

Aus der Projektierung des Gotthard-Strassentunnels

Autor(en): **Lombardi, G.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **90 (1972)**

Heft 28

PDF erstellt am: **08.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-85260>

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.

Aus der Projektierung des Gotthard-Strassentunnels

DK 625.712.35

Von Dr. G. Lombardi, Locarno

1. Einleitung

Obschon ein ähnlicher Durchschlag durch den Gotthard bereits vor fast einem Jahrhundert erfolgte, traten bei der Projektierung des Gotthard-Strassentunnels doch einige Probleme auf, die es zu lösen galt. Auch dieser Strassentunnel hat eine lange Vorgeschichte hinter sich.

Schon vor dem Zweiten Weltkrieg sind grundsätzliche Überlegungen über einen solchen Strassentunnel mit Projektzeichnungen veröffentlicht worden, so zum Beispiel von Ing. E. Gruner. Im Jahre 1952 beauftragte das Kantonale Bauamt des Tessins Dr. Ing. A. Kaech in Bern mit einer Untersuchung über die Möglichkeiten der Verwirklichung eines Strassentunnels durch den Gotthard. Diese Untersuchungen beruhten auf ganz anderen Voraussetzungen als den heute gültigen. Damals war von Nationalstrassen kaum die Rede, und der Autoverkehr hatte bei weitem noch nicht das heutige Ausmass erreicht.

Die den damaligen Berechnungen zugrunde gelegte Stunden Spitze von 350 Fahrzeugen schien den meisten übertrieben. Man glaubte nicht im entferntesten an die rasche Entwicklung der Motorisierung, wie wir sie dann in den

darauffolgenden Jahren erlebten. Der für die Bemessung der Lüftung massgebende Spitzenverkehr bei den verschiedenen Autotunnelprojekten ist im Laufe der Jahre auch ständig gestiegen; vom Montblanc über den grossen St. Bernhard, zum San Bernardino auf die heute angenommenen 1600 bis 2000 Fahrzeuge pro Stunde für einen Strassentunnel mit einer Röhre. Damit entspricht er der Verkehrskapazität einer Tunnelröhre mit 2 Fahrspuren und Gegenverkehr. Der schwache Verkehr jener Zeit (1952) und die erwartete kleine Zunahme desselben liessen einen Tunnel in der Höhe von Airolo-Göschenen nicht als wirtschaftlich vertretbar erscheinen. Die Wahl unter den verschiedenen möglichen Linienführungen fiel somit damals auf einen 10 km langen Tunnel zwischen Hospental und Motto Bartola mit einem Belüftungsschacht in der Mitte. Das Projekt geriet dann wieder in Vergessenheit, und das 1960 von den eidgenössischen Räten beschlossene Netz der Nationalstrassen enthielt keinen Strassentunnel durch den Gotthard. Es herrschte die Überzeugung, dass die Bundesbahnen in der Lage sein würden, den Winter- und Osterverkehr bis zum Jahre 1980 mit der «rollenden Strasse» zu bewältigen.

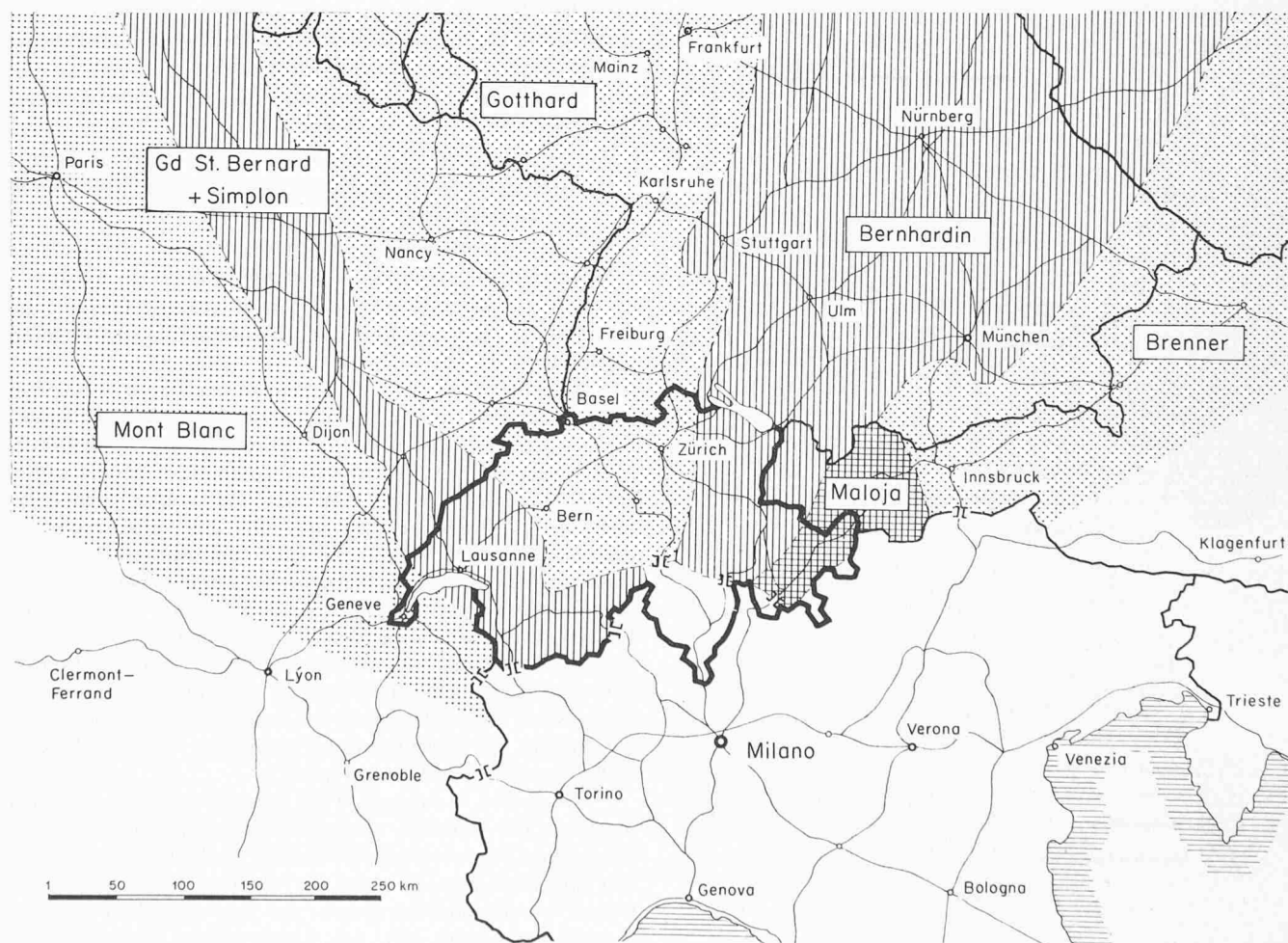


Bild 1. Einzugsgebiete der Alpenübergänge am Beispiel des Zielpunktes Mailand

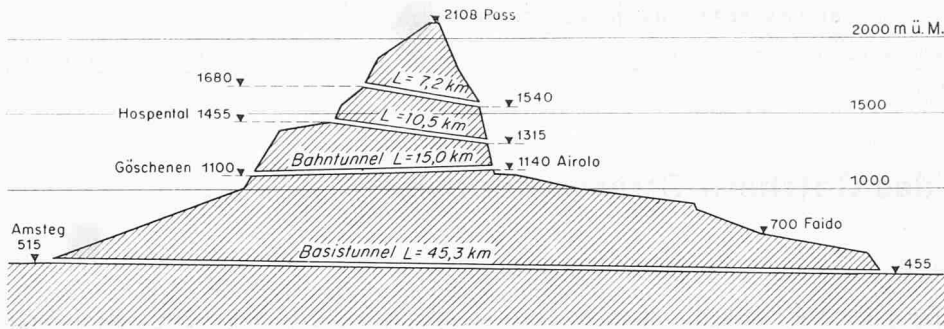


Bild 2. Möglichkeiten für einen Strassentunnel durch den Gotthard

Auf Grund einer Motion wurde der Bundesrat beauftragt, die Frage des Baues eines Tunnels für den wintersicheren Strassenverkehr durch den Gotthard zu prüfen. Man dachte dabei sowohl an die Möglichkeiten eines Strassen- wie auch eines neuen Eisenbahntunnels. Diese Motion gab Anlass zur Bestellung der «Studiengruppe für eine wintersichere Strassenverbindung durch den Gotthard», welche unter dem Vorsitz von Dr. R. Ruckli arbeitete und im Jahre 1963 ihren Bericht ablegen konnte. Aus diesem Bericht seien einige Punkte hervorgehoben.

Die Einzugsgebiete der verschiedenen möglichen Alpenüberquerungen wurden ermittelt, und zwar getrennt für verschiedene Zielpunkte im Süden (Bild 1). Die Verkehrsprognose, die alsdann aufgestellt wurde, bildete die Grundlage für die Bemessung der Tunnellüftung, welche für 1800 Personenwageneinheiten pro Stunde ausgelegt wurde.

Die Studiengruppe untersuchte verschiedene Möglichkeiten für die Linienführung einer Tunnelverbindung durch den Gotthard (Bild 2). Die folgenden acht Lösungen wurden eingehender bearbeitet:

- ein Strassentunnel Mätteli–Motto Bartola von 7 km Länge auf rund 1600 m ü.M.
- ein Strassentunnel Hospental–Airolo/Bedrina von 10 km Länge auf rund 1400 m ü.M.
- ein Strassentunnel Göschenen–Airolo von 16 km Länge auf rund 1100 m ü.M.
- ein zweiter Eisenbahntunnel Göschenen–Airolo als rollende Strasse
- ein neuer Eisenbahntunnel Göschenen–Airolo, der später in einen Strassentunnel umgebaut werden könnte
- der Umbau des bestehenden Eisenbahntunnels in einen Strassentunnel
- eine Eisenbahnbasislinie Erstfeld–Biasca als Ergänzung der vorigen Lösung
- ein kombinierter Eisenbahn-/Strassen-/Basistunnel Erstfeld–Biasca von 45 km auf rund 500 m ü.M.

Auf Grund des Vergleichs aller dieser Varianten kam die Studiengruppe zu folgendem Vorschlag:

- für die Strasse sei der Bau eines 16 km langen belüfteten zweispurigen Strassentunnels zwischen Göschenen und Airolo zu empfehlen
- für die Bahn soll der Bau eines neuen Eisenbahnbasistunnels von Amsteg bis Giornico in Aussicht genommen werden.

Das war 1963. Der Strassentunnel ist heute im Bau; die Diskussionen um den Eisenbahnbasistunnel dauern dagegen immer noch an.

Aber auch zum Bau des Strassentunnels kam es nicht so rasch. Nachdem Bundesrat und Parlament den Vorschlag der Studiengruppe gutgeheissen und den Gotthard-Strassentunnel in das Netz der Nationalstrassen aufgenommen hatten, wurde ein beschränkter Wettbewerb unter vier eingeladenen Ingenieurbüros durchgeführt. Ihnen wurde die Aufgabe gestellt, die preisgünstigste Lösung für einen Strassentunnel Airolo–Göschenen zu erarbeiten. Neben den vorgeschriebenen Varianten mit Querlüftung und Halbquerlüftung sowie mit und ohne Fluchtweg konnten von den Projektierenden weitere Vorschläge unterbreitet werden. Im ganzen wurden 16 Projektvarianten eingereicht, unter welchen die eingesetzte Expertenkommission zu wählen hatte. Sie entschloss sich schon bald, das System der Querlüftung zu empfehlen. Auf den Fluchttollen wurde wenig Gewicht gelegt.

Die beiden in engerer Wahl stehenden Projekte wurden im Mai 1968 öffentlich ausgeschrieben. Auf Grund der eingereichten Offerten wählte schliesslich die Baukommission für den Gotthard-Strassentunnel die Variante mit 4 Schächten, welche, ausgehend vom Projekt des Ingenieurbüros des Verfassers, gemeinsam mit der Elektro-Watt Ingenieurunternehmung AG, Zürich, ausgearbeitet worden war.

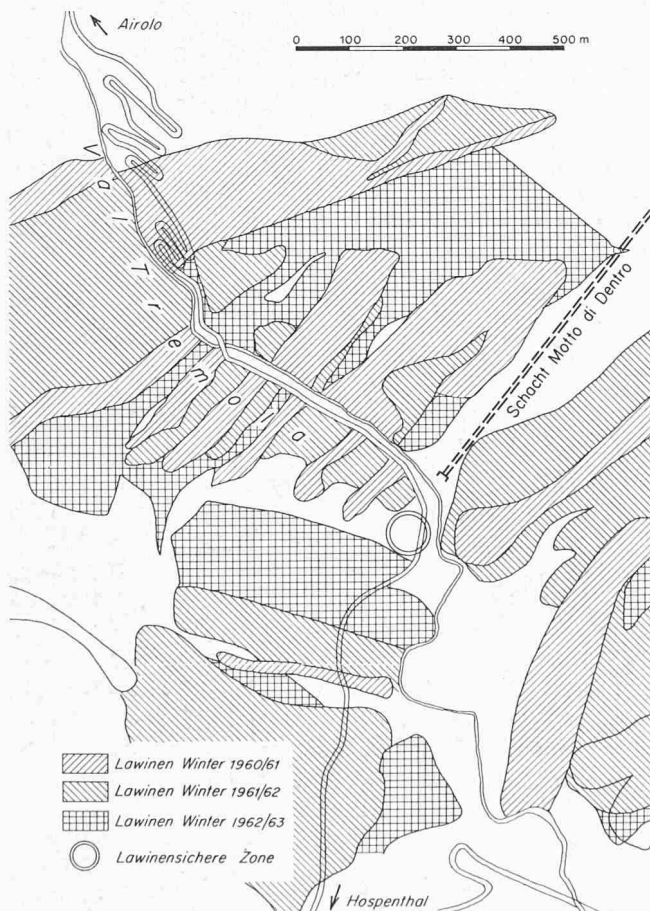


Bild 3. Lawinenkarte des Gebietes der Schachtmündung Motto di Dentro.

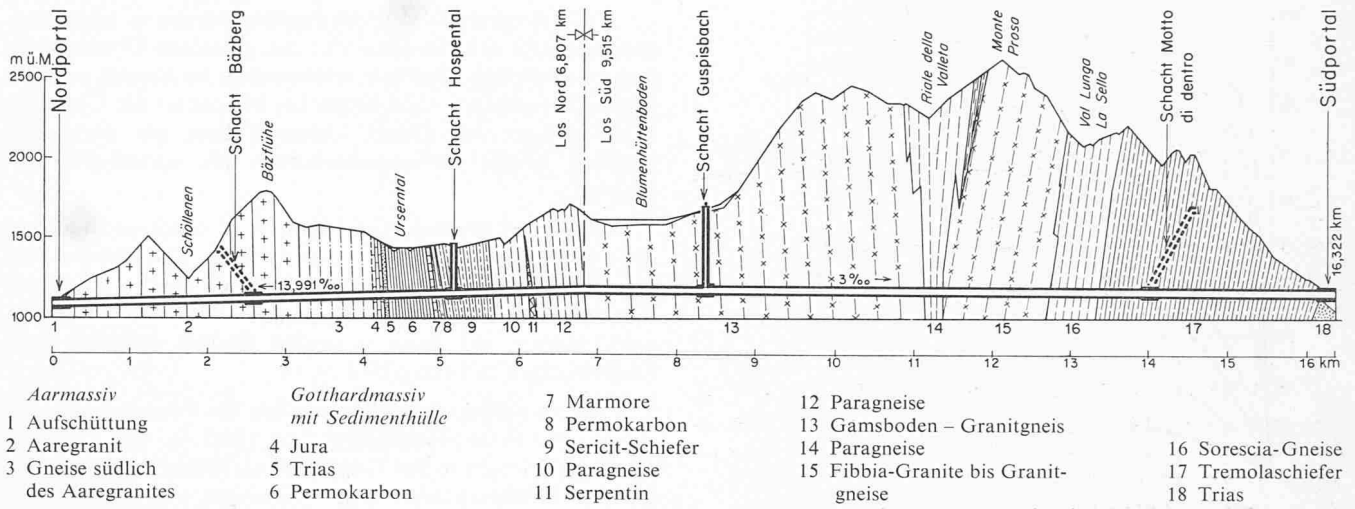
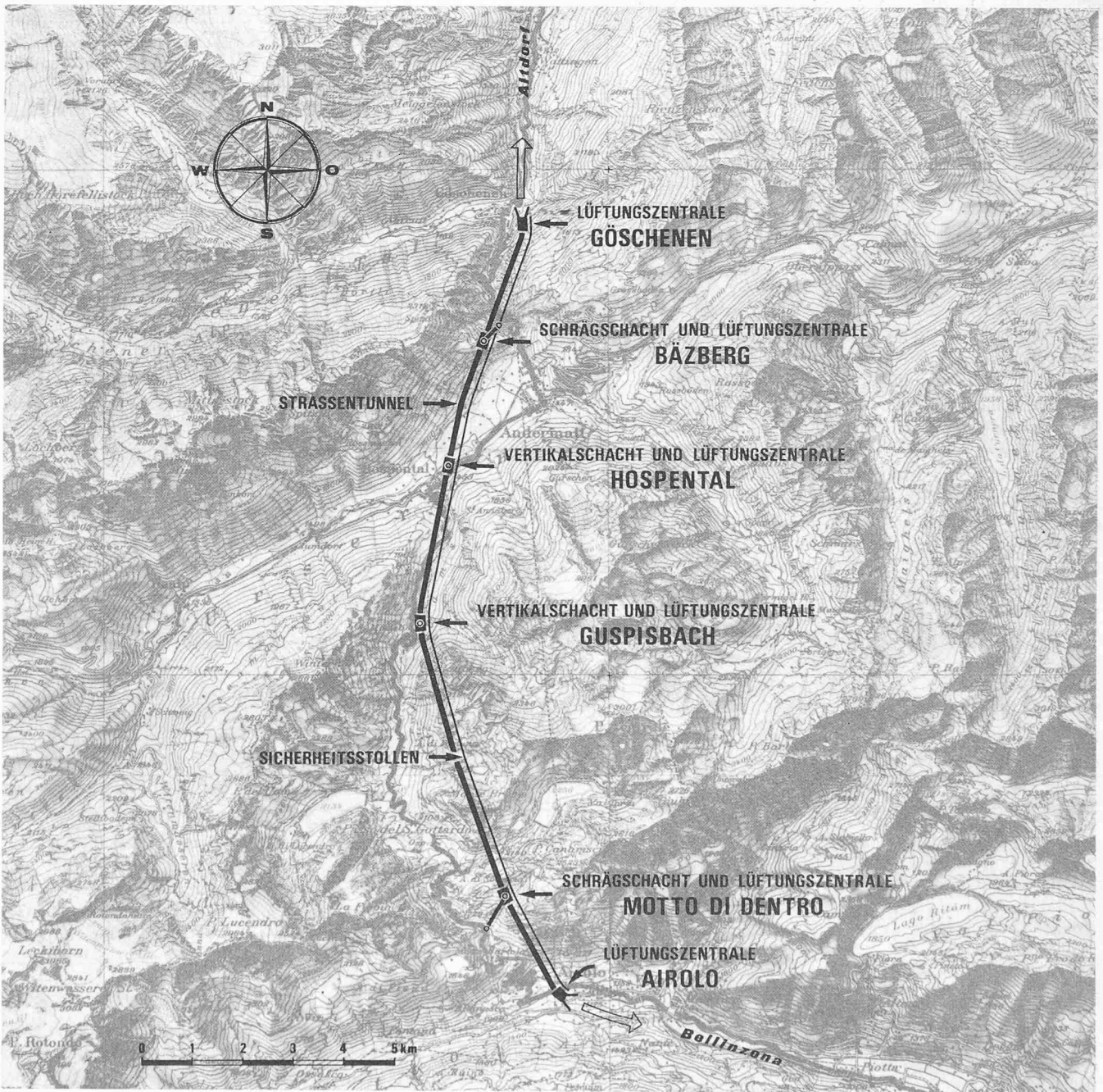


Bild 4. Geologisches Längenprofil (oben) und Übersichtskarte rund 1:125 000. Reproduktion mit Bewilligung der Eidg. Landestopographie vom 27. 6. 1972



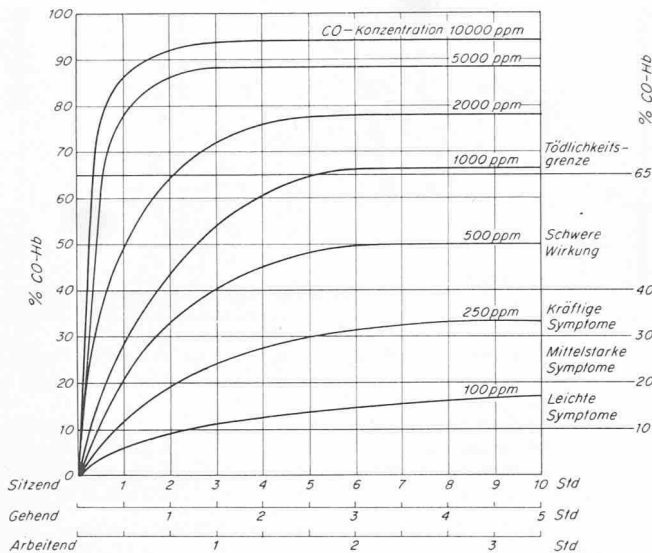


Bild 5. Abhängigkeit der CO-Hämoglobin-Bildung (CO-Hb) im Menschen von der eingeatmeten CO-Konzentration, der Zeit und der Tätigkeit.

Der ursprünglich fallengelassene Fluchtstollen wurde in Form eines Sicherheitsstollens wieder ins Projekt aufgenommen, nachdem vor etwa drei Jahren die Sicherheit des Verkehrs im Strassentunnel von der Presse aufgegriffen und breitgetreten worden war.

2. Die Randbedingungen der Projektierung

Aus der Karte Bild 4 ersieht man, dass die Talfurche der Gotthardreuss und der Tremola gegenüber der geraden Verbindungslinie Airolo-Göschenen deutlich westlich liegt. Da für die Belüftung des Tunnels Schächte nötig sind, ergibt eine Wirtschaftlichkeitsrechnung, dass es von Vorteil ist, die Tunnelachse annähernd unter diese Talfurche zu legen, das heisst, sie gegen Westen auszulenken. Es lohnt sich, einen etwas längeren Tunnel in Kauf zu nehmen und dafür kürzere und besser zugängliche Schächte zu erhalten. Gleichzeitig kann so auch dem unterhalb Andermatt bestehenden tiefen Kolk ausgewichen werden.

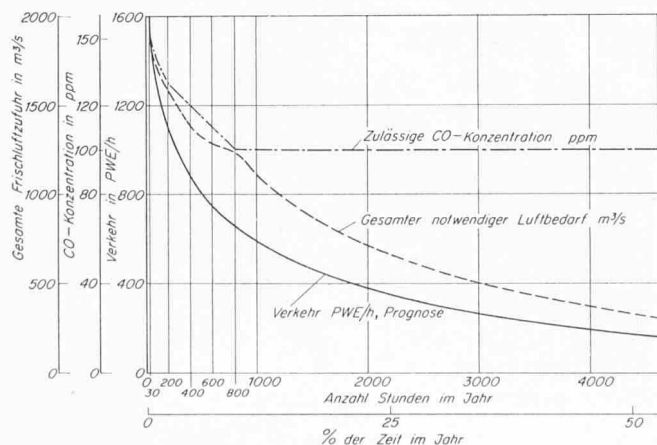


Bild 6. Dauerkurven: Verkehrsvolumen, zulässige CO-Konzentration und gesamter Luftbedarf für den 16 km langen Gotthard-Strassentunnel.

Das Langlenprofil der Gebirgsuberdeckung ist nicht symmetrisch. Der Gotthardpass mit der grösseren Überdeckung liegt im südlichen Abschnitt, währenddem im Norden auf eine längere Strecke von Göschenen bis Hospental die Überdeckung geringer ist. Dieser Umstand lässt die Wahl von ungleich langen Luftungsabschnitten als vorteilhafter erscheinen.

Bei der Anordnung der Schächte ist unter anderem auf die Lawinengefahr Rücksicht zu nehmen. Das Beispiel der Aussenbauwerke des Schachtes Motto di Dentro zeigt, wie sehr manchmal die Wahl eingengt ist. Das Mundungsbauwerk kommt auf einen schmalen Spickel zwischen zwei Lawinenzugen zu liegen (Bild 3).

Die bautechnischen Eigenschaften des Felsens, häufig als geologische Bedingungen bezeichnet (Bild 4), sind ebenfalls Randbedingungen in der Projektierung. Zwischen Göschenen und dem Urserental findet sich ein massiges, isotropes Gestein, das wenig geklüftet ist und hohe Werte der Kohäsion und des Reibungswinkels aufweist. Unter dem Urserental sind die Felseigenschaften weniger einheitlich und im allgemeinen auch weniger günstig. Der Reibungswinkel und die Kohäsion sinken, die Anisotropie steigt, der Zerkluftungsgrad ist höher. Zwischen Hospental und Motto di Dentro werden mittlere bis gute Verhältnisse angetroffen. Weiter bis Airolo folgt eine Zone von stärker geschichteten, geklüfteten und eher wasserführenden Gesteinen mit höherer Anisotropie und mittlerem Wert des Reibungswinkels. Die Geologen bezeichnen diese Gesteine der Reihe nach als Aaregranit, Permokarbon und Serizitschiefer, Gneise, Paragneise und Granite mit verschiedenen Namen und schliesslich Tremolaschiefer. Die beim Nordportal liegende rund 100 m lange Zone der Deponie des alten Gotthardbahntunnels hat keine Kohäsion, einen eher mittelmässigen Reibungswinkel, keine Anisotropie und auch keinen geologischen Namen.

Die felsmechanischen Bedingungen ändern sich voraussichtlich wenig, wenn die Achse des Tunnels im Bereich der Gotthardreuss etwas nach Osten oder nach Westen verschoben wird. Für die Schächte könnten dabei grösserer Unterschiede vorkommen. Im allgemeinen dürften die Felsverhältnisse eher etwas günstiger sein als beim Bahntunnel.

Die grosse Anzahl vorhandener unterirdischer Bauten im Gotthardgebiet macht überdiess die Prognose etwas sicherer als Prognosen für andere ähnliche Bauwerke.

Auf Grund der Topographie, der starken Klüftung und Durchlässigkeit des Felsens sind im südlichsten Tunnelabschnitt Wassereintruche bis etwa 400 l/s zu erwarten, während im nördlichen Teil kaum bedeutende Wassereinsickerungen vorkommen dürften.

Bei der Projektierung musste auch auf verschiedene vorhandene Bauten oder Bauvorhaben Rücksicht genommen werden: Anlagen der Bundesbahnen, Kraftwerke, Militäranlagen, Strassenanlagen und Ortschaften. Insbesondere bei den Portalen und vor allem in Göschenen ist der Platz äusserst beschränkt.

Für die Belüftung des Strassentunnels wurde angenommen, dass die Auspuffgase der Fahrzeuge etwa 3% des sehr gefährlichen Kohlenmonoxydes enthalten werden. Diese Annahme stützt sich auf die damalige Zusammensetzung des Fahrzeugparkes. Es bestehen aber berechtigte Hoffnungen, dass sich der CO-Anteil mit der Zeit senken lässt. Die Wirkungen des Kohlenmonoxydes auf den Menschen sind aus Bild 5 ersichtlich. Die zulässige CO-Konzentration in der Tunnelluft ist auf höchstens 150 ppm beschränkt und wird nur beim Spitzenverkehr erreicht. Sie könnte ohne Schaden von Menschen einige Stunden ausgehalten werden; die

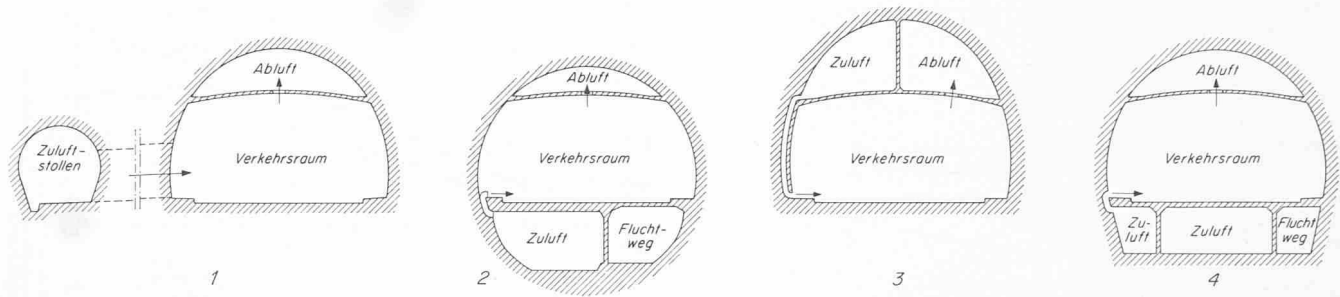


Bild 7. Untersuchte Normalquerprofile mit Querlüftung

Tunneldurchfahrt erfordert nur einen Bruchteil einer Stunde, so dass diese Bestimmung als sehr vorsichtig bezeichnet werden darf. Im Montblanc-Tunnel kommen zum Beispiel häufig 200 ppm CO vor, ohne dass nachteilige Wirkungen festgestellt worden wären. Ausserhalb der Spitzenstunden sind die Bedingungen noch schärfer, und die 100-ppm-Grenze soll nicht überschritten werden. Die für die Bemessung der Tunnellüftung angenommene Dauerkurve des Verkehrs ist aus Bild 6 ersichtlich. Die Spitzenbelastung von 1600 bis 1800 PW/h wird nur während 30 Stunden im Jahr erreicht. Die Kurve klingt rasch ab. Mehr als 600 Personenwageneinheiten pro Stunde hätte man zum Beispiel nur während 1000 der 8760 Stunden eines Jahres. Im gleichen Bild ist die jeweils zulässige CO-Konzentration sowie der entsprechende Luftbedarf angegeben. Der grösste nötige Frischluftbedarf in der Spitzenstunde erreicht 130 m³/s und Tunnelkilometer, gesamtthaft rund 2000 m³/s.

3. Die Optimierung des Projektes

Unter Berücksichtigung der erwähnten und vielen weiteren Randbedingungen waren die Kosten der Anlage zu minimalisieren. Hierzu wurde der Begriff der «Vergleichskosten» eingeführt. Es wäre falsch, die Baukosten allein zu betrachten, ohne auf den Energieverbrauch im Betrieb Rücksicht zu nehmen oder umgekehrt unverhältnismässig hohe Baukosten in Kauf zu nehmen, um nur bescheidene Einsparungen im Betrieb zu erzielen.

Die Vergleichskosten setzen sich zusammen aus:

- den Anlagekosten des baulichen Teils
- den kapitalisierten Energiekosten für die Lüftung und
- den gewogenen Kosten der elektromechanischen Einrichtungen.

Da die Jahreskosten der elektromechanischen Einrichtung etwa bei 9,5% liegen und diejenigen der baulichen Anlage etwa bei 6%, müssen die Anlagekosten des elektromechanischen Teils mit einem Faktor von rund 1,6 vervielfacht werden, um mit den Anlagekosten des baulichen Teils summiert werden zu können. Für alle untersuchten Varianten, Untervarianten und Kombinationen wurden Vergleichskosten ermittelt, welche dann für die Auswahl von Varianten innerhalb jeder Variantengruppe verwendet wurden. Für den Vergleich der Gruppen untereinander war der Vergleich etwas umständlicher. Es wurden vorerst verschiedene Tunnelprofile untersucht. Die für volle Querlüftung ausgelegten untersuchten Profile sind im Bild 7 dargestellt. Es genügte nicht, Querprofile miteinander zu vergleichen, sondern es mussten jeweils vollständige Projekte mit Lüftungsschächten und Nebenbauwerken in den Vergleich einbezogen werden.

- Die Variante 1 mit einem separaten Zuluftstollen erwies sich im Falle des Gotthardtunnels als teuer. Sie würde sich erst rechtfertigen, wenn aus irgendeinem Grund Zwischenschächte nicht möglich und sehr lange Abschnitte zu belüften wären.
- Die Variante 2, mit einem kreisrunden gefrästen Profil, welche auch ausgeschrieben wurde, wurde von keinem Unternehmer angeboten; sie wurde fallengelassen.
- Die Variante 4, welche beim Bernardintunnel zur Anwendung kam, erwies sich teurer als Variante 3.
- Die Variante 3, die sogenannte «konventionelle» Disposition, sieht die Anordnung der beiden Belüftungskanäle oberhalb des Verkehrsraumes vor. Sie kommt zur Ausführung.

Im Rahmen des Projektwettbewerbes wurde auch eine Lösung mit Luftreinigung untersucht. Kurze Verkehrsspitzen bestimmen die Bemessung der Lüftungsanlage, und zwar sowohl diejenigen der baulichen Anlagen wie auch der elektromechanischen Ausrüstungen. Es wurde deshalb vorgeschlagen, die Belüftung durch Zu- und Ableitung von Aussenluft auf etwa 2/3 der Luftmenge zu beschränken, dafür aber zur Deckung der kurzfristigen Spitzen Luftreinigungsapparate in Betrieb zu nehmen. Diese sind wohl im Betrieb etwas teuer, dafür in der Anschaffung günstig. Diesem Vorschlag wurde keine Folge gegeben.

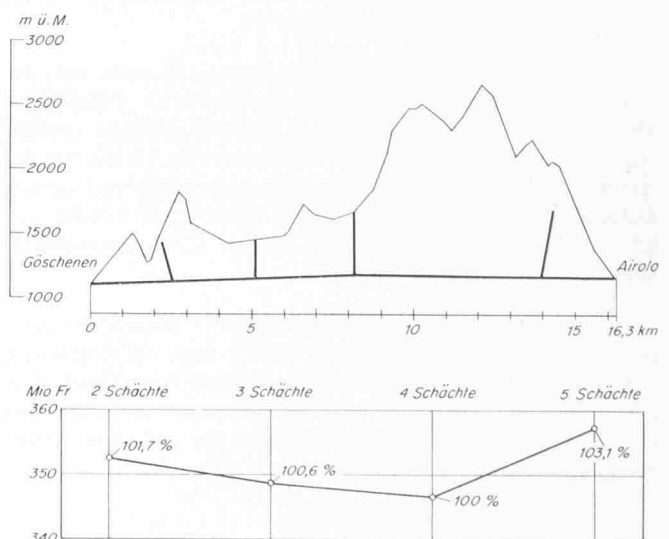


Bild 8. Oben Längenprofil des Vergleichsprojektes mit 4 Schächten (Ausführung). Unten Vergleichskosten von Projekten mit verschiedener Anzahl Lüftungsschächte.

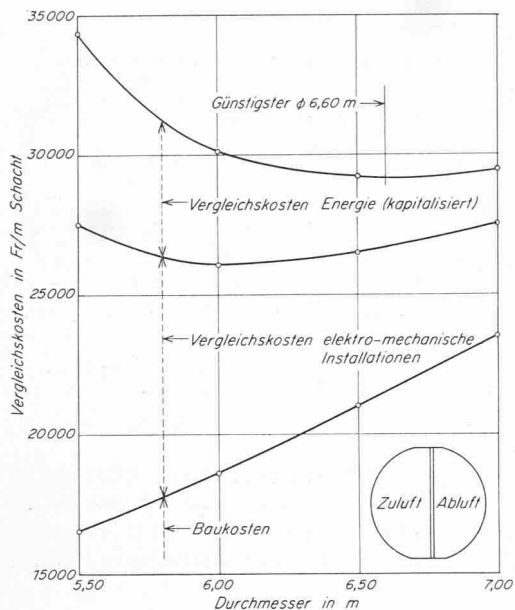


Bild 9. Ermittlung des wirtschaftlichsten Durchmessers für den Vertikalschacht Guspisbach. Die gesamte Luftmenge für Spitzenlastbetrieb (Zuluft und Abluft) beträgt $1148 \text{ m}^3/\text{s}$. Darin ist die zusätzliche Reserve an Frischluft nicht enthalten. Es ergibt sich ein wirtschaftlicher Schachtdurchmesser von $6,6 \text{ m}$. Der Zuluftkanal bekommt eine Fläche von $18,0 \text{ m}^2$, die günstigste Geschwindigkeit beträgt 31 m/s . Für den Abluftkanal errechnet sich die günstigste Fläche zu $14,2 \text{ m}^2$, die günstigste Geschwindigkeit beträgt $39,5 \text{ m/s}$.

Eine grosse Rolle in der Optimierung des Projektes spielt die Anzahl der Lüftungsschächte. Mit sehr viel Geduld waren zahlreiche Anordnungen von Schächten zu untersuchen und miteinander zu vergleichen. Dabei ändert auch die Länge des Tunnels, denn je nach der Lage der Schächte ergibt sich eine andere Linienführung des Tunnels selbst. Die Schächte können entweder lotrecht oder schräg gebaut werden. Bild 8 zeigt als Beispiel das Ergebnis einer solchen Untersuchung. Das Vergleichsprojekt mit 4 Schächten erwies sich am günstigsten. Bei 5 Schächten erhöhen sich die Vergleichskosten bereits um rund 10 Mio Fr. Der Unterschied zwischen den Lösungen mit 3 und 4 Schächten ist hingegen nicht wesentlich. Bei zwei Schächten steigen die Kosten wieder an.

Neu gegenüber allen bis jetzt gebauten Tunneln sind die stark verschiedenen Längen der vorgesehenen Belüftungsabschnitte, die aus wirtschaftlichen Gründen gewählt wurden. Aus dem Längenprofil ist ersichtlich, dass im Süden, wo bei hoher Überlagerung lange teure Schächte nötig sind, grosse Lüftungsabschnitte gewählt wurden, während im Norden, wo kürzere Schächte möglich sind, kürzere Lüftungsabschnitte vorgesehen wurden.

Auch für einzelne Teile des Bauwerks musste die günstigste Lösung gefunden werden. Bild 9 zeigt die Ergebnisse der Untersuchungen für den Vertikalschacht Guspisbach. Für eine bestimmte Frischluft- und Abluftmenge bei Vollbetrieb ersieht man aus dem Bild den Verlauf der auf einen Meter Schacht bezogenen Werte für

- die Kosten der baulichen Anlage
- die mit rund $1,6$ multiplizierten zusätzlichen Installationskosten für die Ventilatoren und
- die kapitalisierten Energiekosten.

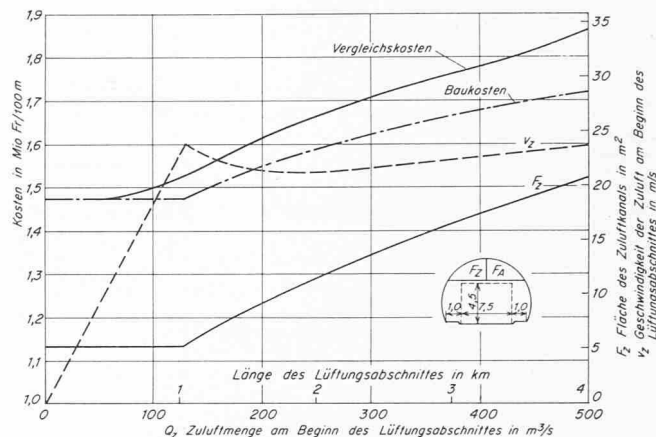


Bild 10. Massgebende Werte für optimale Tunnelquerschnitte in Funktion der benötigten Luftmengen bzw. der Lüftungsquerschnitte (Fall für einen Luftbedarf von $125 \text{ m}^3/\text{s}$ und Tunnelkilometer)

Die Kosten der elektromechanischen Ausrüstung fallen wesentlich grösser aus als die kapitalisierten Energiekosten selbst. Dies ist durch die sehr kurze Betriebszeit der Anlagen bedingt, welche nur während weniger Stunden des Spitzenverkehrs ihre volle Leistung abgeben und sonst lange Zeit im Teillastbetrieb laufen oder sogar stillstehen. Die berechnete ideale Vollast-Betriebsdauer beträgt im Jahr für den angenommenen Verkehr nur rund 580 Std. für die Zuluft bzw. 200 Std. für die Abluft.

Auch bei schwachem Verkehr ist eine minimale Zuluftmenge durch die Ventilatoren zu fördern, während die Abluft durch den Auftrieb in den Schächten ohne Ventilation abströmen kann. Der thermodynamische Auftrieb wirkt sich für die Abluft günstig, für die Zuluft hemmend aus.

Weil die Betriebsdauer für Zuluft und Abluft nicht die gleiche ist, ergibt sich eine Verschiebung der Zwischenwand in den Luftkanälen aus der Mittellage, so dass bei Vollast ungleiche Luftgeschwindigkeiten in den beiden Kanälen vorkommen. Die optimalen Luftgeschwindigkeiten ergeben sich in diesem speziellen Falle für den Betrieb auf Vollast zu 31 m/s für die Zuluft und rund 40 m/s für die Abluft.

Diese Stufe der Optimierung, wie sie eben dargestellt wurde, ist nur möglich, wenn ein Projekt bereits vorliegt, das heisst, wenn die maximalen Luftmengen feststehen.

Zum Vergleich der verschiedenen Varianten muss daher ein Schritt weiter gegangen werden, und es müssten Diagramme wie dasjenige des Bildes 10 aufgestellt werden, aus denen sich der jeweils optimale Querschnitt ablesen lässt. Es sei als Beispiel ein Lüftungsabschnitt des Strassentunnels nach dem gezeichneten Profil betrachtet. Wenn jeweils das optimale Profil für verschiedene Luftmengen von etwa $100, 200$ bis $500 \text{ m}^3/\text{s}$ für die Zuluft bzw. die Abluft bestimmt wurde, so können die Kurven der Vergleichskosten gezeichnet werden. Die angegebene Luftmenge gilt am Anfang des Abschnittes und nimmt gegen Ende desselben ab. Je nach Luftmenge erhält man somit einen optimalen Tunnelquerschnitt, welcher nicht unter ein Minimum sinken kann, weil sich durch die Grösse des Verkehrsraumes minimale Abmessungen der Luftkanäle ergeben. Dies trifft für Abschnitte unter 1 km Länge zu. Der Abstand zwischen den Schächten sollte somit nicht unter 2 km sinken. Aus demselben Bild ist die günstigste Geschwindigkeit der Zuluft am Anfang des Lüftungsquerschnittes ersichtlich. Sie schwankt im vorliegenden Fall recht wenig, und zwar zwischen 22 m/s und 24 m/s für Abschnittslängen von 1 bis 4 km .

Für die Optimierung des Projektes war in langatmiger Geduldsarbeit eine grosse Anzahl von Varianten miteinander zu vergleichen. Es ging dabei nicht nur darum, die Anzahl der Schächte, sondern auch ihre Lage und Ausführung (Schrägschacht oder Vertikalschacht) zu untersuchen.

Der Vergleich der Varianten wurde noch weiter dadurch erschwert, dass auch die Bauzeit und die entsprechenden Bauzinsen mitberücksichtigt werden mussten. Auch wurde untersucht, die Bauzeit durch einen Zwischenangriff zu verkürzen. Statt den Bau des Tunnels allein von beiden Portalen aus vorzunehmen, könnte man einen Lüftungsschacht sofort abteufen, um auch vom Fusse dieses Schachtes aus den Haupttunnel in eine oder in zwei Richtungen vorzutreiben. Die Ergebnisse der Ausschreibung zeigten aber, dass die bescheidene damit erzielte Bauzeitverkürzung die beträchtlichen Mehrkosten nicht gerechtfertigt hätte.

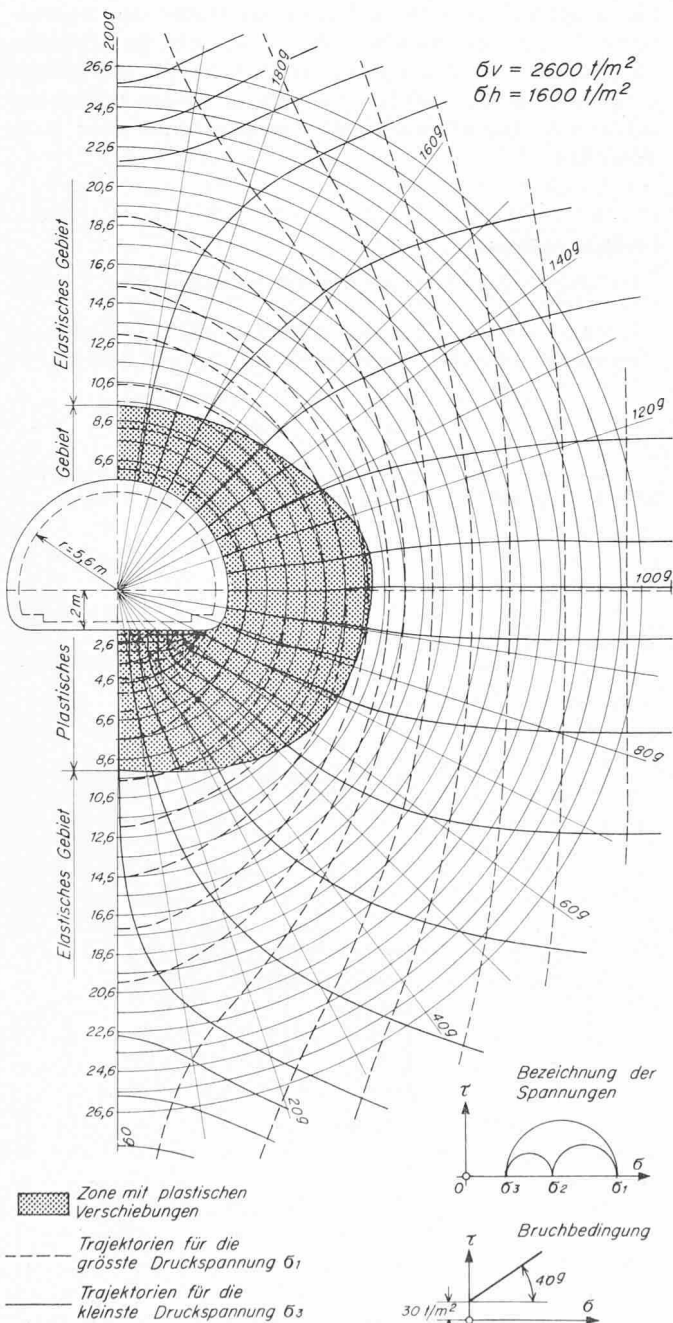


Bild 11. Verhältnisse bei einem Strassentunnel mit rund 1000 m Überdeckung. Für Angaben der Einzelheiten siehe «Schweizerische Bauzeitung» 87, H. 3 vom 16. Januar 1969 S. 44.

4. Besondere Probleme

Bevor auf die Beschreibung des Projektes eingegangen wird, seien einige technische Probleme beschrieben, welche im Laufe der Projektierung des Gotthard-Strassentunnels behandelt worden sind und zum Teil auch gelöst wurden.

Eine erste Frage war diejenige der *Stärke der Tunnelauskleidung*. Die Felsmechanik ist noch eine junge Wissenschaft, und es bleiben noch viele ungelöste Probleme. Es ist aber heute möglich, für die Bemessung von Tunnelauskleidungen vernünftige Lösungen vorzuschlagen, falls es gelingt, die technisch wichtigen Eigenschaften des Felsens durch entsprechende Parameter zu charakterisieren. Bild 11 zeigt einen der untersuchten Fälle. Es konnte gezeigt werden, dass bei einer Überlagerung von 1000 m und mit den angegebenen Felseigenschaften es sehr schwierig würde, einen Gleichgewichtszustand im Gebirge zu erzeugen, wenn kein Gegengewölbe oder ähnliche Vorkehrungen getroffen würden. Die Bruchzone im Fels würde sich besonders im unteren Teil des Profils sehr weit erstrecken, was zu Hebungen der Sohle führen würde. Eine vorgeschlagene Lösung für diesen Fall besteht darin, die Sohle durch vorgespannte Felsanker zu sichern, was wirtschaftlicher sein dürfte als der Bau eines Gegengewölbes. Dies setzt voraus, dass die Felsbeschaffenheit eine solche Verankerung zulässt.

Ein weiteres sehr wichtiges Problem ist dasjenige der *Eisbildung*. Im Winter wird bei Betrieb der Belüftung sehr kalte Luft in den Tunnel eingeblasen, welche mehr oder weniger stark mit dem aus dem Fels ausfliessenden Wasser in Berührung kommen kann. Insbesondere wurden die Verhältnisse in den Drainageschlitzern untersucht, die im Auskleidungsбетон vorgesehen sind. Die Berechnung der Wärmeströmungen hat ergeben, dass bei grösseren Sickerwassermengen keine Gefahr des Gefrierens besteht, dass dagegen bei kleinen Sickerwassermengen eine Heizung nötig wird. Diese könnte mit einem elektrischen Heizdraht mit bescheidenen Kosten bewerkstelligt werden.

Anlass zu eingehenden Diskussionen hat auch die Frage der *Sicherheit der Tunnelbenützer* bei allfälligen Unfällen gegeben. Bei einem Verkehrsunfall könnte Benzin aus dem Fahrzeugtank ausfliessen, verdampfen und explodieren. Es war daher zu untersuchen, wie sich in einem solchen Fall die Zwischendecke verhalten würde (Bild 12). Im Moment der Explosion wird die Zwischendecke zuerst nach oben geschleudert, fällt dann herunter und könnte gegebenenfalls die Aufhängung in der Mitte zerreißen, aus den seitlichen Auflagern herausgleiten und auf die Fahrbahn fallen. Es galt abzuklären, welche Grösse der Explosion zum Bruch der Decke führen könnte. Die Berechnungen mussten im elasto-plastischen Bereich durchgeführt werden.

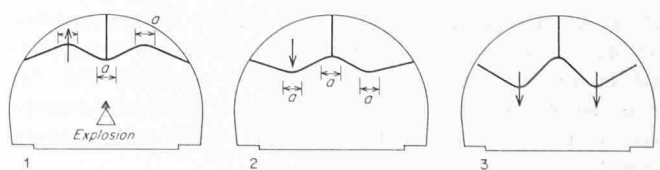


Bild 12. Schematische Darstellung des Verhaltens der Zwischendecke bei einer Explosion im Verkehrsraum. 1. Durchbiegen der Zwischendecke nach oben allenfalls bis zum Reißen der entsprechenden Armierung. Es bilden sich plastische Gelenke a). 2. Auffangen der herunterfallenden Decke durch die Armierungen auf der Gegenseite. 3. Bei sehr starken Explosionen kann die Decke herabstürzen.

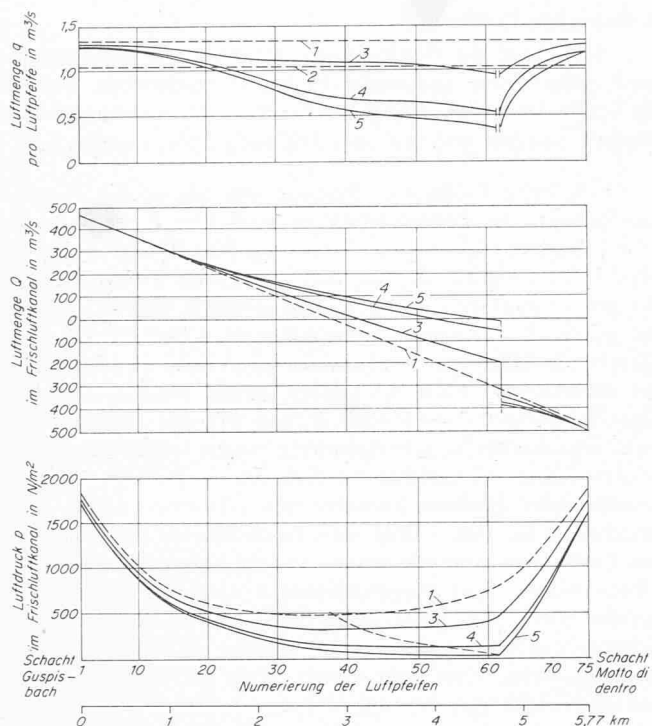


Bild 13. Berechnung der Lüftungsverhältnisse im Falle einer Bresche in der Zwischendecke auf der Zuluftseite.

- 1 Normalbetrieb mit Reserve ($Q = 130\%$)
- 2 Normalbetrieb ohne Reserve ($Q = 100\%$)
- 3 Bresche von 5 m^2 Fläche bei der Luftpeife 62 im Abstand von $4,77\text{ km}$ von Schacht Guspisbach; Luftaustritt durch die Bresche bei $Q = 130\%$ $147\text{ m}^3/\text{s}$
- 4 Bresche von 20 m^2 Fläche; Luftaustritt durch die Bresche bei $Q = 130\%$ $325\text{ m}^3/\text{s}$
- 5 Bresche von 50 m^2 Fläche. Luftaustritt durch die Bresche bei $Q = 130\%$ $384\text{ m}^3/\text{s}$

In der Folge tauchte die Frage auf, wie sich die Lüftung des Tunnels verhalten würde, falls durch eine Explosion eine *Bresche in der Zwischendecke* geschlagen würde. Um diese Frage zu beantworten, sind zahlreiche aerodynamische Untersuchungen durchgeführt worden. Im Bild 13 sind die Verhältnisse dargestellt, die sich als Folge eines Einsturzes der Zwischendecke im $5,8\text{ km}$ langen Lüftungsabschnitt zwischen den Schächten Guspisbach und Motto di Dentro einstellen würden. Die Bresche sei beim $\text{km } 4,8$ im Frischluftkanal geschlagen. Durch jede Luftpeife (angeordnet im Abstand von 8 m) tritt im Normalbetrieb rund $1\text{ m}^3/\text{s}$ aus. Durch Einsatz der vorgesehenen Reserveleistung der Frischluftventilatoren kann diese Luftmenge auf $1,3\text{ m}^3/\text{s}$ erhöht werden. Bei einer Bresche von 5 m^2 in der Zwischendecke gehen die einzelnen Luftmengen etwas zurück, bei eingesetzter Reserveleistung aber nicht unter den normalen Wert, mit Ausnahme eines kleinen Abschnittes in der Nähe der Bresche. Eine Bresche von 20 oder 50 m^2 verursacht eine Verminderung der Luftmenge in der Nähe auf etwa die Hälfte des Normalwertes. Durch die Bresche selbst strömt ein beträchtliches Luftvolumen aus. Ein solcher Unfall kann für die nächste Umgebung störend werden, für sich in einiger Entfernung aufhaltende Tunnelbenutzer wird er sich kaum mehr stark auswirken.

Literaturverzeichnis

- Das Projekt des Gotthardstrassentunnels. «Strasse und Verkehr» H. 3, 1970.
- N 2: La galleria stradale del San Gottardo. - Der Gotthardstrassentunnel. Sondernummer «Rivista tecnica della Svizzera Italiana» Mai 1970.

Adresse des Verfassers: Dott. Ing. ETH/OTIA/SIA Ing. Cons. ASIC G. Lombardi, Via A. Ciseri 3, Casella postale, 6601 Locarno

Das Haus «Heimgarten» in Aarau

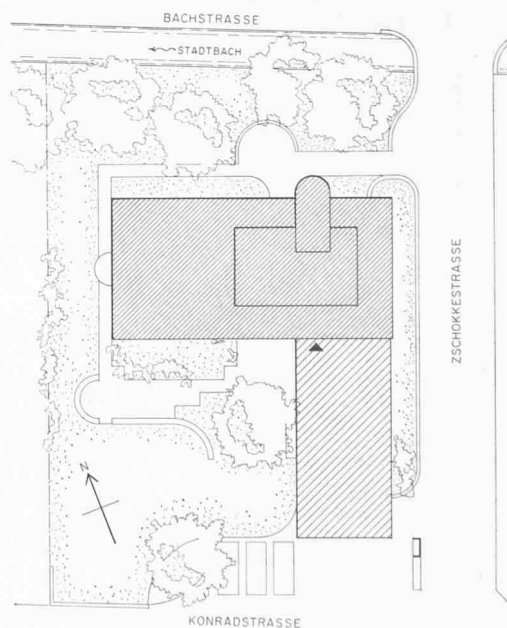
DK 725.56

Architekten: Bachmann und Meier und Zerkiebel, Aarau

Die evangelisch-reformierte Landeskirche des Kantons Aargau sah sich genötigt, für das bisher in einer alten Villa unzugänglich untergebrachte Heim für Frauen und Töchter einen Neubau erstellen zu lassen.

Das Haus «Heimgarten» ist ein Durchgangsheim für Frauen und Töchter, die während einer bestimmten Zeit ihres Lebens der Hilfe bedürfen. Eine längere Aufenthaltsdauer ist allerdings vorzusehen für etwa die Hälfte der 30 Insassinnen, die meist altersdebil sind und einer medikamentösen Kontrolle sowie der arbeitstherapeutischen Betreuung bedürfen (wofür Industriebetriebe geeignete Aufträge für Heimarbeit erteilen). Die übrigen Bewohnerinnen, darunter auch wegen Gefährdung im «Heimgarten» untergebrachte Mädchen, arbeiten tagsüber auswärts. Für die Aufnahme unverheirateter Mütter ist das Heim jedoch nicht vorgesehen. Der Neubau wahrt im Innern und Äusseren wohnlichen Charakter.

Für die projektierenden Architekten war die Aufgabe dadurch erschwert, dass einerseits der Altbau bis zur Bezugsbereitschaft des neuen Hauses weiterbenutzt werden musste (die beschränkte Parzellengrösse zwang dazu, mit dem Neubau bis auf einen halben Meter an das alte Heim



Lageplan 1:600