einen Teil

