

**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:** 11.07.2025

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

INHALT: Das Projekt eines Autotunnels Graubünden-Tessin durch den St. Bernhardin. — Ueber das Problem der Eisengewinnung in der Schweiz. — Wettbewerb für Schul- und Gemeindebauten in Villmergen (Aargau). — Zur Frage der akademischen Ehrenpromotion. — Mitteilungen: Brush-Ljungström-Turbosätze von 37 500 kW. Umbau des Wasserkraftwerkes Jonage bei Lyon. Das «Gestra»-Duplex-Bodenventil für Kessel-

wagen. Technik und Wirtschaft. Ueber Schutzanstriche auf Wehrkonstruktionen. Lüftung in Viehställen, Städtebau und Bauordnungsreform. 4400 PS-Dieselelektrische Lokomotiven der P. L. M. Ein Kundendienst für Holzgas-Lastwagen. 4. Internat. Flugmeeting Zürich. Cité de la Muette in Drancy, Paris. — Wettbewerbe: Neue elektrische Anwendungen. Reformierte Kirchgemeinde und Pfarrhaus in Bern. — Mitteilungen der Vereine.

Band 110

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. 3

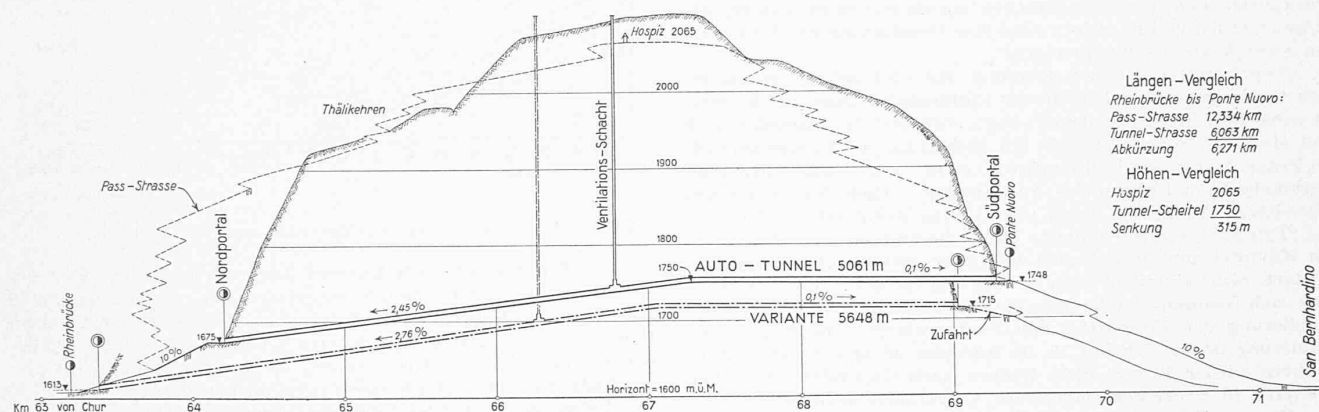


Abb. 2. Längenprofil des Bernhardin-Autotunnels mit Lüftungsschacht von rund 350 m Höhe. — Längen 1:45 000, Höhen 1:9 000.

## Das Projekt eines Autotunnels Graubünden-Tessin durch den St. Bernhardin

Von SIMMEN & HUNGER, Ingenieure in Zürich

[Vorbemerkung der Redaktion. Wenn wir trotz unserer stets geäußerten grundsätzlichen Bedenken gegen lange Autotunnel der nachfolgenden Projekt-Beschreibung Aufnahme gewähren, geschieht dies, weil ein Bernhardintunnel sowohl in verkehrsgeographischer, wie in bau- und betrieblicher Hinsicht (wegen der Unterteilungsmöglichkeit durch einen Schacht von erträglicher Höhe) die meisten Vorzüge auf sich vereinigen dürfte. Zudem haben die Verfasser das Lüftungsproblem so gründlich studiert, dass die Ergebnisse von allgemeinem Interesse sind. Die erstaunlich niedrigen Baukosten-Angaben beruhen nach Erklärung der Verfasser auf Erfahrungen und Berechnungen verschiedener Ingenieure.]

Die Projekte einer internationalen Bahnverbindung zwischen Italien und Deutschland durch die Hinterrheintäler, den uralten Verkehrswegen folgend, war lange die Lieblingsidee aller bündnerischen und ostschweizerischen Verkehrspolitiker. Sie musste den Vorzügen der zentralen Lage des Gotthard und, noch mehr, den grösseren und stärkeren Interessengruppen, die sich für ihn einsetzten, weichen, und die Täler verloren durch die Eröffnung des Gotthardtunnels ihren Verkehr.

Durch die Rückkehr des Verkehrs von der Bahn auf die Strasse erhielten die vereinsamten Täler des Hinterrhein und Misox wenigstens im Sommer wieder einen Teil des Verlorenen zurück. Auch im Winter wurden durch den Fortschritt der Automobiltechnik schon früh regelmässige Kurse bis Hinterrhein, bezw. San Bernardino, an den Beginn der Passstrasse möglich. Von dort erhält seit zwei Jahren der früher auf den Bündnerpässen übliche Einspännerschlepp die Verbindung über den Berg schlecht und recht aufrecht.

In jenen Tälern entstand indessen der starke und rege Wunsch, ganzjährig miteinander verbunden zu sein. In ihrem Wunsche drückt sich zugleich eine sehr wichtige internationale Verkehrsidee aus, die Verbindung Nord - Süd durch die Ostalpen. In der richtigen Erkenntnis, dass das Projekt einer Ostalpennormalbahn definitiv, oder wenigstens für absehbare Zeit, begraben sei, wurde 1923 die Konzession für eine Schmalspurbahn<sup>1)</sup> erworben. Auch jene Idee wurde überholt, zum grossen Teil durch den schon genannten Uebergang des Verkehrs von der Bahn auf die Strasse. Damit war auch diejenige eines Autostatt Bahntunnels nicht mehr fern, und sie wurde schon früh genannt.

Im Auftrage des Bernhardin-Komitees haben wir ein Projekt des Tunnels mit seinen Zufahrtsrampen ausgearbeitet, das wir in folgendem kurz beschreiben.

### Die topographischen und geologischen Verhältnisse und die Linienführung. (Abb. 1 und 2, S. 25.)

Der Tunnel hat das West-Ost verlaufende Rheinwald mit dem Nord-Süd fallenden Misox zu verbinden. Bei San Bernardino beginnt der Süd-, bei der neuen Landbrücke in Hinterrhein der Nordanstieg der eigentlichen Passstrasse. Beide Punkte liegen

auf gleicher Höhe, 1615 die Landbrücke, 1612 die Brücke in San Bernardino; von San Bernardino steigt das Tal gegen Norden ziemlich flach an, der eigentliche Anstieg beginnt auf der Höhe des Ponte nuovo. Die Frage des kürzesten Tunnels konnte bei Annahme einer Maximalsteigung von 2 bis 3 % ziemlich genau durch Ziehen konzentrischer Kreise von charakteristischen Punkten aus geschehen; es ergab sich eine Axe vom Ponte nuovo zur Talstafel von 5063 m Länge, eine zweite (Variante) 5640 m von Caredda di sopra nach der Landbrücke bei Hinterrhein. Das geologische Längenprofil, seinerzeit von Prof. Dr. Cadisch für das Projekt eines Bahntunnels aufgenommen, ist sehr günstig. Harte Para- und Orthogneise eines flach gegen Osten eintauchenden Gneisgewölbes werden eingeschnitten. Sie lassen wenig Wasser erwarten, sind gut zu bohren, gut abzubauen und können zum grossen Teil unausgekleidet gelassen werden; Bergschläge sind bei der geringen Wölbung und kleinen Ueberlagerung nicht zu erwarten. Die zu erwartende Gesteinstemperatur wurde zu 23° berechnet. Für die Ventilation wäre ein horizontaler oder Süd-Nord einseitig ansteigender Tunnel der günstigste. Die Vorteile sind aber so klein, im Verhältnis zu der dadurch bedingten Tunnelmehrlänge und den baulichen Nachteilen eines einseitig ansteigenden Tunnels, dass wir als Hauptprojekt die Lage Talstafel 1675 m ü. M. nach Ponte nuovo 1748 m ü. M., von Norden auf 3060 m mit 2,38 %, von Süden auf 2000 m mit 1 % ansteigend, mit 5061 m Gesamtlänge als die kürzeste und rationellste Linie vorschlagen. Die Variante geht von der neuen Landbrücke 1615 m ü. M. nach Caredda di sopra 1715 m ü. M. Sie hat 5640 m Totallänge, wird etwas teurer, ist aber als verkehrstechnisch schönere Lösung zu empfehlen.

### Lichttraumprofil und Tunnelnormalprofile (Abb. 3, S. 27).

Das Lichttraumprofil des Tunnels ist gegeben durch das notwendige Durchfahrtsprofil. In der Höhe stimmen die verschiedenen schon ausgeführten Tunnel gut überein. Die amerikanischen<sup>2)</sup> weisen Lichthöhen auf von 4,0 bis 4,2 m, die der österreichischen Staatsstrassen inkl. Grossglockner sind konstruiert für eine maximale Wagenhöhe von 3,50 m mit Scheitellichthöhe von 5,0 m. Die Fahrbahnbreite hängt ab von der Anzahl der Fahrstreifen und deren Breite. Die amerikanischen Tunnel weisen Breiten auf von 6,10 ÷ 6,70 m; das zweite Mass wurde damit begründet, dass im Notfall drei Wagen aneinander vorbeifahren können; durch jene Tunnel fahren bis zu 2500 Autos pro Stunde. Die österreichischen, die französischen, die der Gandriastrasse, der Piottinotunnel<sup>3)</sup> haben 6,0 m Fahrbahn, die Tunnel der Wäggitalerstrasse 5,50 m, des Passwang 5,30 m<sup>4)</sup>, der Axenstrasse 5,0 m, der Ulmberg in Zürich 4,95 m. Für den Bernhardintunnel haben wir als Fahrbahnbreite 6,0 m gewählt, entsprechend der Normalbreite der offenen Strassen und der Brücken. Auch die breitesten Autobusse können bequem nebeneinander vorbeifahren. Der Ulmbergtunnel in Zürich bewältigt bei 4,95 m Breite 5440

<sup>1)</sup> Mit Plänen beschrieben in «SZ», Bd. 90, S. 213°.

<sup>2)</sup> Vgl. Bd. 106, S. 158\* ff. <sup>3)</sup> Bd. 104, S. 286\*. <sup>4)</sup> Bd. 103, S. 8\*.

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 m<sup>2</sup> 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 Übergängen 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 Grossstädte.

**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

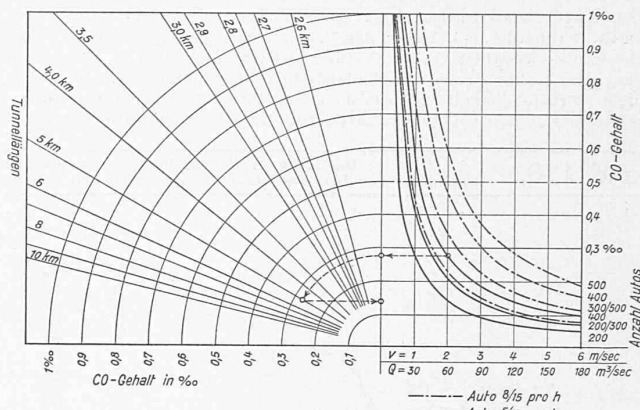


Abb. 4. Beziehungen zwischen CO-Grenze und Verkehrsdichte.

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/m<sup>3</sup>) 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 m<sup>2</sup> 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  $\frac{30 \times 0,08}{100} = 0,024$  m<sup>3</sup> pro Std. In einer Sekunde und pro m Tunnel somit 6,6 cm<sup>3</sup> CO.

Ein Tunnelring von 1 m Länge = 30 m<sup>3</sup> Luft werde nun mit 2,0 m Geschwindigkeit durch den Tunnel fortbewegt. Er nimmt jede Sekunde  $2 \times \frac{1}{2} \times 6,6 = 6,6$  cm<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup> Luft 8400 cm<sup>3</sup> 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 atmosph. Ueberdruck und Temperatur-Unterschied im Tunnel ohne Schacht für Januar 1934

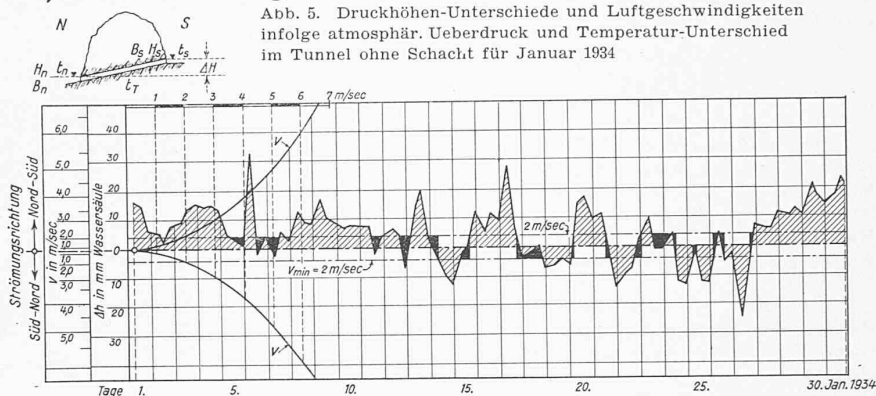
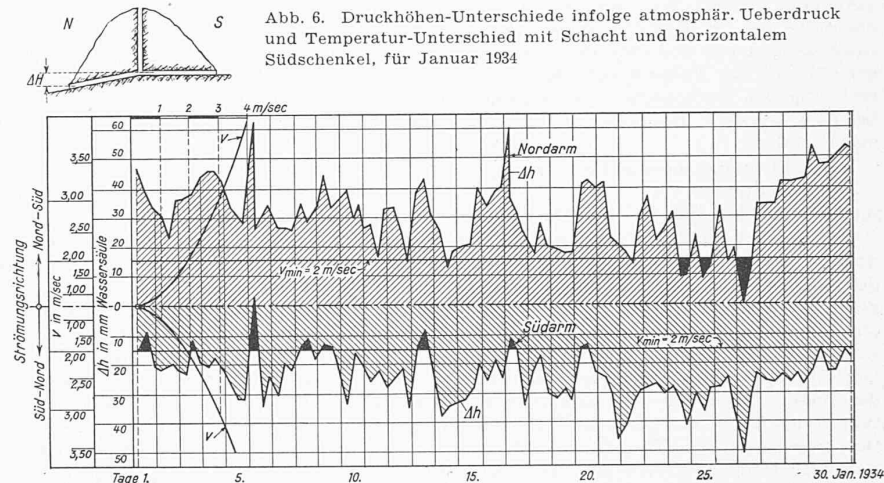


Abb. 6. Druckhöhen-Unterschiede infolge atmosph. Ueberdruck und Temperatur-Unterschied mit Schacht und horizontalem Südschenkel, für Januar 1934



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  $18^\circ \text{C}$  und im Schacht  $12^\circ \text{C}$  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  $24^\circ \text{C}$ , der Wärmespeicher, unterworfen. Wie sich die Gesteinswärme 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  $\sim 15$  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.

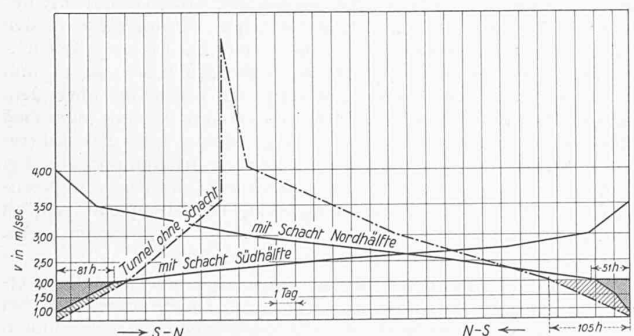


Abb. 7. Dauerkurven der Luftgeschwindigkeiten für Januar 1934  
Schraffiert die Zeiten künstlichen Lüftungsbedarfs

#### 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

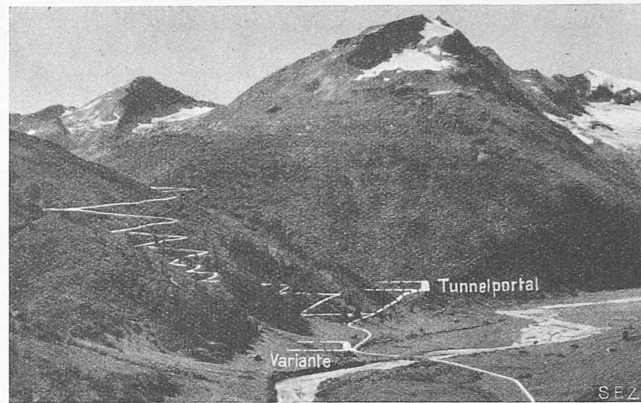


Abb. 9. St. Bernhardin-Nordrampe, aus Nordosten gesehen.

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 ausgeglichensten 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 Ingangsetzung 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

## Projekt für einen Autotunnel durch den Bernhardin

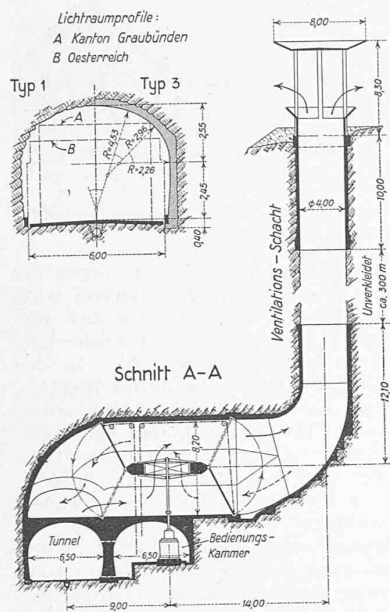


Abb. 3 (oben). Tunnelprofile, 1:300

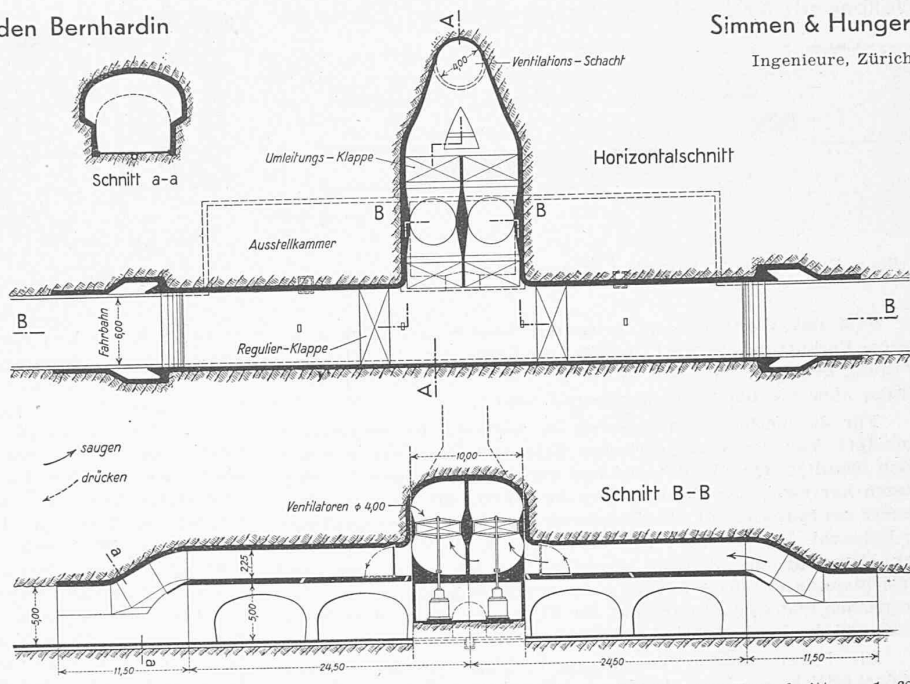


Abb. 8. Längs- und Querschnitte der Ventilationsanlage mit Schacht in Tunnelmitte, — 1:600

der Rampe bildet die Tunneldeponie, der Masekbach erfordert eine 30 m weit gespannte Brücke. Da zwischen Portal und Hinterrhein nur etwa 2 km liegen, bedarf es hier keiner weiteren Wohngebäude oder Reparaturwerksstätten; die ganzen Gebäude beschränken sich auf eine Garage mit drei Toren, eines für das Abschlepp- und Reparaturauto, die beiden andern für Auto und Motorräder des Strecken- und Tunnelpersonals und für einzu-stellende Wagen. Am Südportal ist die Zufahrt noch kürzer und einfacher, indem die zwischen dem Ponte nuovo und dem Portal vorhandene Vertiefung mit dem Tunnelausbruch aufgefüllt und als Zufahrtstrasse von 80 m Länge benützt werden kann. Die grössere Entfernung von San Bernardino rechtfertigt die Erstellung eines Wärterwohnhauses mit Garage und Werkstätte.

Beide Zufahrten sind auch im Winter gut befahrbar, fährt doch heute schon das Postauto bis nach Hinterrhein, also bis in unmittelbare Nähe unter gleichen Schnee- und Windverhältnissen. Da aber gerade die Zufahrten von grosser Bedeutung sind und möglichst bequem und geschützt sein sollen, verdient die Variante den Vorzug gegenüber dem Hauptprojekt. Ihr Nordportal ist von Hinterrhein ohne nennenswerte Steigung und ohne jede Kehre, im Talboden fahrend, unmittelbar südlich der neuen Landbrücke zu erreichen. Auch am Südportal ist die Zufahrt zur Variante noch günstiger, an sanftem Waldhange auf etwa 1700 m Höhe, mit Schneeverhältnissen, die ungefähr jenen der Lenzerheide entsprechen.

#### Die Betriebskosten.

Die Unterhaltung der Passstrasse von Hinterrhein bis Mesocco kostete den Kanton Graubünden (1934) hauptsächlich für Schneebruch 88 600 Fr., wovon 8000 Fr. auf Auslagen für die Winterpferdepost entfallen. Diese Kosten, auf die durch den Tunnel abgeschnittene Länge umgerechnet ergeben rd. 42 000 Fr. Die Betriebskosten für den Tunnel, d. h. die Auslagen für Ventilation, Tunnelreinigung, Aufsicht, Beleuchtung usw. wurden ebenfalls zu etwa 40 000 gerechnet; die gute Uebereinstimmung ist eine zufällige. Die Zahlen können natürlich, weder die eine noch die andere, Anspruch auf absolute Genauigkeit, noch Konstanz erheben. Sie zeigen indessen, dass beide ungefähr gleich sein werden, dass somit die Mehrkosten durch den Tunnelbetrieb den Kanton nicht wesentlich belasten werden.

#### Die Baukosten.

Die Detailkalkulation für den Tunnel und die Kostenberechnung der Nebenanlagen auf Grund des bezüglichen generellen Bauprojektes ergeben folgende Kosten:

Für das Hauptprojekt:

|                                               |               |
|-----------------------------------------------|---------------|
| Tunnel samt Ventilation mit allen zugehörigen |               |
| baulichen und maschinellen Anlagen            | 6 070 000 Fr. |
| stätten, Magazine, Betriebsinventar           | 340 000 Fr.   |
| Zufahrtstrassen und Vorplätze, Garagen, Werk- |               |
| Insgesamt                                     | 6 410 000 Fr. |

Für die Variante:

Tunnelbau samt Ventilation  
Zufahrtstrassen u. dgl.

6 670 000 Fr.  
330 000 Fr.

Insgesamt rd. 7 000 000 Fr.

Diesen Tunnelbaukosten stehen die Kosten des geplanten Ausbaues der Pass-Strasse gegenüber. Sie betragen laut Ausbauprogramm 1 700 000 Fr., sodass der Mehraufwand für den Tunnel rd. 4,7 bis 5,3 Mill. Fr. betragen dürfte. Gegenüber den erzielten Vorteilen des Ganzjahr-Verkehrs sind dies Beträge, die in normalen Zeiten niemand hoch finden würde. Die Strasse San Bernardino - Mesocco heute neu zu erstellen, dürfte wohl ebensoviel kosten, und wenn sie als 3 bis 4 monatliche Sommerstrasse nicht da wäre, könnte ihr Bau verkehrstechnisch ebensogut gefordert werden wie eine Prager- oder die Sustenstrasse. Lassen sich denn die gleichen Aufwendungen für einen ganzjährigen Nord-Süd-Alpendurchstich nicht noch viel eher befürworten und rechtfertigen?

## Ueber das Problem der Eisengewinnung in der Schweiz

Von Prof. Dr. ROBERT DURRER, Berlin

In früheren Zeiten, als die Eisengewinnung noch im Kleinbetrieb mit Holzkohle durchgeführt wurde, war die Verhüttung von Eisenerz in der Schweiz heimisch<sup>1)</sup>. In dem Masse, wie sich die Flusseisenverfahren entwickelten, wie an die Stelle der Holzkohle der Koks trat, wie der Grossbetrieb die kleinen Eisenhütten verdrängte, wie Eisenbahnen gebaut wurden und billiges ausländisches Eisen nach der Schweiz gelangte, ging die Verhüttung im Lande mehr und mehr zurück. Vor zwei Jahren ist der letzte schweiz. Hochofen in Choindenz stillgelegt worden.<sup>2)</sup>

Während des Weltkrieges verspürte die Schweiz den Nachteil, in der Eisenversorgung auf die Einfuhr angewiesen zu sein; aus dieser Not heraus prüfte man die Möglichkeit der Herstellung von Eisen auf neuzeitlicher Grundlage.

Schon während des Krieges wurde Roheisen auf synthetischem Wege dadurch gewonnen, dass die in grosser Menge anfallenden Stahlabfälle, vor allem Drehspäne, im elektrischen Ofen aufkohlend umgeschmolzen wurden. Dieses Verfahren kommt aber nur unter besonderen Verhältnissen, wie sie in der Kriegszeit und den ersten Nachkriegsjahren vorlagen, in Betracht; es ist denn auch späterhin nur noch vereinzelt und periodisch durchgeführt worden, wenn der Schrott und die elektrische Energie billig waren. Diese Arbeitsweise stellt keine Verhüttung dar, bei der aus Eisenerz Roheisen gewonnen wird;

<sup>1)</sup> Vergl. A. Trautweiler: Aargauische und schweiz. Eisenproduktion in Vergangenheit und Zukunft, «SBZ» Bd. 68, S. 199 ff. (1916). — Ferner H. Fehrmann: Die schweiz. Eisenerzeugung, ihre Geschichte und wirtschaftliche Bedeutung; Verlag H. Huber, Bern 1932.

<sup>2)</sup> Vergl. M. v. Anacker, in «SBZ» Band 106, Seite 195\* (1935).