

Grosse Autotunnel in den Alpen

Autor(en): **Gruner, Eduard / Gruner, Georg**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **105/106 (1935)**

Heft 15

PDF erstellt am: **12.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-47500>

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.

INHALT: Grosse Auto-Tunnel in den Alpen. — Mallocks Apparat zur Auflösung linearer Gleichungssysteme auf elektrischem Weg. — Ungesunde Verhältnisse im Wohnungswesen. — Neuere schweizer. Drehgestellbauarten. — Wasseraufnahme von Isolierplatten bei Lagerung unter Wasser. — Mitteilungen: XIII. internationaler Architekten-Kongress. Mikrozeitmessung. Maschinelle Rechenreinigung. Versuchs-

Holzschleiferei an der T. H. Darmstadt. Neue Gleichstromlokomotiven. Ehrung von Dir. Ad. Meyer, Baden. Lüftung des Simplon-Tunnels. Congrès international des Mines, de la Métallurgie etc. Fabrikmässige Betonherstellung. Auslandsarbeit für junge Ingenieure. Die neuen kant. Verwaltungsgebäude in Zürich. — Wettbewerbe: Neue Bestuhlung der Kirche Wädenswil. — Literatur. — Sitzungs- und Vortrags-Kalender.

Band 106

Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 15

Grosse Auto-Tunnel in den Alpen.

Von EDUARD GRUNER und GEORG GRUNER, Ingenieure, Basel.
(Schluss von Seite 162.)

In Italien und Deutschland wurden und werden moderne Autostrassennetze gebaut, die die grossen Handels- und Industriezentren verbinden und von einer Grenze zur andern führen. Es ist ein Gebot der Stunde, zur Verbindung dieser grossen Verkehrsgebiete einen ganzjährig befahrbaren Strassenzug zu bauen. Obwohl ein Durchgang durch die Schweiz hierfür als das Gegebene erscheint, machen unsere östlichen und westlichen Nachbarn grosse Anstrengungen, um diesen Durchgangsverkehr auf ihre Strassen zu leiten, was dank den topographischen Verhältnissen ohne allzugrosse Schwierigkeiten möglich ist (Abb. 15). So kann im Osten der gutausgebaute Brenner mit seinem tiefen Kulminationspunkt (1370 m ü. M.) bereits ganzjährig befahren werden; als westliche Umfahrung wird in Frankreich der Bau eines Montblanc-Tunnel vorbereitet. Die volkswirtschaftlichen Interessen der Schweiz verlangen aber dringend, dass dieser Verkehr auch in Zukunft unser Land benützt und wir unsere Vorzugstellung bewahren können. Dies ist nur möglich durch den Ausbau eines eigenen Alpenüberganges für den ganzjährigen Automobilverkehr.

Heute besitzt die Schweiz, das Zentrum Mitteleuropas, keine Strassenverbindung über die Alpen, die ohne Unterbruch befahrbar ist. Das Verladen der Automobile auf die Bahn stellt keine befriedigende Lösung dar und wird, aus dem Fehlen besonderer Automobiltransportwagen zu schliessen, offenbar von den SBB selbst nur als Provisorium betrachtet. Die Versuche mit den Schneeschleudermaschinen am Julier und St. Gotthard zeigen, dass eine einwandfreie Lösung auf diese Art ohne Neuanlage der Strassen unter besonderer Berücksichtigung der Schneeverwehungen und der Lawinenzüge schwer erreichbar ist.

Die einzige einwandfreie Lösung besteht im Bau eines Strassentunnels, durch den der Automobilverkehr ganzjährig, d. h. unabhängig von Witterung und Jahreszeit, geführt werden kann.

Soll sich der Bau eines solchen Tunnels wirtschaftlich rechtfertigen, so muss er möglichst viele Lan-

desgegenden erschliessen, verkehrstechnisch günstige Zufahrten aufweisen und das Gebirge womöglich an seiner schmalsten Stelle durchqueren. Der Tunnel muss im Zentrum des Landes liegen, sodass der Durchfahrtsweg zur Verbindung unserer nördlichen mit unseren südlichen Nachbarn solange als möglich auf Schweizerboden liegt. Aus den gleichen Ueberlegungen wie bei der Bahn vor 80 Jahren drängt sich hierfür wieder der St. Gotthard auf.¹⁾

Schon in der „SBZ“ vom 22. Dez. 1934 (Bd. 104, S. 285*) wurde auf die grosse Bedeutung der Anlage von Scheiteltunneln zur besseren Ausnützung unserer Alpenstrassen hingewiesen. In diesem Zusammenhang wurde die Möglichkeit der Anlage eines Scheiteltunnels an unserer wichtigsten Durchgangsstrasse, der Gotthardstrasse, kurz erörtert. Im Folgenden soll, nach einer kritischen Betrachtung der projektierten Strassentunnels durch den Mont-Blanc und unter dem St. Bernhardinpass, das Projekt eines Autotunnels durch den St. Gotthard dargestellt werden, wie es von den Verfassern dieses Artikels auf Grund der, anlässlich verschiedener Studienreisen an Ort und Stelle ermittelten Betriebserfahrungen an ausländischen Automobil-tunnels aufgestellt worden ist.

¹⁾ Vgl. hierzu unsere Nachschrift am Schluss dieses Aufsatzes, ferner unsere Darstellung der Gotthardbahn-Projektentwicklung in Band 99 (28. Mai 1932). Red.



Abb. 15. Uebersichtskarte eines ganzjährigen Auto-Fernverkehrs Nord-Süd in den Zentralalpen. — Masstab 1 : 3500000. Schwarz Gotthardzone, kräftig punktiert Möglichkeiten der Umfahrung der Schweiz (fein punktiert Simplonroute).

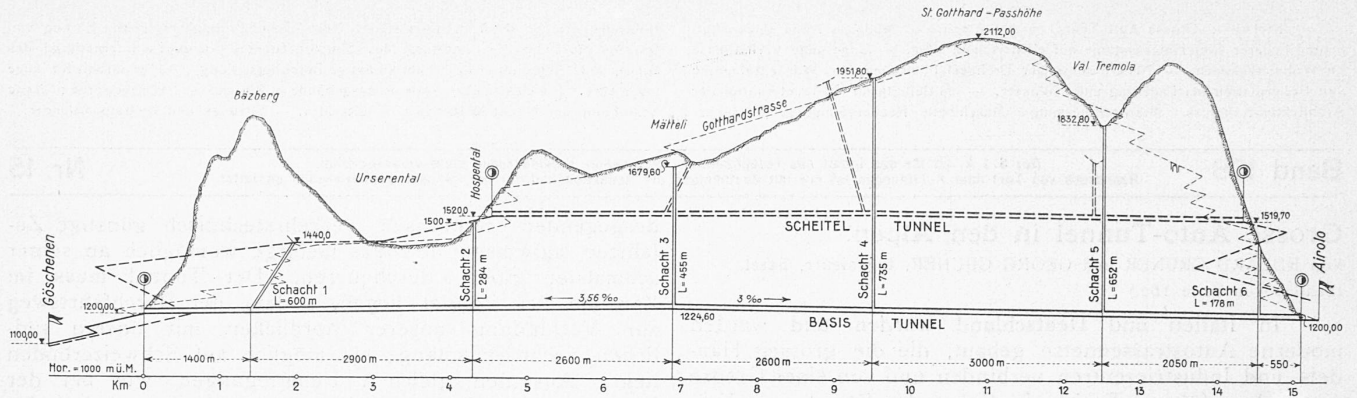


Abb. 21. Längenprofil des Scheitel- und Basis-Autostrassentunnels durch den Gotthard nach dem Projekt E. & G. Gruner, Basel. — Längen 1 : 90 000, Höhen 1 : 22 500.

Der Montblanc-Tunnel.

Nach dem Projekt von A. Monod und A. Bron („Illustration“ vom 14. April 1934) verbindet dieser 12,5 km lange Tunnel Chamonix mit dem italienischen Aostatal. Die Zufahrt von Chamonix (Kote 1020 m) zum Tunnelportal auf 1220 m entwickelt sich mittels einer Doppelschleife und zweier Kehrtunnel. Der Kulminationspunkt liegt in Tunnelmitte auf Kote 1382 m, die Steigung im Tunnel ist 26 ‰. Auf der italienischen Seite liegt das Portal auf Kote 1363 m (Abb. 16 sowie 28, S. 173) oberhalb Entrèves. Das Tunnel sieht zwei Tunnelrohre von untenstehendem Querschnitt vor, die in Abständen von 1 km miteinander durch schräge Quergalerien verbunden sind (Abb. 17 und 18).²⁾ Die geologischen Verhältnisse werden von Lugeon

²⁾ Nach einer Darstellung in „Génie Civil“ vom 6. April 1935 hätte der Tunnel einseitiges Gefälle von 8 ‰ gegen Chamonix; franz. Portal 1240 m, italienisches 1340 m ü. M. Red.

und Oulianoff als günstig bezeichnet; immerhin ist mit Wassereinbrüchen an verschiedenen Stellen zu rechnen. Die maximale Gesteinstemperatur wird bei max. Gebirgs-Überlagerung von rd. 2000 m mit 38,4° angegeben.

Der Bau soll 300 Mill. Fr. fr. kosten. Bei einem Verkehr von 100000 Automobilen im Jahr wird mit 15 Mill. Fr. fr. Einnahmen gerechnet. Dies entspricht einer Durchfahrtsgebühr von 150 Fr. fr. Leider sind über den Betrieb und die Ventilation keine näheren Angaben erschienen; aus den veröffentlichten Querschnitten ist sogar zu schliessen, dass diese Frage überhaupt noch nicht studiert wurde. Nach den Betriebserfahrungen und besonders den Lehren aus dem Unglück im bloß 1,8 km langen Liberty-Tunnel (vergl. S. 161 unten, in letzter Nr.) ist ein Autotunnel-Projekt, das der Ventilationsfrage nicht genügend Rechnung trägt, aus hygienischen Gründen nicht ausführbar.

Der Bernhardin-Tunnel.

Der Bernhardintunnel sieht eine Tieferlegung des Kulminationspunktes der San Bernardinostrasse um rund 350 m auf rd. 1710 m vor (Abb. 19, S. 169). Der Tunnel erhält eine Länge von 5,1 km, er würde etwas westlich der ersten Kurve im Talstafel bei Hinterrhein beginnen und ob San Bernardino ausmünden. Auch dieser Tunnel verlangt eine kräftige künstliche Ventilation. Verkehrstechnisch hat er den Nachteil, dass sein Einzugsgebiet auf die Ostschweiz beschränkt ist.

Der St. Gotthard-Autotunnel.

Es wurden zwei Varianten untersucht: ein Basistunnel auf 1200 m Höhe von Göschenen nach Airolo mit einer Länge von 15,1 km und ein 9,8 km langer Scheiteltunnel auf ungefähr 1500 m Höhe von Hospental nach Albinasca im Bedretotal (Abb. 20 und 21).

Wie in einem folgenden Abschnitt noch genau dargestellt wird, werden für den Basistunnel sechs Ventilatorenstationen gebraucht, deren Schachtlängen zwischen 178 und 735 m liegen. Beim Scheiteltunnel wären drei Stationen mit 176 bis 580 m langen Schächten erforderlich (Abb. 21). Auf den ersten Blick scheint der Scheiteltunnel bedeutend vorteilhafter, bei näherem Studium dagegen der Basistunnel. Göschenen und Airolo sind praktisch das ganze Jahr mit Automobilen zu erreichen, für die Zufahrt nach Hospental müssten dagegen eine vollständig neue Strasse durch die Schöllenen bis zum Tunnelportal bei Hospental und vom Südportal bis unterhalb

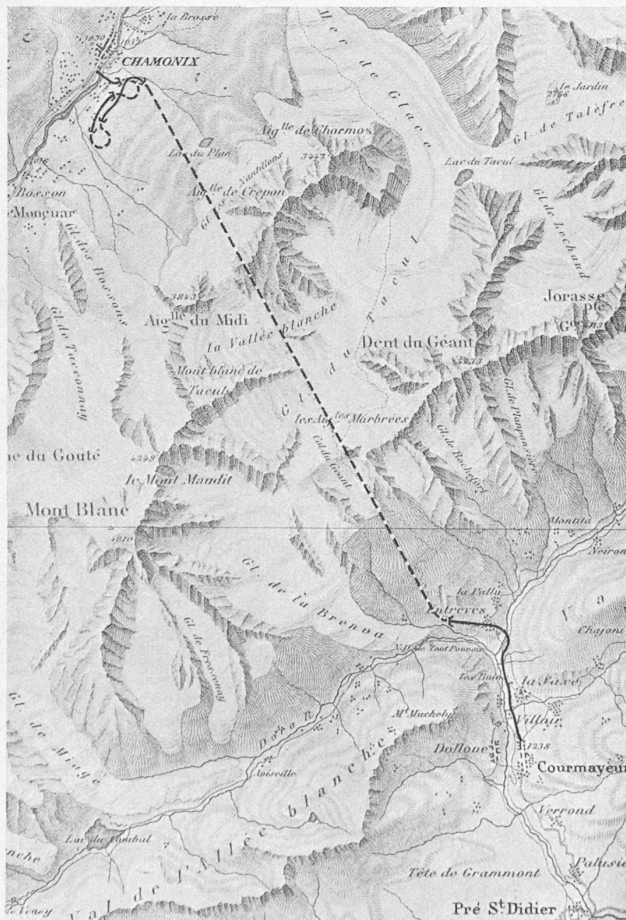


Abb. 16. Autotunnel durch den Mont Blanc, Projekt A. Monod. — 1 : 140 000. Bewilligung der eidg. Landestopographie vom 25. September 1935.

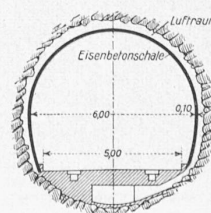


Abb. 17. Querschnitt einer Tunnelröhre. — 1 : 250.

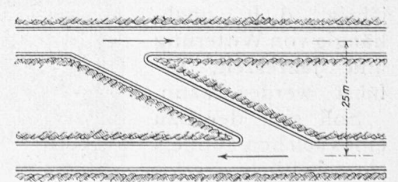


Abb. 18. Grundriss beider Röhren mit Verbindungsstollen. — 1 : 1500.



des Dorfes Airolo erstellt werden. Ausserdem hätte man jährlich mit beträchtlichen Kosten für Schneerräumung auf beiden Seiten zu rechnen. Da auch verkehrstechnisch der Basistunnel vorzuziehen ist, wurde das Projekt für diesen im Detail bearbeitet und der Scheiteltunnel nur als Vergleichsvariante behandelt.

Das Tracé des Basistunnel zeigt Abb. 20. Für die Anordnung der Belüftungsschächte waren möglichst geringe Längen und lawinsichere Standorte der Mündungen massgebend. Zwischen Km. 6,9 unter dem Schacht 3 (Mätteli) und dem Schacht 5 (Tremola) bei Km. 12,5 weist der Grundriss eine Krümmung von 9000 m Radius auf, ferner zur Erreichung einer günstigen Ausfahrt von Km. 14,55 bis zum Südportal eine Krümmung von 1000 m Radius. Das Längsgefälle beträgt 3,5 ‰ auf der Nordrampe und 3,0 ‰ auf der Südrampe, der Kulminationspunkt liegt beim Schacht 3 auf Kote 1224,6 m.

Die geologischen Verhältnisse sind für den Tunnelbau günstig. Der grösste Teil liegt in den Graniten des Aare- und Gotthardmassivs, einzig unter der Urserenmulde ist eine Jura- und Permocarbone Falte zu durchfahren, die einige Schwierigkeiten bereiten wird. Unterhalb des Guspistales wird eine herzynische Falte angetroffen. Die Endstrecke beim Südportal durchfährt die Triasschichten der Bedrettomulde. Die Temperatur wird im Maximum 35° erreichen. Das Ausbruchvolumen für Tunnel und Schächte beträgt rd. 1 220 000 m³.

Für das Tunnelprofil sind drei Gewölbestärken vorgesehen: 100 cm (Abb. 22) für druckhaftes Gebirge, 80 cm für leichte Druckstellen und 35 bis 45 cm (Abb. 23) in standfestem Gebirge. Entsprechend der nach den Erfahrungen der beschriebenen Autotunnel vorgesehenen Querschnittung besteht das Tunnelprofil aus drei Teilen: dem Frischluftkanal, dem Verkehrsraum und dem Abluftkanal.

Der Verkehrsraum umschliesst das Lichtraumprofil von zwei sich kreuzenden Fahrzeugen nebst den dazugehörigen Schlingerbreiten. Es ist 6,50 m breit und 4,20 m hoch. Die Fahrbahn ruht auf einer Eisenbetonkonstruktion, sie hat zur Entwässerung ein Quergefälle nach der Mitte von 1 ‰. Unter den 20 cm hohen Schrammborden liegt eine Wasserleitung zu Reinigungszwecken. Auf einer Seite ist in 1 m Höhe über der Fahrbahn ein Dienstweg von 65 cm Breite vorgesehen. Unter diesem und in der Wölbung auf der anderen Seite der Fahrbahn befindet sich Raum für Kabelkanäle. Die Entwässerung des Tunnels erfolgt in einem Gerinne auf der Sohle des Frischluftkanals, das gegen den Luftkanal mit Betonplatten abgedeckt ist.



Abb. 19. St. Bernhard mit Passtrasse und projekt. Tunnel von 5,1 km, Südportal-Kote etwa 1700. — Masstab der Karte 1 : 65 000.

Abb. 20. Gotthardpass mit Strassentunnel-Varianten. — 1 : 65 000, Die Kartenreproduktionen der Abb. 15, 16, 19 und 20 erfolgen mit Bewilligung der Eidgen. Landestopographie vom 25. September 1935.

Die Lüftung des St. Gotthard-Autotunnels.

Zur allfälligen Verminderung der hohen Kosten der künstlichen Lüftung wurde auch die Möglichkeit studiert, den Verbrennungsmotor für die Tunneldurchfahrt auf folgende Arten auszuschalten: Fahren der Automobile im Leerlauf in zwei getrennten abwärts geneigten Tunnelröhren, Schleppen der Automobile durch Ankuppeln an ein endloses Seil, Fahren mittels elektrischer Hilstraktion auf der Strasse, Absaugen der Abgase in eine geschlossene Entlüftungsleitung durch einen aufsetzbaren Schlauch, und schliesslich Oxydation des Kohlenmonoxyds durch einen aufsetzbaren Katalysator. Doch sind alle diese Massnahmen unpraktisch, da sie dem Fahrer seine Bewegungsfreiheit rauben oder noch zu wenig erprobt sind. Die einzige einwandfreie Lösung besteht in der künstlichen Belüftung.

Auf Grund einer Verkehrsannahme von 100 000 Fahrzeugen im ersten Betriebsjahr und 300 000 im 20. Betriebsjahr erhält man einen max. Frischluftbedarf von 18 l/sec/m' Tunnel im ersten und 72 l/sec/m' Tunnel im definitiven Ausbau. Diese grossen Luftmengen führen bei Berücksichtigung der ausländischen Erfahrungen zum System der Querlüftung. Der Tunnel muss hierfür in einzelne Ventilationsabschnitte mit eigenen Speisepunkten unterteilt werden, denen die Luft durch vertikale Schächte zugeführt wird. Damit diese möglichst kurz ausfallen, kommen nur Orte mit geringer Ueberlagerung für die Anlage eines Auto-Tunnels in Betracht. Im St. Gotthard lässt sich durch die vorgesehene Unterfahrung der bestehenden Passtrasse ein solcher Tunnel unter beinahe idealen Verhältnissen konstruieren.

Das Querlüftungssystem würde nach der bereits auf S. 159 beschriebenen Weise arbeiten. Abb. 24 und 25 zeigen Vorschläge für die Ausbildung der Tunnelstationen mit Motor- und Ventilatorenräumen, sowie der Zu- und Abluftschächte. Es ist möglich, die Schachtmündungen in einzelnen Felsköpfen unterzubringen, sodass sie die grossartige Gebirgsnatur nicht stören.

Da aus wirtschaftlichen Gründen die Dimensionen der Luftkanäle und die Strömungsgeschwindigkeit der Luft beschränkt sind, findet man die maximale Länge des von einer Ventilatorenstation zu speisenden Abschnittes zu 1500 m, d. h. der maximal zulässige Abstand zwischen zwei Ventilatorenstationen beträgt 3000 m.

Die maximale Luftgeschwindigkeit in den Luftschächten beträgt beim spätern Vollausbau 16 m/sec, in den Luftkanälen des Tunnels 10 m/sec. Der Querschnitt der Schächte ist für die Zu- und Abluft in zwei gleich grosse getrennte Hälften von zusammen elliptischem Querschnitt geteilt. In der Zufluthälfte läuft ein Revisionsaufzug.

Die Luftkanäle im Tunnel erhalten entsprechend der Luftmenge einen variablen Querschnitt, der von einem Maximum bei den Ventilatorenstationen zu einem Minimum beim Abschnitende abnimmt. Die Verbindungsdüsen gegen den Verkehrsraum sollen zur einmaligen Einregulierung eine bewegliche Blende erhalten.

Als Ventilatoren kommen Schraubenventilatoren mit beweglichen Laufradschaufeln in Betracht, da sie am wenigsten Platz erfordern. Sie werden mittels eines Kegelradgetriebes durch vertikalachsige Motoren angetrieben. Bei der Bemessung der Ventilatoren wurden die meteorologischen Einflüsse, wie Temperatur, Barometerstand und Luftfeuchtigkeit berücksichtigt. Als wahrscheinliche Tunnelbetriebstemperaturen wurden mit entsprechender Annäherung als Vergleichswerte jene des Bahntunnels gewählt.

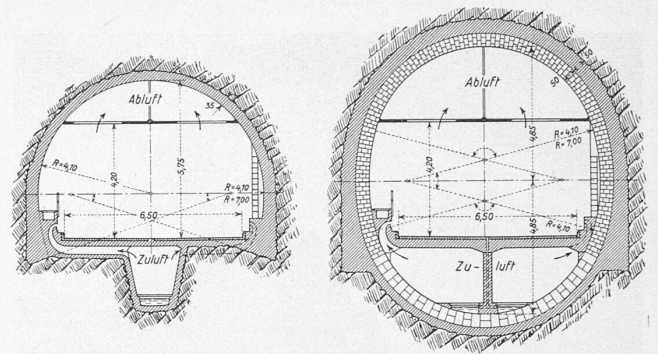


Abb. 23. Normalprofil in standfestem Gebirge. Projekt Ing. Ed. u. Gg. Gruner, Basel. Abb. 22. Druckprofil mit Sohlengewölbe. Massstab 1 : 250.

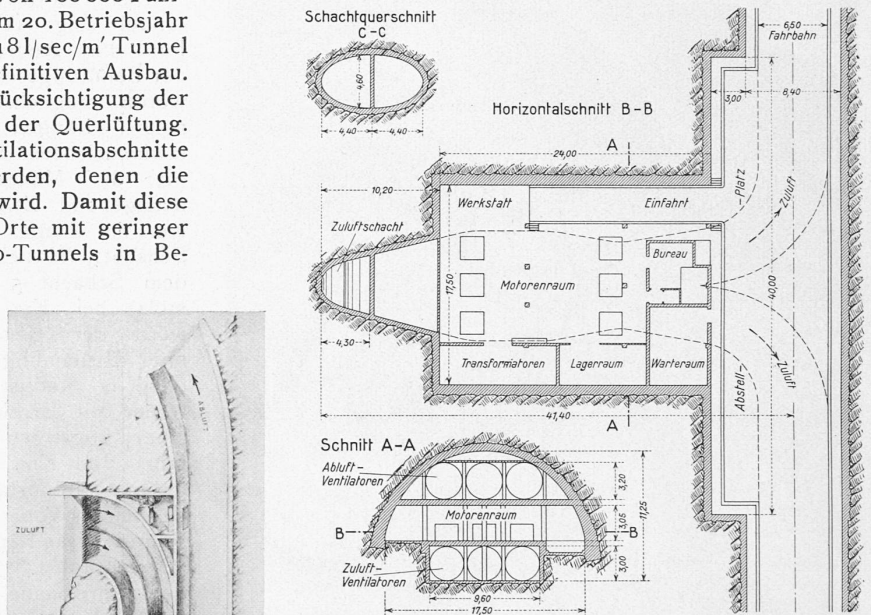


Abb. 24. Ventilationsanlage im Tunnel, mit Schacht. — 1 : 600

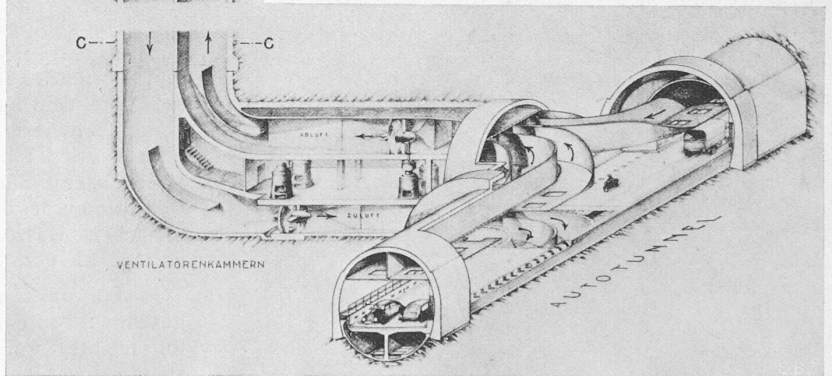


Abb. 25. Stereometrie einer der fünf Tunnel-Ventilationsanlagen nach Projekt Ed. u. Gg. Gruner. — 1 : 600.

Die für den Basistunnel maximal benötigte Luftmenge beträgt 280 m³/sec im ersten Ausbau und 1100 m³/sec im Vollausbau, der maximale Ueberdruck ist 400 mm W.S.

Die Ventilatorenstationen (Abb. 25) befinden sich seitlich der Tunnel-fahrbahn, damit sie unabhängig vom Wetter leicht zu erreichen sind, was bei einer Lage an der Schachtmündung nicht der Fall wäre. Vom Tunnel kann durch eine Einfahrt direkt in den Motorenraum gefahren werden. Die Frischluftventilatoren liegen entsprechend den Frischluftkanälen unter dem Motorenraum, die Abluftventilatoren darüber. Im ersten Ausbau würden pro Station je zwei Frisch- und Abluftventilatoren aufgestellt, von denen jeder die maximale Luftmenge fördern kann. Ausser den in Abb. 24 und 25 bezeichneten Räumen müssten sich in einer Ventilatorenstation auch ein Luftanalytorenraum,

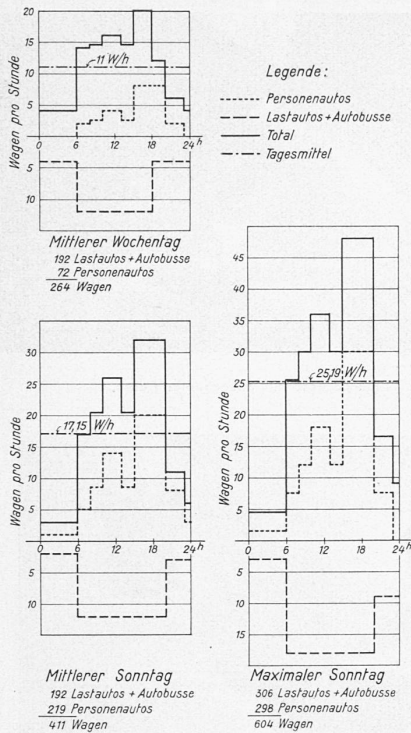


Abb. 26. Angenommene Verkehrsverteilung in 24 h.

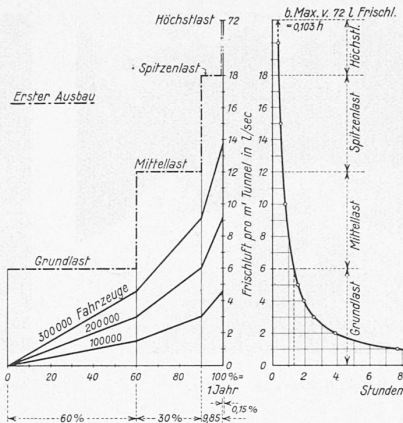


Abb. 27 links: Dauerkurve des Frischluftbedarfs. Rechts: Dauer vollständiger Lüfterneuerung im Verkehrsraum für verschiedene Belastungen. Z. B. Bei Frischluftspeisung von 6 l/m³ Tunnel und sec (Grundlast) erfolgt eine vollständige Lüfterneuerung im Verkehrsraum in 1 h 21 min.

ein W. C., eine Feuerlösch-Einrichtung und ein Zugang zum Revisionsaufzug im Schacht befinden.

Die Betriebsüberwachung würde aus

einem zentralen Schaltsaal beim einen Portal erfolgen, ähnlich wie sie beim Hollandtunnel beschrieben wurde. Bei den Tunneleinfahrten sind die nötigen Gebäude und Plätze für die Verwaltung, Einfahrtkontrolle, Parkplätze, Tankstellen, Garagen, Reparaturwerkstätten usw. vorgesehen. Zu den *Sicherungsmaßnahmen* im Tunnel gehören die in je 100 m Abstand vorgesehenen Feuerlöschstationen, ausgerüstet mit Sand-Kesseln, chem. Feuerlöschern und Alarmruf für die Tunnel-Feuerwehr. Gerade bei Auto-bränden im Tunnel bietet die vorgesehene Querlüftung den grossen Vorzug der Lokalisierung der Rauchentwicklung durch Absaugung in den Abluftkanal. Ausserdem alarmiert der chemische Luft-Analysator des Abschnittes innert kürzester Frist die Zentrale. Diese regelt die Bewetterung nach Massgabe der elektrisch-automatischen Meldungen der im Tunnel verteilten Luftanalysatoren, die auf den CO-Gehalt der Luft schon bei minimaler Aenderung reagieren. Endlich muss auch die Sicht im Tunnel gesichert werden, denn bei Lufttemperatur in der Nähe des Taupunkts tritt fast plötzlich und streckenweise Nebelbildung ein, die durch minimale Temperatursteigerung sich ebenso rasch wieder auflöst. Um derartige Nebelbildungen durch Regulierung der Ventilation beheben zu können, wird die Sicht im Tunnel durch photoelektrische Zellen ständig und automatisch überwacht. Nach den Beobachtungen im elektrisch betriebenen Gotthardtunnel der SBB schwankt die Lufttemperatur im Tunnel zwischen 13 und 23,5°C um ein Mittel von 17°C.

Erwägt man, dass die Autos im 15 km langen Tunnel sich in sehr kurzen Abständen folgen und begegnen können, so sind alle diese weitgehenden Massnahmen zur Sicherung des leiblichen wie psychischen Wohlbefindens der Autoinsassen unerlässlich, will man einen einwandfreien Auto-Tunnel schaffen.

Die Baukosten für den 15,1 km langen Gotthard-Strassentunnel sind ermittelt worden unter Zugrundelegung von Massenberechnungen, von denen einige Zahlen hier mitgeteilt seien: Gesamtausbruch 1 220 000 m³ (hierin Schächte 115 000 m³), Beton und Mauerwerk 324 000 m³, Eisenbeton 75 000 m³, Baukosten des Tunnels 67 Mill. Fr. (4440 Fr./m³); Schächte und Stationen 9 Mill. Fr., Maschinen und Apparate 4 Mill. Fr., Gesamt-Baukosten 80 Mill. Fr. (5300 Fr./m³), worin rund 50 Millionen Arbeitsstunden

(= Arbeitbeschaffung!) enthalten sind. Die Lüftung erfordert bei max. Belastung von 75 Wagen/h in jeder Richtung im I. Ausbau (100 000 Wagen/Jahr) 280 m³/sec Frischluft und 310 m³/sec Abluft (rd. 10-fache Abgas-Verdünnung) 500 PS (+ 100% Reserve) bei max. Belastung von 250 Wagen/h (4 Wg./min = rd. 200 m Abstand bei 50 km/h); im Vollausbau (300 000 Wg./Jahr) 1100 m³/sec Frischluft und 1250 m³/sec Abluft, 13 000 PS. Ueber die angenommene, auf die Tagesstunden abgestufte Verkehrsdichte gibt Diagramm Abb. 26 Auskunft, über den jeweiligen Luftbedarf Abb. 27.

Die Betriebskosten setzen sich zusammen aus Löhnen und Gehältern (samt Versicherung u. dgl.) 170 000 Fr., Energiekosten für 1,5 Mill. kWh zu 0,04 Fr. = 60 000 Fr., Verschiedenes 70 000 Fr., total pro Jahr 300 000 Fr. Bei 100 000 Wagen zu 20 Fr. Durchfahrtsgebühr (jetziger Bahntarif Göschenen-Airolo 25 bis 51 Fr.) ergäben sich 2 Mill. Fr. Einnahmen, sodass für Verzinsung und Amortisation rd. 2% des Anlagekapitals zur Verfügung ständen, die sich im Vollausbau auf rd. 7% erhöhen würden. Angesichts des Zeitgewinnes und der Unabhängigkeit gegenüber dem Bahntransport erscheint die angenommene Durchfahrtsgebühr für den Strassentunnel mässig.

Bau und Betrieb des St. Gotthard-Strassentunnel sind durch eine gemischtwirtschaftliche Unternehmung gedacht, bei der die SBB massgebend beteiligt sein müssten. Angesichts der unabwieslichen Notwendigkeit der Anpassung an das neuzeitliche Verkehrsmittel, das Automobil, anderseits an die drohende Umfahrung der Schweiz in der wichtigsten Durchgangsrichtung Nord-Süd, ist die Erstellung einer ohne Ketten ganzjährig und sicher zu befahrenden Fernverkehrsstrasse durch das zentrale Gotthardgebiet von so grosser verkehrswerbender und volkswirtschaftlicher Bedeutung, dass das vorliegende Projekt wohlwollender Prüfung empfohlen werden darf.

*

Nachschrift der Redaktion.

Vorstehende Darlegungen der Projektverfasser veranlassen uns, neben ihrer besonders in bau- und betriebs-technischer Hinsicht sehr eingehenden Studie, die in der Befürwortung der zentralen Gotthardroute gipfelt, auch die andern bereits zur Diskussion gestellten Möglichkeiten kurz zu erläutern. Bei dem vorliegenden Verkehrsproblem möchten wir drei Anforderungen in den Vordergrund rücken: die *zentrale Lage* des Auto-Alpenübergangs, seine *ganzjährige Befahrbarkeit* ohne wesentliche Störungen durch Schnee, und schliesslich die *grösstmögliche Sicherheit* in der Befahrung eines Auto-Tunnels.

Die zentrale Lage des Gotthardpasses geht aus der Uebersichtskarte Abb. 15 (Seite 167) deutlich hervor, insbesondere sein nördliches Einzugsgebiet, das hier bezogen ist auf die vorgeschlagene Ganzjahr-Route, d. h. den Gotthard-Strassentunnel auf 1200 m ü. M. Mit diesem rivalisieren die Umfahrungswege: im Westen durch den projektierten Mont Blanc-Strassentunnel (1340 m ü. M.) und im Osten über den bestehenden Brennerpass (1370 m ü. M.). In Betracht kommen die nördlichen Zufahrten von Paris, den Niederlanden und Norddeutschland, etwa bis Richtung Ulm und Augsburg, nach Mailand, bezw. Oberitalien, und weiter südlich (Genua und Florenz-Rom). Die Längen der Hauptstrecken sind die folgenden: München-Mailand über Brenner 507 km, desgl. via Gotthardtunnel 572 km (Kulmination 170 m tiefer als Brenner); Karlsruhe-Mailand über Brenner 760 km, durch den Gotthard 573 km; Kreuzpunkt zwischen Mülhausen und Belfort (Richtung NW, Paris) nach Mailand via Gotthard 414 km, via Mont Blanc 678 km (Kulmination 140 m höher als beim Gotthardtun-

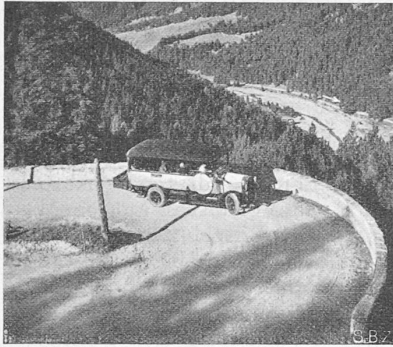


Abb. 34. Maloja-Kehre R_i 5 m, R_a 11 m. Strassenbreite 9 bis 11,5 m.



Abb. 35. Maloja-Kehre 4 im Winter.



Abb. 36. Flüelastrasse mit ausgebauter Kehre.

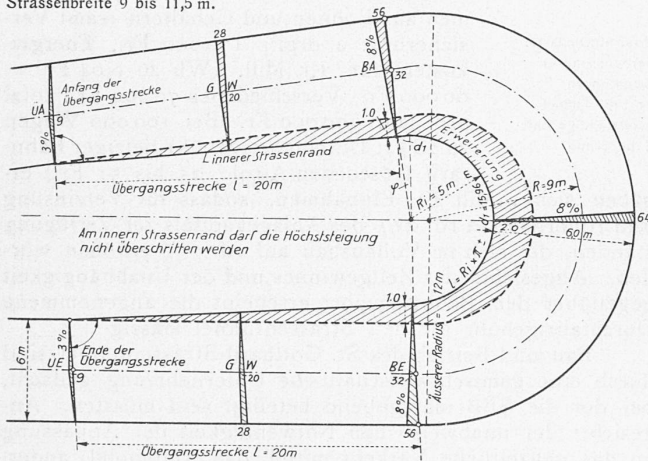


Abb. 33. Normalienblatt Wendeplatte für umzubauende 6 m - Bergstrassen. Mit Bewilligung der Vereinigung Schweiz. Strassenfachmänner.

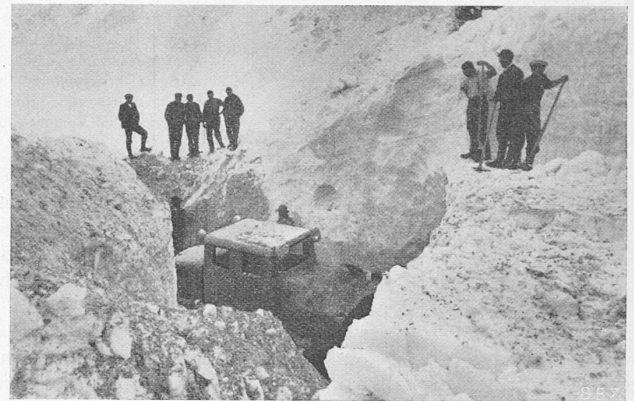


Abb. 31. Schneeschleuder System Peter in einer Tremola-Kehre. Lawinenschnee von 7 bis 11 m Höhe im Juni 1935.



Abb. 32. Spuren der Schneeschleuder beim stufenweisen Abbau harten Lawinenschnees in der Val Tremola.

nel). Beim Brenner kommt erschwerend in Betracht, dass ihm nördlich noch der Fernpass (1210 m) bzw. der Zirlerpas (1185 m) vorgelagert sind¹⁾, doch sind alle diese Pässe das ganze Jahr befahrbar; die verlorene Steigung von 600 m zwischen München und Innsbruck (580 m) kann man übrigens durch Umfahrung östlich über Kufstein-Rosenheim vermeiden.

Damit kommen wir zur *ganzjährigen Befahrbarkeit*, eine Forderung, die an jeden Alpenübergang gestellt werden muss, der nicht nur touristische, sondern auch kommerzielle Bedeutung einer internationalen Durchgangstrasse erlangen will. Es ist bekannt, dass die Eidg. Post schon seit dem Winter 1929/30 den Malojapass (1870 m ü. M.) ständig, d. h. mit nur nach wenigen Stunden zählenden Unterbrüchen für das Automobil offen hält (Abb. 35). Andererseits hält der Kanton Graubünden den Julierpass (2288 m) ebenfalls ganzjährig offen, im Winter 1934/35 mit wenigen Unterbrüchen an einigen Tagen mit ausgesprochenen Schneestürmen; Kant.-Ing. A. Sutter hat hierüber in der „SBZ“ vom 30. Juni 1934 berichtet (Bd. 103, S. 303*). Nach seinen Mitteilungen hat die Freihaltung des Julier im Winter 1934/35 insgesamt rd. 40 000 Fr. erfordert; rechnet man hierzu die Schneebrucharbeitungen der Eidg. Postverwaltung für die ganze Strecke Chur-Lenzerheide-Julier-Maloja-Bergell mit 29 906 Fr. reinen Betriebskosten, die sich samt Abschreibung und Verzinsung auf etwa 45 000 Fr. erhöhen mögen, so ergeben sich als Gesamtaufwand für die Offenhaltung dieses Alpenüberganges etwa 85 000 Fr. im Jahr. Die Schneebrucharbeiten am Gotthardpass im Frühjahr veranschaulichen beispielsweise Abb. 31 und 32, mit einer neuen Schneeräumungsmaschine System Peter (Liestal), worüber Ing. R. Endtner, Abteilungschef bei der Generaldirektion der Eidg. Postverwaltung in Bern, ausführlich berichtet in der „Post-Zeitschrift“ vom 1. Juli 1935.

Bei aller Anerkennung dieser Bemühungen, einen Bergpass in über 2000 m dem Automobil offen zu halten,

¹⁾ Ähnlich wie die Lenzerheide dem Julier, vergl. Abb. 28.

ist doch zu sagen, dass es nicht Jedermanns Sache ist, Wintersport zu treiben, dass namentlich der geschäftsmässige Autoverkehr tieferliegende, möglichst zuverlässig und rasch zu befahrende Uebergänge vorziehen würde.²⁾ Daher die mannigfachen Vorschläge für Basistunnel zwecks *Senkung der Scheitelhöhe* und Verminderung der Betreiberschwerung durch Schnee, bzw. der Lawengefahr. Wir verweisen auf unser vergleichendes Längenprofil Abb. 28. Als erste derartige Scheitelsenkung ist der *Bernhardintunnel* vorgeschlagen worden, dessen topographische Lage Abb. 19 zeigt; die Höhenlage seiner Portale von 1650 bis 1700 m wird von der Post schon lange ganzjährig und ohne Schwierigkeit, sogar ohne Ketten befahren. Der 5,1 km lange Tunnel ist mit 6,3 m lichter Weite, 36 bis 41 m² Ausbruchprofil vorgesehen. Näheres kann zur Stunde noch nicht mitgeteilt werden.

Das im „Génie Civil“ (6. April d. J.) veröffentlichte Projekt für den *Mont Blanc* soll die Täler von Chamonix und Aosta miteinander verbinden. Es ist schon 1907 von Ing. A. Monod als *Eisenbahn*-Verbindung entworfen, aber

²⁾ In der „Autostrasse“ Nr. 5 (Mai d. J.) erklärt die *Verkehrsdirektion Zürich* (hinsichtlich des Kerenzerberges mit 320 m verllorener Steigung): „Heute ist der Automobilverkehr in überwiegender Masse Geschäftsverkehr. Dementsprechend unterliegen die Betriebskosten des Automobils einer genaueren geschäftlichen Kalkulation. Daher spielen der Zeitverlust und der grössere Benzin- und Oelverbrauch, geringere Lademöglichkeit u. a. m. im Personen- und Lastverkehr heute eine bedeutende Rolle“.

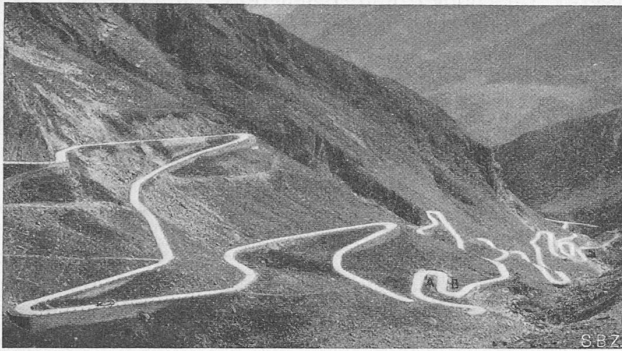


Abb. 29. Blick südwärts auf die Val Tremola-Kehren, Steigung 7 1/2%.



Abb. 30. Kehren A und B aus Abb. 29; R₁ 4,5 m, R_a 9 m, Strassenbreite 7 bis 8 m.

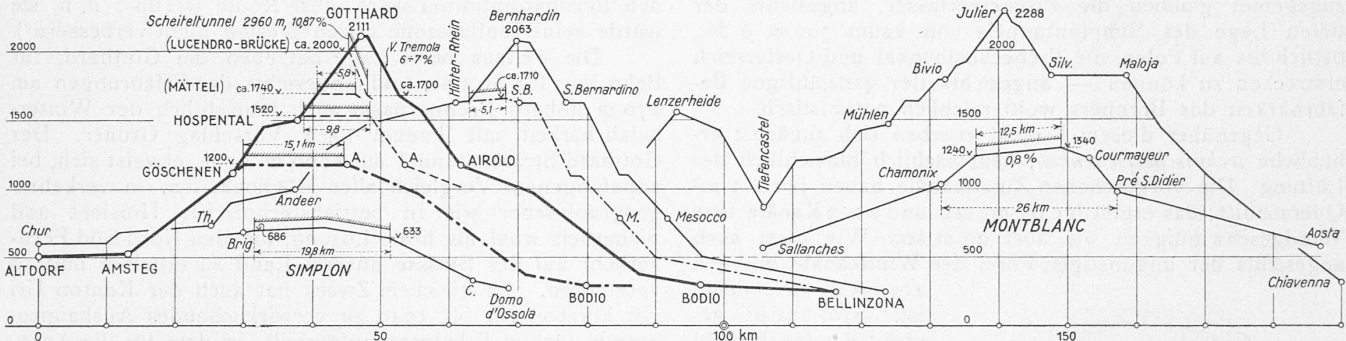


Abb. 28. Uebersichts-Längenprofil einiger wichtiger Alpenpässe und Tunnel. — Längen 1:1 000 000, Höhen 1:50 000.

infolge des Weltkrieges nicht weiter verfolgt worden; „M. Monod vient de reprendre ce projet, mais il l'a transformé en tunnel routier“. Worin diese Transformation besteht, wird nicht gesagt und ist dem Profil Abb. 17 (Seite 168) kaum zu entnehmen; der Kanal in der Sohle dient nämlich der Entwässerung. Ueber die wichtige Frage der Lüftung ist nichts gesagt, und man erhält den Eindruck, die Projektstudien seien noch nicht sehr weit gediehen³⁾. Immerhin gehören dem Initiativkomitee an⁴⁾ die Herren Caquot, Bénézit (Etab. Schneider), Petiet (Chambre synd. des Constr. d'automobiles), alt Staatsrat Bron (Genf) und der Strassenbauer Cav. Piero Puricelli (Mailand).

Kehren wir zurück zum *Gotthard-Pass*, wobei zunächst der heutige Zustand anhand der Abb. 28 bis 32 kurz gestreift werde. Die im Winter ab Oktober unpassierbare Passstrasse wird etwa im Mai oder Juni befahrbar, nachdem die besonders in der lawinenreichen Val Tremola auf der Südrampe mühsame Arbeit des Schneebruchs beendet ist. Die früher gefürchteten Tremola-Kehren sind heute gut ausgebaut (vergl. auch die Abb. 33 bis 36). Dessenungeachtet hat das Kantonsbauamt Tessin ein Projekt zur Ausschaltung der Val Tremola durch einen Scheiteltunnel ausgearbeitet, dessen Südportal im Piano delle Volte auf rd. 1700 m ü. M. an den unteren Eingang in die Val Tremola zu liegen käme (vergl. Abb. 20, S. 169, und Abb. 28), wogegen das Nordportal bei der Lucendrobrücke in 2005 m bezw. 2040 m Höhe (wir haben das Portal eingetragen in Abb. 20, das Südportal ist identisch mit dem des Mätтели-Tracé), das heisst kaum 100 m tiefer als die Passhöhe. Dadurch erhielte dieser Auto-Tunnel nach „Variante I“ (vergl. Pläne in „S. Z. S.“ vom 19. Sept. d. J.) 2960 m Länge bzw. 10,87% Steigung, d. h. 4% mehr als die offene Strasse in der Tremola! Aus der Angabe von rd.

6 Mill. Fr. Baukosten, d. h. nur rd. 2000 Fr./m', ist zu schliessen, dass ein einfacher Strassentunnel geplant ist, wie er z. B. im Monte Piottino kürzlich ausgeführt wurde, also ohne künstliche Ventilation. Gegen ein solches Vorhaben erheben sich zwei schwere Bedenken: einmal wäre ein 3 km langer *Auto-Tunnel* mit fast 11% Steigung und ohne sehr reichliche Lüftung zu gefährlich, sodann entwertet die nördliche Mündung in über 2000 m den Tunnel als praktikablen Winterweg. Würde man sein gut gewähltes Südportal mit einem Nordportal in ungefähr gleicher Höhe (etwa 1740 m) verbinden, so erhielte man einen 5,8 km langen *horizontalen Tunnel*, der unterhalb des Mätтели münden würde (Abb. 20); Höhe und Länge wären ähnlich dem Bernhardintunnel (Abb. 28). Will man eine noch grössere Scheitelsenkung, so kommt man zu den eingangs beschriebenen Vorschlägen der Brüder Gruner auf 1500 bezw. 1200 m ü. M.⁵⁾

Endlich ist als neuester Vorschlag für einen Winterweg durch die Alpen die Verwendung einer der beiden Röhren des bestehenden Eisenbahn-*Simplon-Tunnel* als Autostrasse zu erwähnen; am 21. September d. J. fand in Brig eine Konferenz von Verkehrsinteressenten statt, die das vom Ingenieurbureau Perrin & Tuscher (Genf) ausgearbeitete Projekt, auch namens der Kantonsregierungen von Wallis, Waadt und Genf, lebhaft begrüsst. Aus diesem Grunde sei dieser Vorschlag anhand eines Originalberichtes der Projektverfasser hier etwas näher erläutert. Die Befahrung der einspurigen Tunnelröhre ist, in stündlich wechselnder Richtung, im Einbahnverkehr gedacht: mit 60 km/h und im Zeitabstand von je 30 sec eingelassen, sollen die Autos den rd. 20 km langen Tunnel in 20 min durchfahren, somit im Spitzenverkehr während 40 min bis 80 Wagen in der Stunde. Diese Verkehrsdichte sei nicht übermässig, seien doch zwischen Genf und Nyon schon 400 Wg./h in einer Richtung gezählt worden. Im Tunnelverkehr kann jedem Wagen ein Pilot mitgegeben werden. Die in Abständen von 200 m im Simplon vorhandenen Querstellen zwischen Tunnel I und II sollen abgeschlossen und zu Refugien im Falle von Pannen verwendet und zu diesem Zweck mit Wagenhebern und dergl. und mit Telefon

³⁾ Unsere schweizerischen Tunnelbauer dürfte folgendes Detail interessieren: . . . „En ce qui concerne l'exécution, l'auteur du projet envisage l'emploi de la méthode suivante: les roches seraient concassées à l'avancement dans des broyeurs successifs, réunis par des courroies transporteuses et permettant d'obtenir des cailloux de 5 à 6 cm au maximum; ces cailloux seraient déversés dans une trémie qui les écoulait dans une canalisation en fonte de 12 à 15 cm de diamètre, où ils seraient entraînés par un courant d'eau“. — Mit 8% Gefälle und auf viele km Länge dürfte dieses Verfahren einige Schwierigkeiten bereiten.

⁴⁾ Ausführlicher in „Autostrasse“ Nr. 8, vom August d. J.

⁵⁾ Die Länge aller dieser Zentralalpentunnel ist ziemlich genau proportional der jeweiligen Scheitelsenkung.

nach den Portalen versehen werden. Für die Lüftung sind je zwei Zuluft- und Abluftkanäle vorgesehen, wie im Profil Abb. 37 angedeutet. Für eine zehnfache Verdünnung der Automotoren-Abgase werden 300 000 m³/h (83 m³/sec, bezw. in Querlüftung 4,3 l/sec pro m Tunnellänge) als erforderlich bezeichnet, die durch Ventilatoren von den Portalen aus eingeblasen, bezw. abgesogen werden sollen. Die Bau- und Installationskosten sind auf insgesamt 3 Mill. Fr. veranschlagt, die Betriebseinnahmen bei 150 000 Wagen im Jahr (= 10% des Riviera-Verkehrs zwischen Nizza und Ventimiglia) und 10 Fr. Gebühr würden 1,5 Mill. Fr. ergeben. In den Betriebsausgaben figurieren 5% Kapitalzins, 600 000 Fr. Entschädigung an die SBB, 300 000 Fr. Unterhalt, Abschreibung und Verschiedenes; in den 450 000 Fr. für Betrieb sind enthalten die Stromkosten mit 1000 kW während 8000 h = 8 Mill. kWh zu 0,02 Fr./kWh. Das Einzugsgebiet glauben die Projektverfasser, angesichts der tiefen Lage des Simplontunnels von kaum 700 m ü. M., östlich bis auf Polen, die Tschechoslovakei und Oesterreich erstrecken zu können — angesichts der ganzjährigen Befahrbarkeit des Brenners wohl reichlich optimistisch.

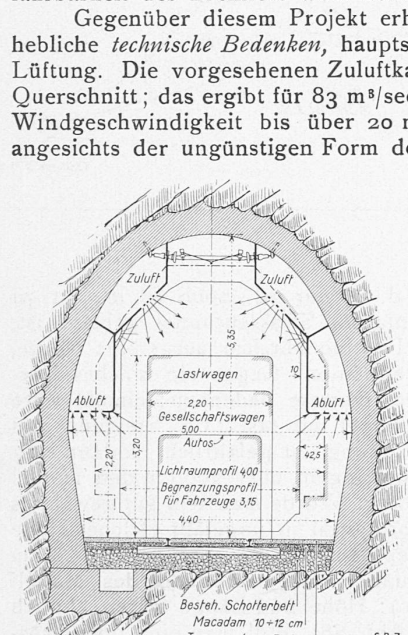


Abb. 37. Vorschlag Perrin & Tuscher (Genf) zur Verwendung des Simplon-Tunnel II für Eisenbahn und Automobil. — Masstab 1 : 120.

heran, würde der Tunnel für die Bahn nicht mehr benutzbar. Der durch dieses Lichtraumprofil äusserst ungünstig beschnittene verfügbar bleibende Raum dürfte sich aber als vollends unzureichend erweisen, und da ein 20 km langer Auto-Tunnel mit der Möglichkeit ausreichender Belüftung steht und fällt, dürfte hierin der wundeste Punkt dieses Projektes berührt sein. Schliesslich werden auch die SBB (und die italienischen Staatsbahnen, die hier mitzureden haben), wenn sie überhaupt die heutige Zweigeleisigkeit des Simplontunnels opfern können. Bedenken hegen über die intensive Befahrung ihres Bahngleises mit schweren Autos; es sei nur erinnert an die ungünstige Beeinflussung der Strassenbahngleise (auch bei Rillenschienen) durch den Autoverkehr. Dies einige technische Bedenken.

Vom Gesichtspunkt der verkehrs-geographischen Lage liegt für die Schweiz der Simplon, d. h. der Genfersee ebenso weit westlich exzentrisch, wie der Bernhardin (Sargans, Chur) im Osten (Abb. 38). Der Nachteil dieser Exzentrizität würde etwas gemildert durch den, vor etwa zwei Jahren in Bern in die Diskussion geworfenen Umbau des Löttschberg-Tunnels (1200 m ü. M.) samt Südrampe bis Brig in eine Autostrasse, wodurch der Simplon-Anschluss östlich vom Genfersee an den Thunersee (Bern-Olten, bezw. Brünig-

1000 kW zu erzielen ist, wird nicht gesagt; das (noch nicht vorgenommene) genauere Studium der Ventilation wird dies wohl zeigen. Was zudem sehr einschneidend ist, das ist der Umstand, dass für die festen Einbauten der Windkanäle im Tunnel nicht das Fahrzeug-Begrenzungsprofil, sondern das (im Tunnelprofil Abb. 37 von uns eingezeichnete) Lichtraumprofil massgebend ist. Durch die hier geplanten festen Einbauten, bis auf 10 cm an das Begrenzungsprofil

Lucern) verschoben und damit das Einflussgebiet nach Nordosten ungefähr dem der Gotthardroute angeglichen würde (Abb. 38). Man hat aber seither von diesem Vorschlag, die unrentable Löttschberglinie zu fruktifizieren, nichts mehr gehört; auch müsste im 14,5 km langen Löttschberg-Tunnel natürlich das Lüftungsproblem in anderer als der heutigen Form gelöst werden. Wir erwähnen diesen Vorschlag in diesem Zusammenhang lediglich der Vollständigkeit wegen, ebenso wie das jüngste, das glarnerische Projekt einer Ganzjahr-Autostrasse von Elm über den Panixerpass, mit 5,66 km langem Scheiteltunnel in rd. 1500 m Höhe, die in Ruis, halbwegs zwischen Reichenau und Disentis an die Talstrasse im Bündner Oberland anschliessen würde, mit Ziel nach dem Lukmanierpass auf 1917 m Meereshöhe (Baukosten 14 Mill. Fr., ohne die Anschlussstrecken auf der Bündnerseite). Als Zubringer für den Bernhardintunnel wäre diese Route wertlos, d. h. sie würde seine Einflusszone gegen Westen nicht verbessern⁶⁾.

Die weitaus beste Lage hat eben der Gotthard, für Bahn wie für Strasse, und (angesichts der Erfahrungen am 170 m höhern Brennerpass) auch hinsichtlich der Winterbefahrbarkeit mit Tunnel nach Vorschlag Gruner. Der Gotthard-Strassentunnel auf 1200 m ü. M. erweist sich, bei unbefangenen Vergleich aller Möglichkeiten, in verkehrs-geographischer wie in betriebstechnischer Hinsicht und Sicherheit wohl als beste Lösung, um den Nord-Süd-Fernverkehr auf der Strasse unserm Land zu erhalten und zu vermehren. Zu gleichem Zweck hat auch der Kanton Uri vor kurzem ein bis 1940 zu verwirklichendes Ausbauprogramm für die Talstrasse aufgestellt, in dem für die Axenstrasse 2 Mill. und für die Strecke Amsteg-Göschenen 1,42 Mill. vorgesehen sind. Den Ausbau der Strasse von Airolo durch das Livinental abwärts betreibt der Kanton Tessin sehr grosszügig und energisch (vergl. „SBZ“ vom 22. Dezember 1934).

Damit wären die in Betracht kommenden topographischen Möglichkeiten eines Auto-Winterweges durch die Alpen technisch und ziffermässig zur Beurteilung dargelegt und wir kommen schlussendlich zur Kardinalfrage, der Finanzierungsmöglichkeit und der Wirtschaftlichkeit. Dass ein Gotthard-Autotunnel von einschneidendster Wirkung

⁶⁾ Es wäre im Interesse der Konzentration der Kräfte auf wirtschaftliche Realitäten zu wünschen, dass nicht ein neuer „Abkürzungs- und Tieferlegungswahn“ diese Kräfte zersplitterte, wie es vor Jahrzehnten im Kampf um eine Ostalpenbahn (hie Splügen — hie Greina!) der Fall war.

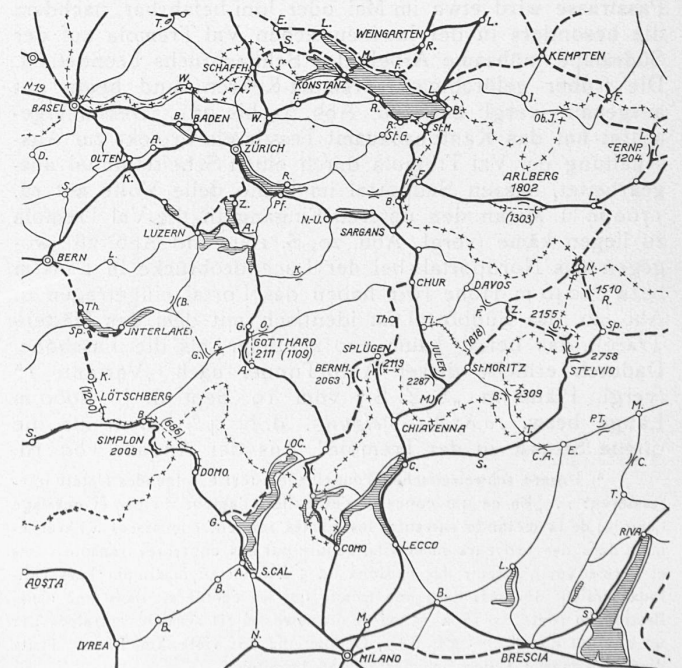


Abb. 38. Zentralalpine Fernverkehrsrouten (vergl. „SBZ“ vom 6. Mai 1933).

auf die Stammlinie, das Rückgrat unserer *Staatsbahn* wäre, braucht nicht bewiesen zu werden, ebensowenig die Tatsache, dass unser ganzes Landesinteresse nun einmal auf Gedeih und Verderb mit dem Sckicksal unserer Bundesbahnen verknüpft ist.⁷⁾ Es ist eine Frage wirtschaftlicher Untersuchungen — also nicht mehr unsere Sache — zu prüfen, ob und wie die anscheinend widerstrebenden Interessen durch Kooperation vereinigt werden können. Auch in der vorliegenden Frage können verschiedene Wege nach Rom führen. Es wird u. a. auch zu erwägen sein, dass der Autotransport durch den Eisenbahntunnel⁸⁾ noch verbesserungsfähig ist, vielleicht so sehr, dass dem praktischen Bedürfnis des Automobilverkehrs hinreichend entsprochen werden kann. Es sei beispielsweise auf den Bau von Spe-

zialwagen bezw. Zügen verwiesen, derart, dass die Autos über eine Kopframpe von hinten her über einen aus Plattformwagen formierten Zug bis an dessen Spitze vordringen und aufeinander aufschliessen. Diese Komposition, in Länge nach jeweiligem Bedarf, müsste in möglichst dichter Folge an fahrplanmässige Personen- und Güterzüge angehängt oder in Zugspausen für sich durch den Tunnel befördert werden, um auf der andern Seite nach Anschleichen an eine Kopframpe von den Autos in flüssiger Fahrt nach vorn wieder verlassen zu werden. Dies wäre auch für den Simplontunnel zu untersuchen.

So oder anders muss sich die Bahn den veränderten Bedürfnissen anpassen; solche Anpassungsfähigkeit, wie die Einsicht in ihre Notwendigkeit müssen wir den massgebenden Stellen der SBB zutrauen können. Wenn unsere Ausführungen die vielfach noch nebelhaften Begriffe über den Gegenstand etwas ordnen und klären und eine erspriessliche Aussprache hierüber auslösen, ist ihr Zweck erreicht.
C. J.

⁷⁾ Eine dokumentierte Darstellung ihrer Entstehung und Entwicklung befindet sich in Vorbereitung und wird demnächst hier erscheinen.

⁸⁾ Heutiger Spitzenverkehr (Ostertage 1935): 774 + 803 Autos. Während des ganzen Jahres 1934 beförderten die SBB durch den Gotthardtunnel 3382 + 3336 = insgesamt 6718 Autos.

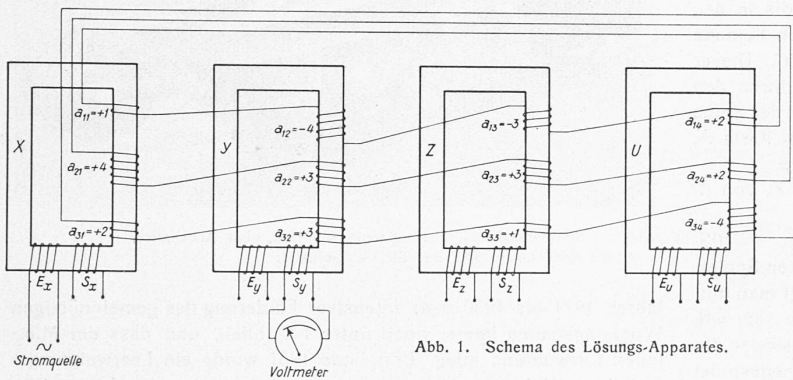


Abb. 1. Schema des Lösungs-Apparates.

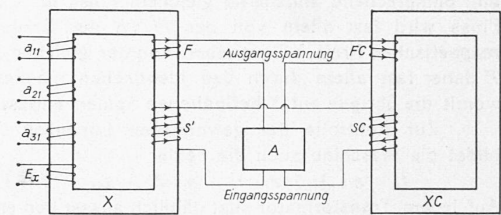


Abb. 2. Schema des Kompensators.

Mallock's Apparat zur Auflösung linearer Gleichungssysteme auf elektrischem Weg.

Manche technischen, zumal statische Aufgaben erfordern die Lösung linearer Gleichungssysteme mit vielen Unbekannten — ein prinzipiell einfacher, praktisch oft langwieriger, ermüdender und deshalb leicht fehlschlagender Prozess, wie gemacht dafür, von einer automatisch, gedankenlos und sicher arbeitenden Maschine übernommen zu werden. Eine solche hat denn auch R. R. M. Mallock in Cambridge erfunden; am dortigen Internationalen Mechanikerkongress (1934) wurde ein nach seinen Angaben von der Cambridge Instrument Co., Ltd., hergestellter Apparat zur Auflösung von 10 linearen Gleichungen mit 10 Unbekannten vorgeführt.

Mallock's Gedanke, in den Proceedings of the Royal Society of London, A, Bd. 140, 1933 einlässlich entwickelt, ist sehr einfach. Er deutet etwa die Gleichung

$$ax + by + cz + du = 0$$

als die zweite Kirchhoff'sche Regel für einen aus 4 hintereinander geschalteten Spulen bestehenden geschlossenen elektrischen Stromkreis. In einem solchen ist die Summe der induzierten EMK gleich dem Ohm'schen Spannungsabfall ri (r = Widerstand, i = Strom), bei relativ kleinem ri also annähernd null. Dies drückt die Gleichung aus, sofern die Spulen beziehungsweise aus a, b, c, d Windungen bestehen, und x, y, z, u beziehungsweise die in den Spulen pro Windung induzierte EMK bedeuten. Mehrere homogene Gleichungen in den selben Unbekannten x, y, z, u werden durch ebensovielen geschlossene Stromkreise zu je 4 Spulen repräsentiert; da sie simultan gelten sollen, ist in entsprechenden Spulen pro Windung die selbe EMK zu induzieren, d. h. entsprechende Spulen sind durch den selben alternierenden magnetischen Fluss zu durchsetzen. Dies führt zu ebensovielen kleinen Transformatoren wie Unbekannten, je einer für die entsprechenden „Koeffizientenspulen“ von regulierbarer Windungszahl; die Koeffizientenspulen werden zu ebenso vielen Stromkreisen zusammengeschlossen als Gleichungen vorliegen: den „Gleichungskreisen“. Auf jedem Transformator ist ein positiver Wicklungssinn festgelegt; jede Koeffizientenspule ist an ihren Gleichungskreis so anzuschliessen, dass sie, entsprechend dem Vorzeichen des Koeffizienten, in positivem oder negativem Sinn durchlaufen wird.

Abb. 1 illustriert beispielsweise den Fall dreier homogener Gleichungen in 4 Unbekannten¹⁾:

$$a_{i1}x + a_{i2}y + a_{i3}z + a_{i4}u = 0 \quad i = 1, 2, 3$$

Eine an die Erregerspule E_x gelegte harmonische Wechselspannung ruft im Transformator X einen pulsierenden magnetischen Fluss hervor, der in allen drei Gleichungskreisen Ströme induziert, die ihrerseits die übrigen Transformatoren magnetisch erregen. Bei dem sich einstellenden stationären Zustand sind (bei ungesättigtem Eisen) auch die Ströme, Flüsse und Spannungen harmonisch. Die Unbekannten x, y, z, u können statt als Momentanwerte als Effektivwerte der in den identischen „Einheitsspulen“ S_x, S_y, S_z, S_u induzierten, mit einem Feinmessinstrument ablesbaren EMK gedeutet werden. Vier Zeigerausschläge liefern also die Verhältnisse $X = x/u, Y = y/u, Z = z/u$, d. h. vorliegendenfalls die Lösungen des inhomogenen Gleichungssystems:

$$a_{1k}X + a_{2k}Y + a_{3k}Z + a_{4k} = 0 \quad i = 1, 2, 3 \quad (I)$$

Die Voraussetzung, dass alle Spulen eines Transformators mit dem gleichen magnetischen Fluss verkettet sind, die magnetischen Kraftlinien also ganz im Eisen verlaufen, ist praktisch gut zu erfüllen. Die Vernachlässigung der Ohm'schen Spannungsabfälle wird durch die folgende Ueberlegung nahegelegt: Je höher die Qualität der verwendeten Eisensorte, desto geringer ist die zur Erzeugung eines bestimmten magnetischen Flusses erforderliche MMK , d. h. die Summe der den Transformator umschlingenden Amperewindungen, desto genauer gelten also vorliegendenfalls die 3 Gleichungen

$$a_{1k}i_1 + a_{2k}i_2 + a_{3k}i_3 = 0 \quad k = 2, 3, 4 \quad (II)$$

(i_m = Strom im m -ten Gleichungskreis). Da S_x und damit X von null verschieden angenommen werden kann, so trifft dies auch auf die Determinante von (II) zu²⁾, sodass notwendig alle 3 Ströme und damit die Ohm'schen Spannungsabfälle verschwinden. Erhöhte Genauigkeit wird mit dem jedem Transformator beigegebenem sogenannten Kompensator erzielt. Sein Zweck ist, den Koeffizientenspulen die kleine zur Aufrechterhaltung des Flusses immerhin benötigte

¹⁾ Die beiden Abbildungen sind aus den Proceedings i. c. nachgezeichnet.

²⁾ Wir setzen (I) als lösbar voraus.