

Projektierung und Bauleitung des Gotthard-Strassentunnels

Autor(en): **Pfister, Rudolf**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **98 (1980)**

Heft 36: **Der Gotthard-Strassentunnel**

PDF erstellt am: **16.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-74176>

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.

- in primo luogo la probabilità che tutte le variazioni tendino in un'unica direzione e che i loro effetti si addizionino è estremamente debole. Molto più probabile è invece che singoli fattori sfavorevoli siano compensati da altri favorevoli, per cui la somma delle influenze avrà una dispersione minore di quella di ogni singolo fattore preso individualmente.
- Un calcolo di ottimalizzazione di questo tipo deve farsi con una visione un po' ampia del problema che tenga conto dello sviluppo più probabile dei fattori fondamentali.
- Inoltre va considerato che se è vero che l'opera durerà molti decenni è

anche vero che economicamente i primi anni di funzionamento incidono molto di più che non gli ultimi. Si deve in altre parole tener conto non del valore assoluto, ma bensì del valore o del costo attualizzato di ogni elemento considerando i relativi interessi, rispettivamente tassi di sconto.

- Inoltre l'esperienza insegna che gli studi di ottimalizzazione non servono tanto a trovare un valore ottimo ideale, ma piuttosto a evitare grossi errori o disposizioni funzionalmente errate.

Tutta questa problematica che sarebbe troppo lungo sviscerare nei suoi minimi particolari, si è presentata durante l'in-

tera fase di progettazione della galleria stradale del San Gottardo. Gli sforzi continui dei progettisti nella ricerca della soluzione migliore non avranno certamente portato a una soluzione ottimale in assoluto, ma avranno per lo meno permesso, così speriamo, di evitare disposizioni che da questo ottimo troppo si scostino.

Autor: Dott. G. Lombardi, Studio d'ingegneria
Dott. G. Lombardi, Via A. Ciseri 3, 6601 Locarno

Projektierung und Bauleitung des Gotthard-Strassentunnels

Von Rudolf Pfister, Zürich

Kleine Vorgeschichte

Mit der Eröffnung des Gotthard-Strassentunnels am 5. Sept. 1980 geht ein interessanter Abschnitt schweizerischer Baugeschichte seinem vorläufigen Ende entgegen. *Elf Jahre dauerte die Bauzeit. Ihr war eine fast ebenso lange Periode der Planung und der politischen Entscheidungsfindung vorausgegangen.* Erinnert sei etwa an folgende Meilensteine:

- Im Jahre 1960 beauftragten die Eidg. Räte den Bundesrat, die Frage eines Gotthardtunnels für den wintersicheren Transport von Motorfahrzeugen studieren zu lassen.
- Im Jahre 1963 beantragt die Studiengruppe Gotthardtunnel - der u. a. bereits die Mitglieder der heutigen Ingenieurgesellschaft angehörten - nach eingehendem Variantenstudium den Bau eines 16 km langen Strassentunnels von Göschenen nach Airolo.
- Im Jahre 1964 unterbreitet der Bundesrat diesen Antrag den Eidg. Räten, die am 25. Juni 1965 in gleichem Sinne beschliessen.
- In den Jahren 1966/67 erfolgte die Durchführung eines Projektwettbewerbes und anschliessend die Ausarbeitung von zwei submissionsreifen Projektvarianten durch zwei in Konkurrenz stehende Ingenieurgruppen: ein Zweischacht-Projekt mit seitlichen Lüftungsstollen und ein Vierschacht-Projekt mit Luftführung im Scheitel des Tunnelprofils.

- Im Jahre 1968 wird eine internationale Submission durchgeführt und Mitte 1969 die Bauarbeiten in zwei Losen an zwei schweizerische Unternehmergruppen vergeben. Damit beginnt die Phase der eigentlichen Realisierung.

Die Unternehmer hatten ihre Angebote nicht nur für zwei Projektvarianten, sondern zusätzlich noch für Ausführungsvarianten mit Zwischenangriffen über einen Vertikalschacht einzureichen. Die programmlichen Vorteile waren aber nicht derart, dass sie die höheren Gesamtkosten gerechtfertigt hätten. Im nachhinein besehen galt diese Beurteilung allerdings nur unter den allzu optimistischen Annahmen über die erreichbaren Vortriebsleistungen. Eine weitere Variante mit kreisrundem Tunnelprofil, die den Einsatz moderner Vollschnitt-Vortriebsmaschinen und einen vollmechanisierten Einbau der Tunnelauskleidung aus vorfabrizierten Betonelementen ermöglicht hätte, wurde von den Unternehmern als zu risikoreich eingeschätzt. Vortriebsmaschinen kamen in der Folge jedoch beim Bau der Lüftungsschächte ausgiebig und erfolgreich zum Einsatz.

Ausführende Organe

Aufgrund des Submissionsergebnisses war die Wahl des Projektes entschieden, stellte sich doch die Variante mit vier Schächten um rund 11 Prozent

günstiger als die Alternativlösung. Dementsprechend fiel auch der Entscheid zugunsten der Ingenieurgesellschaft Dr. Ing. G. Lombardi, Locarno / Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, Zürich, die mit der Projektierung und Montageleitung für den gesamten Tunnel, ferner mit der örtlichen Bauleitung des Loses Nord beauftragt wurde. Für Lüftungsfragen wirkte das Büro Schindler-Haerter AG, Zürich, mit. Gemäss geltendem Gesetz für die Nationalstrassen fiel die Bauherrenfunktion nach dem Territorialprinzip den Kantonen Uri und Tessin zu, während der Bund durch das Bundesamt für Strassenbau die Oberaufsicht ausübte.

Als amtierende Organe der Bauherrschaft waren eingesetzt:

- die Baukommission Gotthard-Strassentunnel unter dem Vorsitz des Direktors des Bundesamtes für Strassenbau und unter Mitwirkung der kantonalen Baudirektoren,
- der Technische Ausschuss der Baukommission,
- die Oberbauleitung der beiden Kantone,
- die örtliche Bauleitung des Loses Süd (Ufficio Strade Nazionali, Direzione Lavori)

sowie verschiedene Subkommissionen. Als geologische Berater waren Prof. E. Dal Vesco, Zürich, und Dr. R. Winterhalter, Zürich, bzw. dessen Nachfolger Dr. T.R. Schneider, Uerikon, bezeichnet worden.

Die Bauarbeiten wurden

- für das Los Nord an das Konsortium AG Conrad Zschokke, Zürich / AG Heinrich Hatt-Haller, Zürich / Schafir & Mugglin AG, Liestal / Ed. Züblin + Co. AG, Zürich / Subalpina S.A., Lugano / Bau AG, Erstfeld / Valentin Sicher AG, Gurtellen

- für das *Los Süd* an das Konsortium Walo Bertschinger AG, Zürich / Kopp AG, Luzern / Walter J. Heller AG, Bern / Rothpletz, Lienhard + Co. AG, Aarau / H.R. Schmalz AG, Bern

vergeben. Für den Bau der *Lüftungsschächte* wurden ferner die Firmen Murer AG, Erstfeld, und Deilmann & Haniel GmbH, Dortmund, beigezogen.

Alle weiteren, über hundert beteiligten Experten, Ingenieure, Bauunternehmer und Lieferanten hier aufzuzählen würde wohl zu weit führen. Ihr Beitrag wird dadurch in keiner Weise geschmälert.

Einige Aspekte der Projektierung

Es liegt auf der Hand, dass ein Bauwerk von so ungewöhnlichen Abmessungen die Projektanten vor zahlreiche Probleme stellte, war doch in vielen Fällen eine einfache Übertragung früherer Erfahrungen nicht mehr zulässig. Oft waren neuartige Lösungen zu suchen und neue Entwicklungen durchzuführen. So wurden - um nur ein einziges Beispiel zu nennen - für den Gotthard-Strassentunnel erstmals Ventilatoren mit Durchmesser bis zu 3,4 m und im Laufe verstellbaren Schaufeln in Auftrag gegeben, wobei besondere Festigkeits- und Schwingungsprobleme zu lösen waren.

In den folgenden Aufsätzen sind eine Reihe solcher Probleme von den zuständigen Sachbearbeitern dargestellt. Hier sei daher nur auf einige *allgemeine* Gesichtspunkte im Ablauf der Projektierung hingewiesen:

- Bedingt durch das besondere Auswahlverfahren von Projekt und Projektant wurden *Detailprojektierung und Bauarbeiten gleichzeitig vergeben*. Das Fehlen des üblichen Projektierungsvorsprunges führte anfänglich zu einem starken *Engpass*. Ein allgemeines Projekt der elektrischen und mechanischen Betriebseinrichtungen des Tunnels existierte zu dieser Zeit noch nicht und musste erst erarbeitet werden, wozu zum Teil zuerst noch Vorentscheide in bezug auf das Konzept zu treffen waren. Andererseits drängten die Bauleute auf Angaben über Platzbedarf, Kabelführung, Fundamentbelastungen usw. So mussten anfänglich viele Annahmen getroffen werden, die später zwangsweise zu Anpassungen und Modifikationen führten.
- Die Elektriker und Mechaniker tendierten ihrerseits auf eine frühe Ausschreibung und Vergabe aller Betriebseinrichtungen, um möglichst bald über die genauen spezifischen Anlagedaten jedes Lieferanten zu verfügen. Die *vielfältigen Verknüpfungen der verschiedenen Anlageteile und die Integration in ein umfassendes*

des Fernwirksystems verlangten einen *frühzeitigen Informationsaustausch* als Voraussetzung für eine zügige Planung. Die zunehmende Verwendung *elektronischer Bausteine* für Steuerungen und Verbindungen hat dieses Bedürfnis noch verstärkt, ist doch damit ein erhöhter Aufwand für die gegenseitige Abstimmung hard- und softwaremässig verbunden. Demgegenüber lag es im verständlichen Interesse des Bauherrn, möglichst späte Vergabungen zu tätigen, um liquide Mittel zu sparen und keine unnötigen Zinsverluste in Kauf nehmen zu müssen. Hier galt es, auf beiden Seiten gangbare Wege zu finden.

- Aus den gleichen Gründen der gegenseitigen Interdependenz der Anlageteile hätte eine gemeinsame Vergabe grösserer Pakete an einige leistungsfähige Lieferanten in Frage kommen können, wie dies bei internationalen Submissionen im allgemeinen üblich ist. Dies hätte aber die bauseitigen Einflussmöglichkeiten stark reduziert und zudem den volkswirtschaftlichen Interessen der Bauherren-Kantone widersprochen, die durch weitgehende Aufteilung der Lieferung dem einheimischen Gewerbe mehr Chancen einräumen wollten. Zum mindesten wurde der Beizug einheimischer Unterlieferanten zur Bedingung gemacht. Insgesamt wurden an die 250 *Vergabungen* getätigt. Der *Konkurrenzkampf* war *ausserordentlich hart*, gilt doch der Gotthardtunnel als erstklassige Referenzanlage. Dass sich dabei im Hintergrund auch einiges Gerangel um die Aufträge abspielte, in dessen Verlauf hohe Parlamentarier und gar das Bundesgericht bemüht wurden, gehört wohl zu den Eigenheiten der helvetisch-föderalistischen Szene.
- Ein dominierendes Kriterium für die gesamte Projektierung stellte neben der Kostenfrage die *zu gewährleistende Sicherheit für die Tunnelbenützer* dar. Richtigerweise müsste wohl von einem anzustrebenden Sicherheitsgrad gesprochen werden, da mit verbesserter Technik wohl eine Erhöhung an Sicherheit - oder umgekehrt eine Minderung der Gefahrenmomente - erzielt wird, niemals aber absolute Sicherheit erreicht werden kann. Mit seinem Beschluss, parallel zum Tunnel einen Sicherheitsstollen für rasche Hilfeleistungen und allfällige Rettungsaktionen erstellen zu lassen, hatte der Bundesrat ein Richtmass gesetzt, das deutlich über dem bisherigen Ausbaustandard lag. Damit sollte offensichtlich nicht nur dem erhöhten Gefahrenmoment infolge ausserordentlicher Länge des vorläufig nur zweiseitigen, im Gegenverkehr befahrenen Tunnels begegnet,

sondern auch dem allgemeinen Ruf nach mehr und mehr Sicherheit in allen Lebensbereichen Rechnung getragen werden.

Der Zusammenhang zwischen Gewinn an Sicherheit und dem hierfür zu bezahlenden Preis ist aber keineswegs linear. Er trägt vielmehr exponentiellen Charakter. Je höher das allgemeine Sicherheitsniveau bereits liegt, um so teurer muss jeder kleine Zuwachs erkaufte werden (Bild 1). Dieser Zusammenhang gilt übrigens ganz allgemein, nicht nur für die Sicherheit im Strassenverkehr.

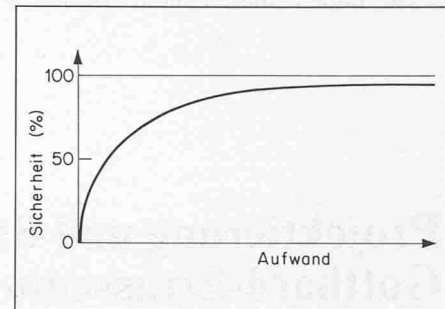


Bild 1. Beziehung Sicherheit zu Aufwand. Jeder Zuwachs an Sicherheit muss mit exponentiell wachsendem Aufwand erkaufte werden. Absolute Sicherheit lässt sich trotzdem nie erreichen

Die Frage nach dem anzustrebenden Sicherheitsgrad im Gotthard-Strassentunnel war deshalb für jeden einzelnen Anlageteil sehr sorgfältig abzuwägen. Vor allem war zunächst ein Sicherheitskonzept oder eine Sicherheitsphilosophie für die Gesamtanlage zu erarbeiten, um die Sicherheitsgrade der Einzelteile sinnvoll aufeinander abzustimmen. Es hat ja beispielsweise keinen Sinn, ein vorzügliches Lüftungssystem zu entwickeln, wenn nicht auch die Energieversorgung über entsprechende Redundanz verfügt, oder eine gute Unfall-Hilfeorganisation aufzubauen, wenn das Alarm- oder das Funk-Leitsystem leicht verletzliche Stellen aufweist.

- Wie schon aus den Hinweisen über die Sicherheit erkennbar, bedingt die Koordination derart komplexer Anlagen ein gutes Mass an Führung und Übersicht. Man denke nur an den breiten Fächer direkt beteiligter Fachleute, wie Geologen, Tunnelbauer, Felsmechaniker, Statiker, Architekten, Abwasserspezialisten, Maschinenbauer, Aerodynamiker, Regeltechniker, Starkstrom-, Beleuchtungs-, Nachrichten- und Übertragungstechniker, Computer-Spezialisten usw. Die Wahrung der inneren Kohärenz und der Ausgewogenheit der Planung stellt dabei wohl nicht geringere Probleme als die Berücksichtigung der vielfältigen Verflechtungen technischer, terminlicher, finanzieller, aber auch politischer und menschlicher Art.

Auch Bau- und Montageleitung nicht ohne Probleme

Trotz laufenden Fortschritten in der geologischen Prospektion bleibt der *Untertagebau* im Vergleich etwa zum Hochbau *eine mit erheblich mehr Unsicherheit behaftete Bauparte*, da es nie möglich ist, das bautechnische Verhalten des Gebirges auf der ganzen Strecke mit hinreichender Genauigkeit zu prognostizieren und zu definieren. Neben dem Gebirgsverhalten spielen aber die Zweckmässigkeit der eingesetzten Geräte und Baustelleneinrichtungen, der Bauvorgang sowie die Organisation der Bauarbeiten eine ebenso grosse Rolle für den Baufortschritt, und es ist manchmal schwierig, die einzelnen Einflüsse gegeneinander abzugrenzen. Die oft rasch wechselnden Verhältnisse verlangen von allen Beteiligten, dem Bauherrn, der Bauleitung und der Unternehmung, *Beweglichkeit, Kooperationsbereitschaft* und bisweilen auch *Mut zu Entscheidungen*. Nicht immer trafen alle diese Voraussetzungen in idealer Weise zusammen, und manchmal wurden auch die Nerven der Verantwortlichen nicht wenig strapaziert. Die Bauarbeiten begannen im Sommer 1969. Sie gerieten im Los Nord von Anfang an in Rückstand, da sich die Durchörterung der alten Deponie des SBB-Tunnels auf rund 160 m Länge als sehr zeitraubend erwies. Auch im anschliessenden Aaregranit wurden die Soll-Leistungen aus verschiedenen Gründen nur knapp erreicht. Für die bei km 1 notwendige Unterfahrung des Bahntunnels mit spitzem Winkel und bei geringem Vertikalabstand wurde zwecks Zeitgewinn ein vorgängiger Ausbruch vom Sicherheitsstollen aus angeordnet. Da die Klüftung im Granit der Unternehmung sehr zu schaffen machte, stellte sie ab km 2,3 auf Teilausbruch (Kalottenausbruch mit nachfolgendem Strosseabbau) um. Überdies bereitete ihr die Beschaffung geeigneter Arbeitskräfte bei einem völlig ausgetrockneten Arbeitsmarkt erhebliche Schwierigkeiten, zählen doch Untertagebaustellen nicht zu den beliebtesten Arbeitsplätzen. Neue Verzögerungen drohten beim Durchfahren der Sedimentformationen des Mesozoikums und des Permokarbons zwischen km 4,0 und km 4,3, wo schon der Sicherheitsstollen zuvor beinahe ein Jahr lang steckengeblieben war. Es entstanden erhebliche Meinungsdivergenzen zwischen Unternehmung und Bauherrn bzw. Bauleitung über die anzuwendende Baumethode und die daraus resultierenden Vergütungen. Die Unternehmung brachte ein Schildverfahren in Vorschlag, während die Bauleitung das wesentlich preisgünstigere Vorgehen nach deutscher Bauweise als zweckmässiger erachtete, das dann auch er-

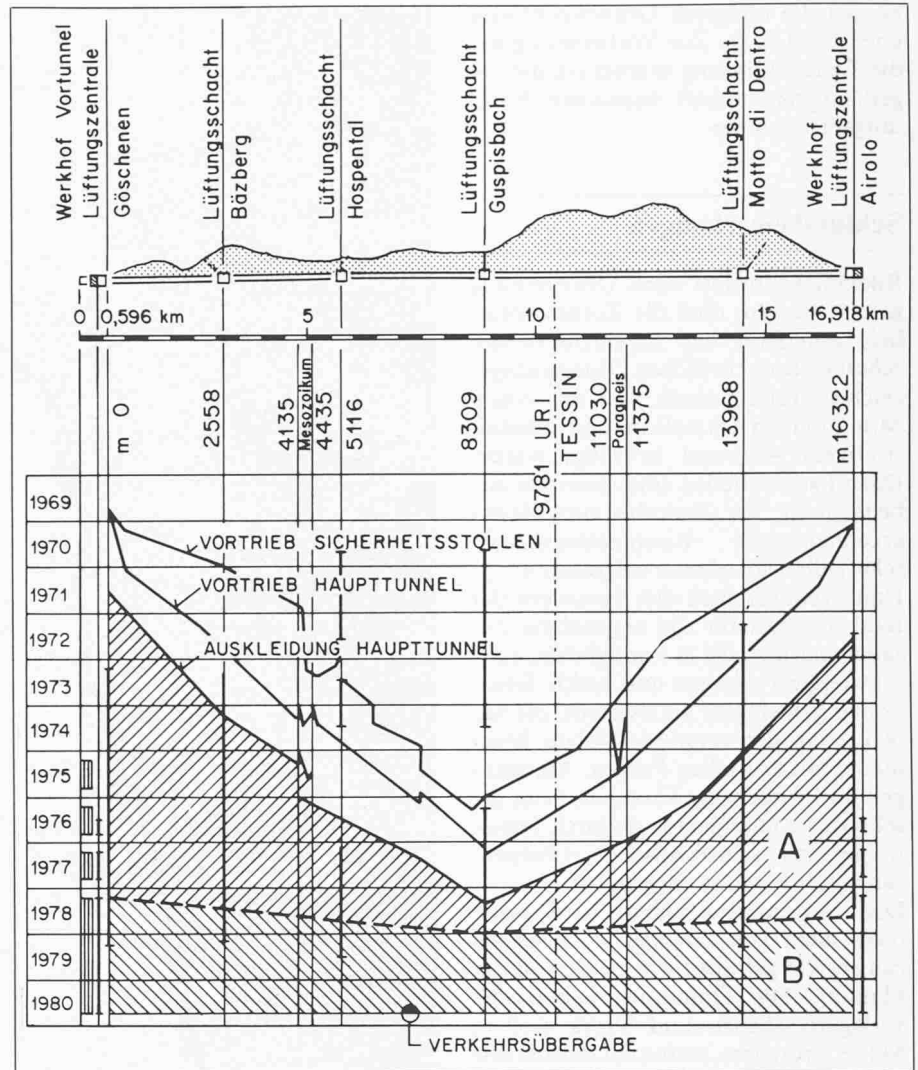


Bild 2. Bauprogramm und Verlauf der Bauarbeiten

folgreich durchgeführt wurde.

Aufgrund verschiedener Alternativvorschläge zur teilweisen Kompensation der eingetretenen Verspätung entschied sich schliesslich der Bauherr nach längerem Abwägen dazu, den Schacht Hospental für einen Zwischenangriff auszurüsten und mit einer leistungsfähigen Förderanlage zu versehen.

Unterdessen war auch im Los Süd eine erhebliche Verzögerung gegenüber dem ursprünglichen Bauprogramm eingetreten. Hauptursachen waren dort die wenig standfesten Tremolaschiefer, die nur Teil- statt Vollausbruch gestatteten, wiederholte Wassereintritte, hohe Gebirgstemperaturen und eine 300 m lange Druckzone in den Paragneisen. Der Zwischenangriff wurde daher Richtung Süden angesetzt. Unter den gegebenen Verhältnissen war die psychologische Auswirkung auf das übrige Baugeschehen wohl ebenso bedeutend wie der direkte Zeitgewinn.

Ab 1978 begannen die Montagearbeiten der elektro-mechanischen Einrichtungen. Bei einem Anlagewert von 90 Mio. Fr., rund 50 verschiedenen Lieferanten sowie Montageplätzen, die sich über mehr als 16 km erstreckten,

stellte auch diese Phase erhebliche Anforderungen an Koordination und Überwachung. Hierfür war eine Montageleitungs-Equipe von durchschnittlich vier bis fünf Mann permanent eingesetzt und der örtlichen Bauleitung Los Nord angegliedert. Sie erhielt eine starke Unterstützung durch temporär abgeordnete Sachbearbeiter aus dem Mutterhaus. Dadurch war auch die fachlich kompetente Betreuung für die hoch spezialisierten Anlagenteile sichergestellt. Bild 2 vermittelt einen Überblick über das Bauprogramm und den Verlauf der Bauarbeiten.

Viel Zeit und Personal beanspruchten die umfangreichen Testarbeiten: Zuerst das Ausprüfen von gegen hunderttausend Verbindungen, dann das Funktionieren aller Sensoren, Signale, Apparate, Maschinen usw. einzeln und im Zusammenspiel mit der Kommandoanlage und schliesslich der Betriebseinrichtungen als Ganzes. Zur Simulation des Verkehrs stand für einen Tag eine Transportkolonne der Armee zur Verfügung.

Ein Teil des Betriebspersonals wurde von den Kantonen vorzeitig eingestellt. Durch Mitwirkung bei der Montageüberwachung und Ausprüfung erwarb

es sich die nötigsten Grundkenntnisse über die Anlage. Zur Vorbereitung auf die Betriebsführung erarbeitete die Ingenieurgemeinschaft besondere Schulungsprogramme.

Schlussbemerkungen

Rückblickend darf ohne Übertreibung gesagt werden, dass die Zusammenarbeit innerhalb der Ingenieurgemeinschaft trotz der örtlichen Distanz ausgezeichnet funktionierte und mit einem Minimum an formellem und administrativem Aufwand bewältigt wurde. Dazu hat zweifellos eine sinnvolle Arbeitsteilung, vor allem aber auch die anerkennenswerte Kooperationsbereitschaft aller Mitarbeiter beigetragen. Dank gebührt auch den Vertretern der Bauherrschaft für die angenehme Zusammenarbeit, die es ermöglichte, auch schwierige Probleme und heikle Situationen gemeinsam zu meistern. Sie haben zwar die verantwortlichen Ingenieure mit kritischen Fragen, Anregungen und Änderungswünschen nicht geschont, sie aber gerade dadurch immer wieder zur selbstkritischen Überprüfung ihrer Planung angespornt. Der Nationalstrassenbau wird heute nicht mehr von der gleichen Begeisterungswelle getragen wie zu Beginn der Planung. Die Emotionen haben sich verlagert, Skepsis und Kritik sind in Mode. Trotzdem, meine ich, dürfen alle Beteiligten mit Freude und Genugtuung auf das Ergebnis ihrer langjährigen Anstrengungen blicken. Der Gotthard-Strassentunnel gehört zweifellos zu den bedeutenden Bauwerken unserer Zeit. Er wird Möglichkeiten für neue Verbindungen und Kontakte im Inland und über die Grenzen hinaus schaffen, aber auch in hervorragendem Masse zum Ausgleich im regionalen und europäischen Nord-Süd-Gefälle beitragen.

Adresse des Verfassers: R. Pfister, dipl. Ing. ETH, Direktor, Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, 8022 Zürich

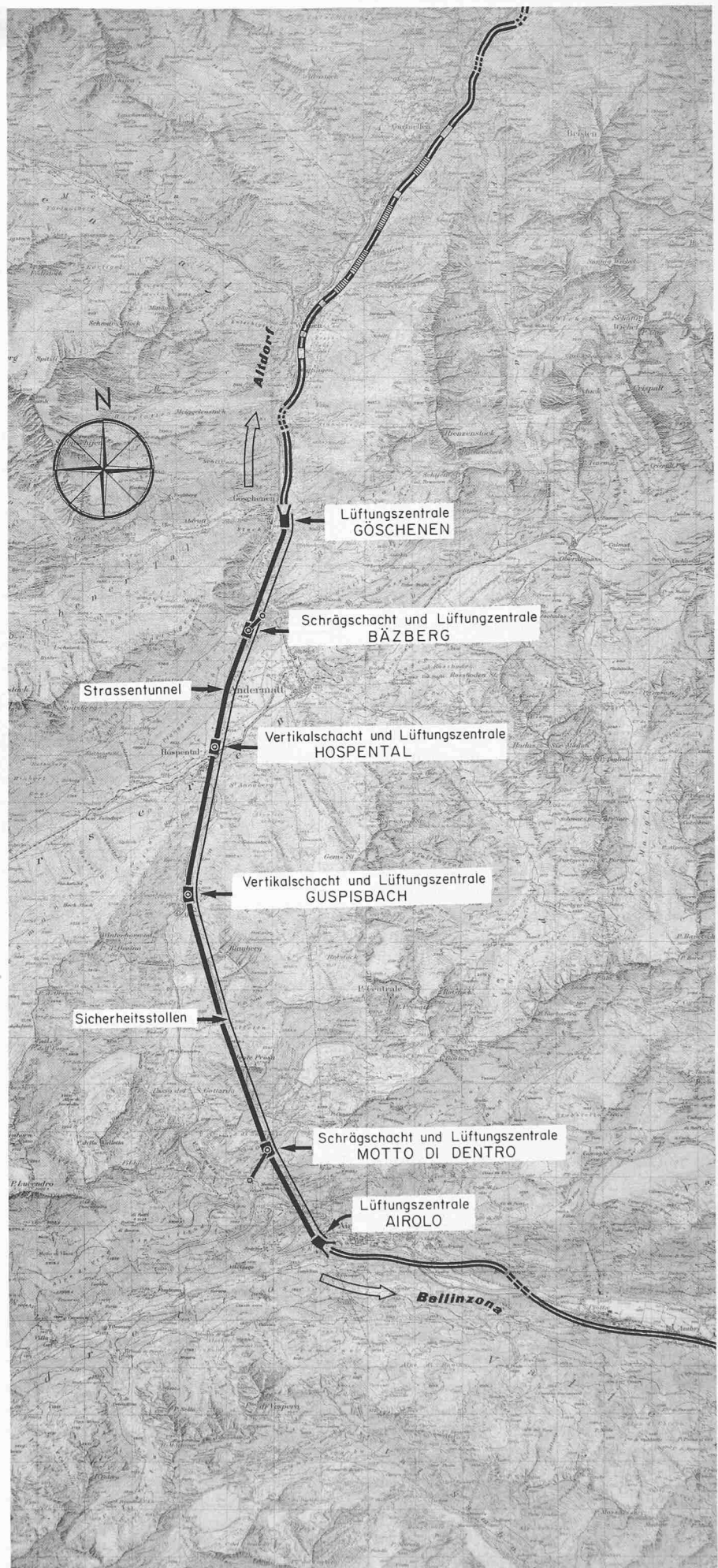


Bild 1. Situation
Figura 1. Situazione