Darstellung des Projektes

Autor(en): **Diethelm, Willy / Gallati, Fritz / Henke, Andreas**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

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

Heft 36: **Der Gotthard-Strassentunnel**

PDF erstellt am: **25.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-74177

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Darstellung des Projektes *)

Von Willy Diethelm, Locarno, Fritz Gallati, Zürich, und Andreas Henke, Locarno

Grundlagen

Die in den folgenden Abschnitten näher beschriebene Disposition des Gotthard-Strassentunnels ist das Resultat einer Reihe von Projektierungsphasen, die sich über mehrere Jahre erstreckten. Sie basiert auf zahlreichen Grundlagen, die vorgängig erarbeitet und für die Projektierung als verbindlich erklärt wurden und berücksichtigt die zahlreichen Randbedingungen, die durch die äusseren Verhältnisse gegeben sind.

Im folgenden werden die wichtigsten Grundlagen und Randbedingungen der Projektierung kurz aufgeführt.

Die *Bedürfnisfrage* wurde durch die *Studiengruppe Gotthardtunnel* in ihrem *Schlussbericht vom September 1963* «Wintersichere Strassenverbindung durch den Gotthard» auf Grund eingehender Verkehrsprognosen abgeklärt und eindeutig bejaht. Gemäss ihrem Vorschlag und dem entsprechenden Antrag des Bundesrates wurde durch *Beschluss der Eidgenössischen Räte vom 25. Juni 1965 der Gotthard-Strassentunnel ins Schweizerische Nationalstrassennetz aufgenommen* und entschieden, sofort die Realisierung der *ersten Röhre* als *zweispuriger, künstlich belüfteter Tunnel* in Angriff zu nehmen.

Der Zeitpunkt der Ausführung der zweiten Röhre, mit der die Verkehrskapazität der Tunnelstrecke der der offenen Abschnitte angepasst wird, ist, gemäss dem heute gültigen langfristigen Bauprogramm der Nationalstrassen, abhängig vom zukünftigen Verkehrsaufkommen.

Durch die «Baukommission Gotthardtunnel» wurde entschieden, dass für die *künstliche Lüftung* des Strassentunnels die *Querlüftung* als das sicherste Lüftungssystem vorzusehen ist. Frischluft und Abluft werden dabei in separaten, vom Fahrraum abgetrennten Luftkanälen geführt. In regelmässigen Abständen wird durch Schlitze in Bodennähe Frischluft in den Verkehrsraum eingeblasen und durch Öffnungen in der Decke abgesaugt. Da das Einblasen der Frischluft und das Absaugen der Abluft gleichmässig über die ganze Tunnellänge geschieht, entsteht aus dem normalen Betrieb der Lüftungsanlage *keine Längsströmung* im Verkehrsraum.

Die *massgebende Verkehrsmenge* für die Bemessung der Lüftungsanlage wurde von der «Baukommission Gotthardtunnel» mit *1800 Personenwageneinheiten je Stunde* (PWE/Std.) festgelegt, mit einem *Anteil des Schwerverkehrs von 10 Prozent*.

Die Leistungsfähigkeit der Lüftungsanlage entspricht damit ziemlich genau der Verkehrskapazität der zweispurigen Tunnelröhre mit Gegenverkehr. Aus der Dauerkurve des Verkehrs, die der Bemessung der Lüftungsanlage zugrunde gelegt wurde, geht hervor, dass die massgebende Verkehrsmenge von 1800 PWE/Std. nur während 30 Stunden im Jahr erreicht wird und dass die Kurve rasch abfällt; eine Verkehrsmenge von mehr als 600 PWE/Std. tritt zum Beispiel nur während rund 1000 der insgesamt 8760 Stunden eines Jahres auf.

Aufgrund der massgebenden Verkehrsmenge, der als zulässig festgelegten Konzentration der schädlichen Abgase in der Tunnelluft und von Annahmen über die Abgasproduktion der Motorfahrzeuge konnte der notwendige *Frischluftbedarf* der Lüftungsanlage rechnerisch ermittelt werden.

Für die Festlegung der Trassierung der Tunnelröhre waren einige durch die zu erwartenden *geologischen Verhältnisse* bedingte Auflagen von massgebender Bedeutung, nämlich:

- die möglichst kurze Durchquerung der schlechten Gesteinsformationen des Mesozoikums und Permokarbons unter dem Talboden von Urseren,
- die westliche Umfahrung der Zone mit häufigen Gesteinswechseln im mittleren Bereich des Tunnels ungefähr längs der Koordinate 687 bis zum Monte Prosa,
- die Umfahrung des bekannten, fast bis auf die Höhe des Bahntunnels reichenden Kolkes unter dem Urserental, in der Gegend von Andermatt.

Die *Lawinenverhältnisse* waren aufgrund der Beobachtungen verschiedener Instanzen in speziellen Plänen festgehalten. Sie interessierten besonders für die *Festlegung der Standorte der Mündungen der Lüftungsschächte*. Die Berücksichtigung der Lawinenverhältnisse schränkte die Möglichkeiten für die Plazierung dieser Bauwerke ganz erheblich ein.

Von den *topographischen Gegebenheiten* war für die Projektierung des Strassentunnels von entscheidender Bedeutung, dass der Taleinschnitt der Gotthardreuss, der durch die Gotthardpassstrasse erschlossen und deshalb für den Bau von Lüftungsschächten besonders geeignet ist, gegenüber der direkten Verbindungslinie der beiden Portale *Göschenen* und *Airolo* nach Westen versetzt ist. Die topographischen Verhältnisse sind weiter dadurch gekennzeichnet, dass der *Verlauf der Geländeüberdeckung des Tunnels zwischen Airolo und Göschenen nicht symmetrisch* ist. Im Süden steigt das Terrain oberhalb *Airolos* wesentlich steiler an als im Norden, wo von *Göschenen* bis in die Gegend von *Hospental* nur ein mässiger Höhenunterschied besteht. Die Gotthardpasshöhe liegt ebenfalls wesentlich näher bei *Airolo* als bei Göschenen.

Das Projekt des Strassentunnels wurde auch durch *vorhandene Bauten* beeinflusst; zu erwähnen sind besonders die Anlagen der SBB, die Kraftwerke und die militärischen Anlagen.

Mit den gegebenen Grundlagen und unter Berücksichtigung der oben aufgeführten und weiterer Randbedingungen ergab sich die in den folgenden Abschnitten beschriebene Tunnelanlage mit vier Lüftungsschächten und in der Kalotte der Tunnelröhre angeordneten Luftkanälen aufgrund umfangreicher und eingehender Optimalisierungsrechnungen als günstigste Lösung.

Baulicher Teil

Allgemeine Disposition und Wahl der Trassierung

Die topographischen und geologisch-bautechnischen Gegebenheiten sprachen eindeutig für eine gegenüber der gradlinigen Verbindung der beiden Portale Göschenen und Airolo *nach Westen ausholende Trassierung* des Strassentunnels (Bild 1, Seite gegenüber). Der Vortrieb konnte damit, bei den prognostizierten Verhältnissen, unter den bestmöglichen geologischen Bedingungen ausgeführt werden, und es war die Voraussetzung geschaffen, möglichst kurze und von der Passstrasse gut zugängliche Lüftungsschächte zu erstellen.

Für die Festlegung der *Anzahl* und der *Lage* der *Lüftungsschächte* und damit der *Länge der einzelnen Lüftungsabschnitte* des Tunnels waren *wirtschaftliche* Gesichtspunkte massgebend. Die Freiheit der Wahl der Schachtstandorte wurde jedoch, wie bereits erwähnt,

*) Die italienische Fassung des Artikels folgt anschliessend

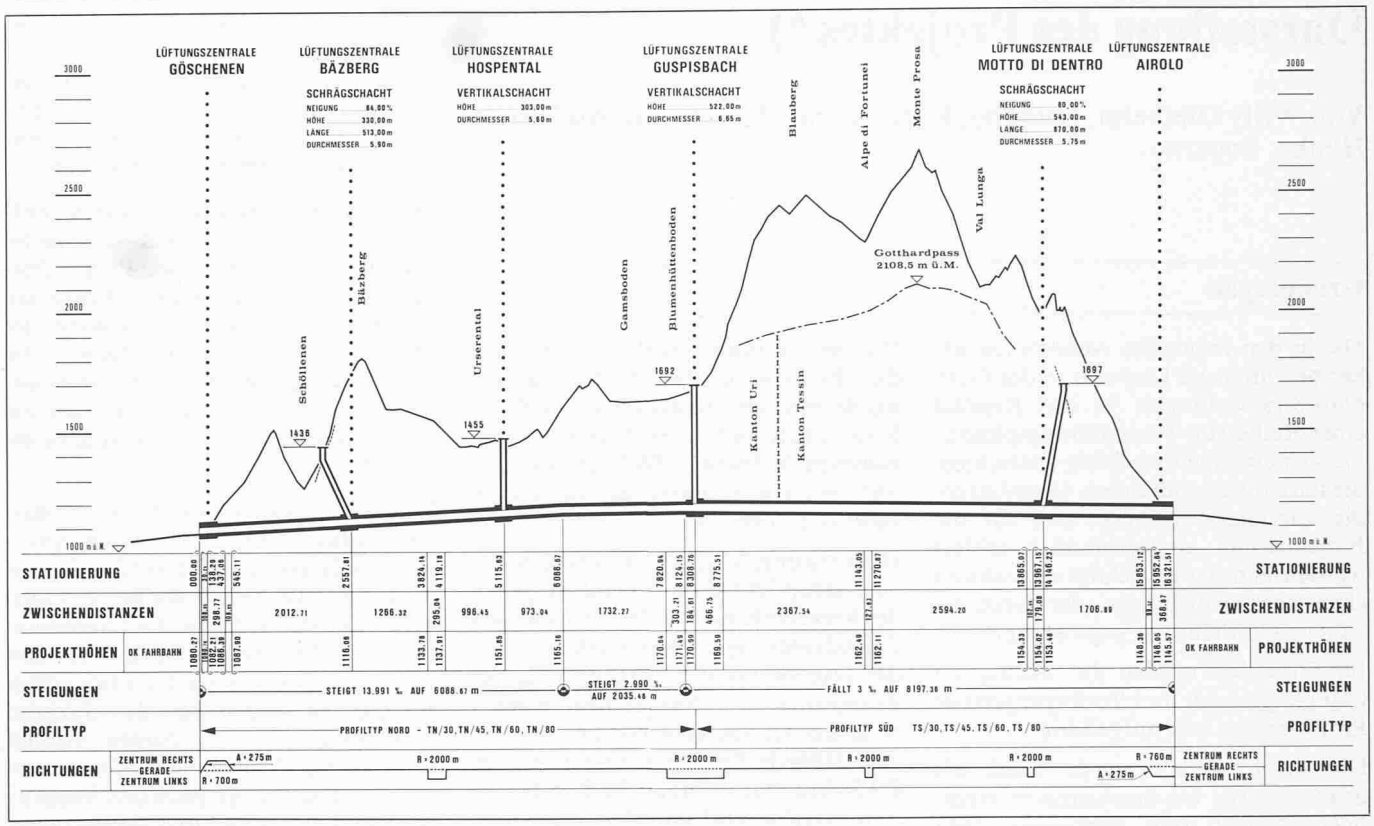

Bild 2. Längenprofil
Figura 2 Profilo longitudinale

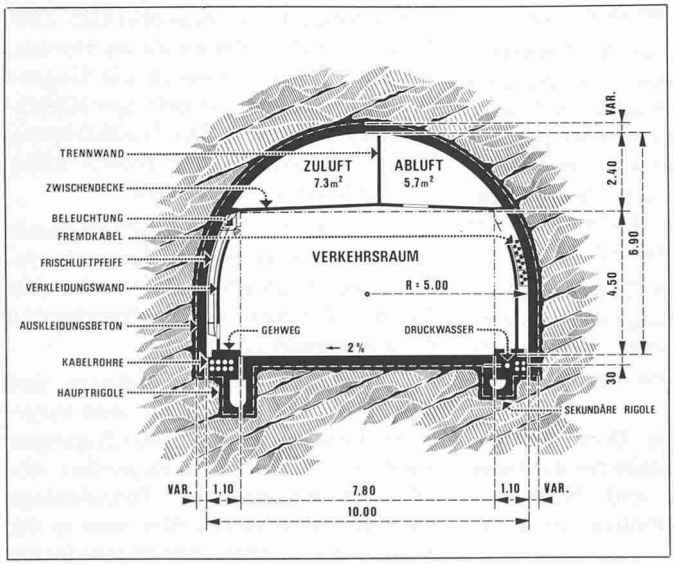

Bild 3. Normalprofil Abschnitt Nord
Figura 3 Sezione normale tratto Nord

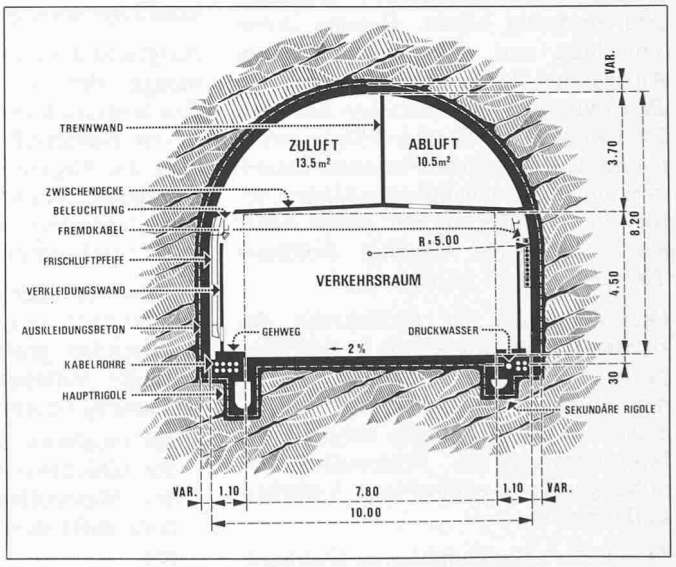

Bild 4. Normalprofil Abschnitt Süd
Figura 4 Sezione normale tratto Sud

durch die Lawinenverhältnisse, aber auch durch gegebene Bauten und Projekte und andere Randbedingungen ganz erheblich eingeschränkt. Die sehr eingehenden Vergleichsstudien einer grossen Zahl von Varianten zeigten, dass sich mit der Anordnung von *vier Lüftungsschächten* die *optimale Gesamtdisposition der Anlage* ergibt. Die Schächte folgen einander dabei nicht in regelmässigen Intervallen. Im Süden ist ihr Abstand und damit auch die Länge der Lüftungsabschnitte etwa doppelt so gross wie im nördlichen Teil des Tunnels. Dieses Resultat ist durch den Verlauf der Geländeüberdeckung längs des Tunnels bedingt (Bild 2). In Zonen mit verhältnismässig geringer Überlagerungshöhe, d.h. vom Portal Göschenen bis in die Gegend von Hospental/Guspisbach, ist einer Disposition mit kurzen Lüftungsabschnitten und dementsprechend mehr, aber relativ wenig hohen Lüftungsschächten der Vorzug gegeben worden. Dagegen erwies es sich als günstiger, Gebiete mit grosser Überlagerung, d.h. die Zone der Passhöhe, mit langen Abschnitten zu unterfahren. Da die Luftmengen, die durch die in der Tunnelkalotte angeordneten Luftkanäle gefördert werden, proportional mit den Längen der Lüftungsabschnitte variieren, ergab sich in der nördlichen Hälfte vom Portal Göschenen über die Schächte *Bäzberg* und *Hospental* bis zum Lüftungsschacht *Guspisbach* ein kleineres Tunnelprofil als optimale Lösung als in der südlichen Hälfte, wo bis zum Portal *Airolo* nur noch der Schacht *Motto di Dentro* angeordnet ist.

Tunnelröhre

Trassierung

Der Strassentunnel hat eine Gesamtlänge von 16322 m. Gegenüber der gradlinigen Verbindung der beiden Portale von 15455 m ergibt die Auslenkung der

Linienführung nach Westen um maximal etwa 2400 m eine Verlängerung der Tunnelröhre von rund 870 m. Der Tunnel beschreibt im Grundriss einen weiten Bogen mit vier Kurven von 2000 m Radius im Berginnern, die eine zügige Fahrt erlauben, aber dazu beitragen, die Durchfahrt weniger eintönig zu gestalten. Bei den Portalen sind Einfahrkurven von 700 bis 750 m Radius vorhanden, welche die Blendwirkung des Tageslichtes bei der Ausfahrt aus dem Tunnel auf eine kurze Strecke beschränken.

Längenprofil

Vom Portal *Airolo* ist bis ungefähr zur Tunnelmitte auf 8198 m Länge das für eine einwandfreie Entwässerung als notwendig erachtete Minimalgefälle von 3 Promille vorhanden. Vom Portal Göschenen steigt der Tunnel bis auf 6088 m Länge mit der relativ grossen Neigung von rund 14 Promille, die verbleibende 2036 m lange Strecke bis zur Tunnelmitte weist eine Steigung von 3 Promille auf. Die Wechsel der Tunnelgefälle erfolgen mit einem vertikalen Ausrundungsradius von 20000 m. Mit diesem Längenprofil konnte der Tunnel überall mit steigendem Vortrieb ausgebrochen werden; der südliche Abschnitt wurde auf die ganze Länge vom Portal *Airolo* aus vorgetrieben, der Nordabschnitt auf 6806 m vom Portal *Göschenen,* die restlichen 1318 m über den Zwischenangriff *Hospental.*

Der nördliche Teil des Tunnels wird durch den *schrägen Lüftungsschacht Bäzberg* und die *Vertikalschächte Hospental* und *Guspisbach* in vier Lüftungsabschnitte von je 1279 m und zwei Abschnitte von je 1597 m unterteilt. Vom Schacht *Guspisbach* bis zum Südportal in *Airolo* werden mit der Anordnung des *Schrägschachtes Motto di Dentro* drei Lüftungsabschnitte gebildet; zwei davon messen je 2829 m, der dritte 2354 m. Der ganze Tunnel wird somit in neun Lüftungsabschnitte unterteilt.

Profilausbildung

Das Normalprofil der Tunnelröhre weist einen Fahrraum von 7,8 m Breite und 4,5 m lichter Höhe, mit einseitigem Quergefälle von 2 Prozent auf (Bilder 3 und 4). Zusammen mit den seitlichen Banketten von je 1,1 m Breite ergibt sich eine *gesamte Breite des Profils von 10,0 m.* In den *Banketten* sind in einbetonierten Rohren die *tunneleigenen Hochspannungs-, Niederspannungs- und Steuerkabel* verlegt sowie auf der Westseite die *Druckwasserleitung* untergebracht. An diese Druckwasserleitung sind in regelmässigen Abständen von 125 m *Überflurhydranten* angeschlossen, die von zwei tunneleigenen, in *Göschenen* und *Airolo* gelegenen Reservoiren und einer im Tunnel gebauten *Sikkerwasser-Pumpstation* mit Wasser versorgt werden. Unter den Banketten liegt auf der einen Seite die Haupt-, auf der anderen Seite die Nebenrigole. In regelmässigen Abständen von etwa 250 m wird die Nebenrigole in einem Kontrollschacht an die Hauptrigole angeschlossen. Die *U-förmigen Rigolen* haben eine lichte Breite von 50 cm. Die Tiefe der Nebenrigole beträgt durchgehend 30 cm, die der Hauptrigole ist veränderlich und wurde aufgrund des mutmasslichen Wasseranfalls im Los Nord mit 50 cm und im Los Süd mit 50 bis 85 cm ausgeführt.

Die Rigolen blieben während des Baus möglichst lange offen; sie wurden erst mit vorfabrizierten Betonplatten abgedeckt, als die darüberliegenden Bankette erstellt wurden.

Die *Entwässerung der Fahrbahn* in die beiden Rigolen erfolgt durch *vertikale Schlitze* in den vorfabrizierten Randsteinelementen und entsprechende Öffnungen in den Abdeckplatten. Das Sikkerwasser, das mit Vorabdichtungen gefasst wurde, gelangt dagegen durch spezielle Rohrleitungen, die unter den Gehwegen durchgeführt wurden, in die Entwässerungsleitungen.

Der seitliche Raum über den Banketten wird durch die der Tunnelauskleidung vorgestellten Verkleidungswände in einen *Gehweg von 0,7 m Breite* und einen *Zwischenraum* unterteilt, in dem auf der *Ostseite* die *sekundären Frischluftkanäle* und auf der *Westseite Fremdkabel* (PTT) untergebracht sind. Über den Verkleidungswänden ist auf der Ostseite des Tunnels das durchgehende *Beleuchtungsband* und ein *Sekundär-Kabelkanal,* auf der Westseite eine *Blende aus Eternit mit Kabelkanal* angeordnet. Zwischen den Gehwegen, unter der Fahrbahn, ist eine *mit Bitumen stabilisierte Fundationsschicht* von normalerweise 17 cm Stärke eingebracht, die ihrerseits auf dem Sohlenausgleichsbeton liegt. Die Fundationsschicht wird ebenfalls in die beiden seitlichen Rigolen entwässert. Die *Fahrbahn* ist mit einem *Schwarzbelag von 18 cm Gesamtstärke* versehen.

In dem über dem Verkehrsraum in der *Kalotte* des Tunnels verbleibenden Raum werden durch die Zwischendekke und die Trennwand zwei Luftkanäle geschaffen, wovon der eine der *Zuleitung der Frischluft,* der andere der *Ableitung der Abluft* dient. Die Zwischenwand liegt nicht genau in der Axe des Profils, sondern ist etwas gegen die Abluftseite verschoben, da es sich wegen der längeren Betriebszeit der Zuluftventilatoren als günstig erwies, den Frischluftkanal etwas grösser zu wählen als den Abluftkanal. Die *Zwischendecke* (Stärke 10 cm im Profil Nord und 12 cm im Profil Süd) ist beidseitig in durchgehenden Aussparungen der Tunnelauskleidung abgestützt und über die Trennwand (Stärke 15 cm im Profil Nord und Süd) zusätzlich mit Ankerstangen in der Kalotte aufgehängt.

Wegen der stark verschiedenen Längen der Lüftungsabschnitte im nördlichen Teil des Tunnels und dem damit verbundenen grossen Unterschied in den maximalen Luftmengen variiert der optimale Querschnitt der Luftkanäle erheblich und führte zur Wahl von *zwei verschieden grossen Tunnelprofilen.* Zwischen *Göschenen* und *Guspisbach* gelangte ein Normalprofil mit 6,9 m lichter Höhe und einem minimalen theoretischen Ausbruchquerschnitt von rund 68 m² zur Ausführung, zwischen *Guspisbach* und *Airolo* ein solches mit 8,2 m lichter Höhe und etwa 82 m² minimaler theoretischer Ausbruchfläche.

Tunnelauskleidung

Die Tunnelröhre ist auf die ganze Länge mit einer *Betonauskleidung* versehen, deren minimale theoretische Stärke aus ausführungstechnischen Gründen 30 cm beträgt. Wo die geologischen Verhältnisse einen Einbau erforderten, wurde die minimale theoretische Stärke auf 45 bis 60 cm erhöht.

In der Auskleidung sind in regelmässigen Abständen von 8 m offene, 40 cm breite, gegen das Tunnelinnere abgedeckte *Ringfugen* angeordnet, die der Entwässerung des Gebirges dienen. Bei Bedarf konnten von diesen Ringfugen aus zusätzlich noch Entwässerungsbohrungen angesetzt werden, um die Drainagewirkung zu erhöhen. Dank dieser Massnahmen, die bezwecken, den Wasserdruck im Bereich der Tunnelröhre möglichst weitgehend abzubauen, konnte die Ausführung einer eigentlichen Tunnelabdichtung mit PVC-Folien auf die unmittelbaren Portalzonen und auf kurze Strecken, wo besondere Verhältnisse herrschten, beschränkt bleiben.

Auf einige Strecken mit *ungünstigen geologischen Verhältnissen* musste das normale Tunnelprofil *verstärkt* werden:

- Im *Portalbereich Göschenen* war der Tunnel auf *rund 160 m bergmännisch in Lockermaterial* aufzufahren. Er weist in diesem Abschnitt ein *Doppelgewölbe* (Gesamtstärke 110 cm) mit dazwischenliegender Isolation und eine horizontale, armierte Betonsohle (Stärke 70/80 cm) auf.
- Im *Mesozoikum, unter dem Talboden von Andermatt,* musste der Tunnel auf 300 m Länge im *Teilausbruch* vorgetrieben werden und ist deshalb mit einem in zwei Etappen betonierten Gewölbe von 100 bis maximal 200 cm Gesamtstärke und mit einem 140 cm starken Sohlengewölbe versehen.
- In den *Paragneisen,* im *südlichen Drittel des Tunnels,* war ebenfalls ein

Vortrieb in verschiedenen Etappen notwendig. Kalotte und Paramente wurden aus diesem Grund mit einer Gesamtstärke von 60/70 cm betoniert. Die relativ hohen Paramente sind zusätzlich mit permanenten Felsankern gesichert. Die horizontale, armierte Sohle weist eine mittlere Stärke von 160 cm auf.

- In *Airolo* wurde zwischen der Lüftungszentrale und dem Felsportal eine rund 30 m lange Strecke im *Lokkermaterial* in *offener Baugrube* erstellt und anschliessend wieder mit bis zu 17 m Material eingedeckt. Die mit einer Aussenisolation versehene armierte Konstruktion mit horizontaler Betonsohle weist eine Stärke von 60 cm auf.

Nebenbauwerke

Längs des Strassentunnels sind in regelmässigen Abständen von etwa 750 m, durch Ausweitung des Tunnelprofils, wechselseitig *Ausstellbuchten* von 3 m Breite und 41 m Länge angeordnet, die dem Tunnelbenützer erlauben, bei Pannen sein Fahrzeug zu parkieren (Bild 5). In diesen seitlichen Nischen sind auch *Kabelschächte* vorhanden, wo die tunneleigenen Kabel gemufft werden. Auf der Westseite des Tunnels sind für die Bedürfnisse der PTT, zwischen den tunneleigenen Ausstellbuchten, jeweils weitere kürzere Ausstellmöglichkeiten (Länge 24 m) geschaffen worden. Somit steht für einen allfälligen Kabelzug in einem späteren Zeitpunkt auf der Westseite im Abstand von rund 750 m je eine seitliche Nische zur Verfügung, und die Erweiterungsarbeiten der PTT können ohne Beeinträchtigung des Verkehrs erfolgen.

An vier Stellen im Tunnel, bei den unterirdischen Lüftungszentralen, wurde durch den Bau von *Wendenischen* die Möglichkeit geschaffen, bei Bedarf die Fahrzeuge, auch Lastenzüge und Cars, kehren zu können. Es handelt sich um rechtwinklig zur Tunnelröhre angeordnete *Querstollen* von 9 m Breite und 25 m Tiefe.

Zur Erhöhung der Sicherheit der Tunnelbenützer bei Unfällen und besonders bei Bränden sind in regelmässigen Abständen von rund 250 m *Schutzräume* gebaut worden (Bild 6). Diese kurzen, normalerweise für die Aufnahme von etwa 60 Personen vorgesehenen Querstollen mit 4,5 m lichter Breite *verbinden den Strassentunnel mit dem Sicherheitsstollen.* Sie sind baulich so ausgebildet und mit allen notwendigen Einrichtungen, Geräten und Verbindungsmitteln ausgerüstet, um in einem Ernstfall den Tunnelbenützern volle körperliche Sicherheit zu bieten.

Sollte später einmal ein zweiter Strassentunnel gebaut werden, dienen die Schutzräume als Fussgängerverbindung zwischen den beiden Röhren. Ihre jetzige Zweckbestimmung als geschlossene Unterstände entfällt dann, da in einem Katastrophenfall der eine Strassentunnel die beste Fluchtmöglichkeit für den andern darstellt. Die Schutzräume bei den Ausstellbuchten Ost, in einem Abstand von rund 1500 m, sind schon heute mit grösserem Querschnitt ausgeführt, damit sie später als befahrbare Querverbindungen zwischen den zwei Strassentunneln dienen können.
Die Schutzräume werden auch dazu benützt, um die *Schaltschränke* für die Stromversorgung, Beleuchtung, Überwachung, Signalisation usw. der angrenzenden Tunnelabschnitte unterzubringen. Zum Ziehen der notwendigen elektrischen Kabel ist vor jedem Schutzraum ein Schacht vorhanden. In allen Schutzräumen sind auch *SOS-Schränke* mit *Telefon, Alarmtaste* und *Feuerlöscher* für den Gebrauch durch die Tunnelbenützer installiert. Auf der Westseite des Tunnels sind diese SOS-Schränke in speziellen Nischen im Abstand von 125 m angeordnet.

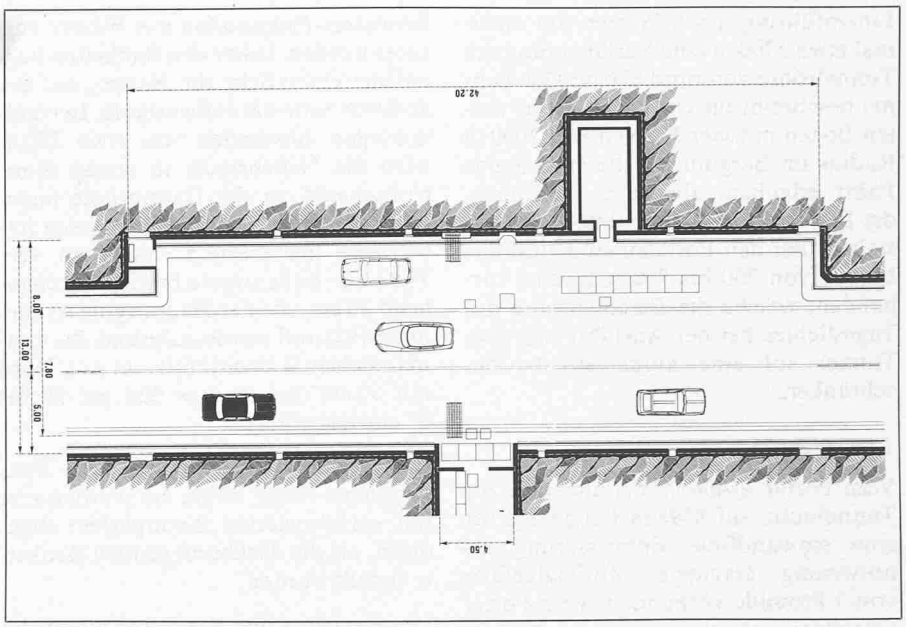

Bild 5. Ausstellbucht
Figura 5 Nicchia di sosta

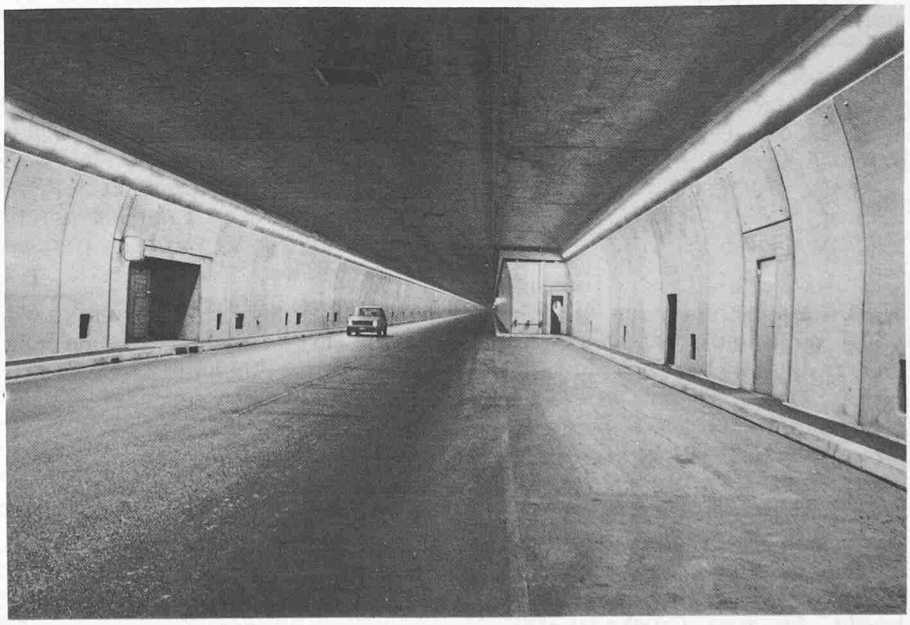

Bild 6. Tunnelröhre, Blickrichtung Süd, mit einer Ausstellbucht (rechts) und einem Schutzraumeingang (links). SOS-Stationen sind sowohl im Schutzraum wie in der eigens dafür erstellten Kabine am Ende der Ausstellbucht, also beidseits der Fahrbahn vorhanden

Figura 6 Galleria stradale, vista verso sud con una nicchia di sosta (a destra) ed un rifugio (a sinistra). Vi sono nicchie S.O.S. sulle due parti della carreggiata, sia nel rifugio, come pure nell'apposita cabina al termine della nicchia di sosta

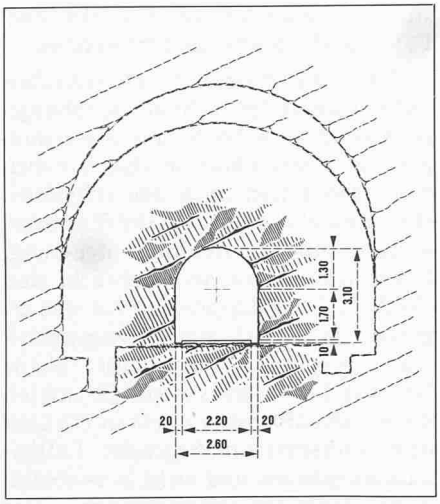

Bild 7. Normalprofil Sicherheitsstollen
Figura 7 Sezione normale cunicolo di sicurezza

Sicherheitsstollen

Der zur Erhöhung der Sicherheit der Tunnelbenützer sowie der Erleichterung des Betriebes und Unterhalts dienende Sicherheitsstollen wurde mit minimalem Profil von etwa 6 m² theoretischer Ausbruchfläche gebaut (Bild 7). Er liegt *östlich* des Strassentunnels in einem Axabstand von normalerweise 30 m und kann als Pilotstollen einer eventuell später zu erstellenden zweiten Tunnelröhre ausgeweitet werden. Er ist, mit Ausnahme einer *Betonsohle, nicht verkleidet,* wo dies die geologischen Verhältnisse zugelassen haben.

Neben seiner projektbedingten Bestimmung hat der Sicherheitsstollen für den Bau die folgenden *Vorteile* aufgewiesen:

- Vollständiger Aufschluss über die geologischen Verhältnisse vorgängig des Ausbruchs des Haupttunnels. Die Ausbruchmethode konnte jeweils im voraus geplant werden.
- In den Zonen mit bautechnisch ungünstigen Felsverhältnissen haben die über den Sicherheitsstollen durchgeführten Zwischenangriffe im Haupttunnel zur Verminderung von unvorhergesehenen Verzögerungen beigetragen.
- Das Gebirge konnte dank dem vorgängigen Vortrieb des Sicherheitsstollens drainiert werden. In Zonen mit hohen Gebirgswasserdrücken konnten diese Drücke reduziert und somit bessere Vortriebsverhältnisse für den Strassentunnel erreicht werden.
- Die Bauventilation wurde durch den Sicherheitsstollen ganz erheblich erleichtert, konnte doch dieser Stollen direkt als Frischluftkanal verwendet werden.

Die Wasserableitung im Sicherheitsstollen erfolgt durch eine offene seitliche Rinne. Nur ausnahmsweise ist ein geschlossenes Rohr vorhanden. Im Prinzip wird das Wasser, wo vorhanden, bei jedem Schutzraum mit einem Querrohr in die Hauptrigole des Strassentunnels hinübergeleitet. Die Durchleitung erfolgt über einen Siphonschacht, der verhindert, dass ungewollt Luft vom Sicherheitsstollen, der durch die separate Belüftung im Überdruck gehalten wird, über die Rohrleitungen in den Strassentunnel entweicht.

Durch den Sicherheitsstollen können alle Schutzräume und damit auch jeder Punkt des Strassentunnels im Falle einer Rettungsaktion sicher erreicht werden. Für solche Aktionen und auch zur Erleichterung im normalen Betrieb ist im Sicherheitsstollen der Einsatz von Kleinfahrzeugen (Haflinger) vorgesehen.

Die vom Strassentunnel unabhängige Frischluftversorgung des Sicherheitsstollens und der Schutzräume sorgt für eine genügende Luftumwälzung und schafft den gegenüber dem Verkehrsraum notwendigen *Überdruck,* der verhindert, dass in einem Brandfall Rauchgase in die Schutzräume und in den Sicherheitsstollen eindringen können.

Im Gegensatz zu den Schutzräumen ist der Sicherheitsstollen für die Tunnelbenützer nicht direkt zugänglich. Falls in einem Ernstfall im Schutzraum sich aufhaltende Personen nicht mehr in den Tunnelfahrraum zurückkehren könnten, muss deren Evakuation über den Sicherheitsstollen unter Aufsicht des Tunnelpersonals erfolgen.

Lüftungsschächte

Die vier Lüftungsschächte weisen folgende Hauptdaten auf (Bilder 8 und 9, Tabelle 1):

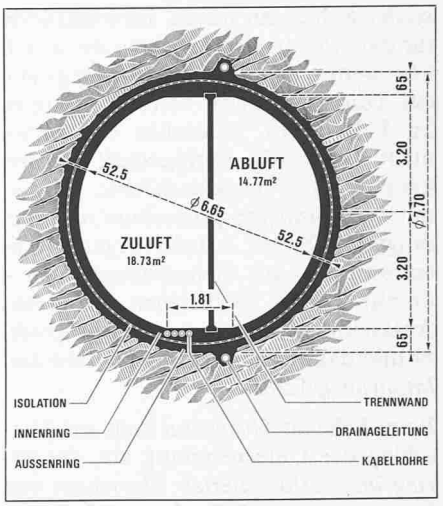

Bild 8. Normalprofil Vertikalschacht Guspisbach
Figura 8 Sezione normale pozzo verticale di Guspisbach

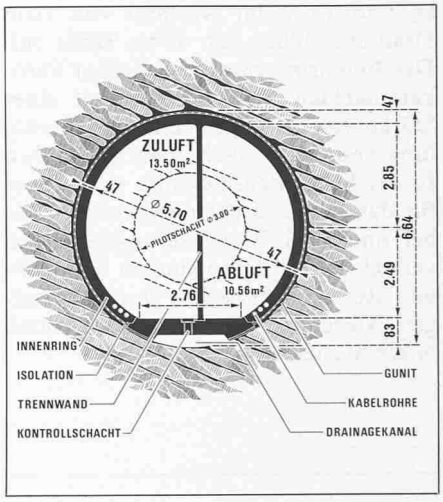

Bild 9. Normalprofil Schrägschacht Motto Di Dentro
Figura 9 Sezione normale pozzo inclinato di Motto di Dentro

Tabelle 1. Hauptdaten der Lüftungsschächte

Schacht	*Lichter Durchmesser*	*Neigung*	*Länge*
Bäzberg	5,90 m	84 Prozent	512 m
Hospental	5,60 m	vertikal	304 m
Guspisbach	6,65 m	vertikal	522 m
Motto di Dentro	5,70 m	80 Prozent	844 m

Die beiden *Schrägschächte* wurden entgegen der ursprünglichen Absicht *mechanisch* aufgefahren, und zwar mit einem *Pilotschacht von unten* und der *Ausweitung von oben.* Sie weisen deshalb einen *runden Querschnitt* auf. Der Innenausbau besteht im wesentlichen aus speziellen vorfabrizierten Elementen in der Sohle, an die eine durchgehende Dichtungshaut aus PVC-Folien anschliesst, und aus einer Betonauskleidung von theoretisch 37 cm Stärke. Da die Oberfläche des gebohrten Kreisprofils bei *Bäzberg* erstaunlich glatt herauskam und ausser dem Steinschlag-Schutznetz *praktisch keine Felssicherung* erforderlich war, konnte die *Dichtungshaut mit einer Vliesmatte* als Schutz, nach Entfernung des Netzes, direkt auf den gebohrten Fels verlegt werden. Im Schacht *Motto di Dentro* wurde die durch unterschiedliche Sicherungsmassnahmen belegte Oberfläche- neben üblichen Vorkehrungen wie Anker, Spritzbeton, Liner Plates und Stahlbögen musste vereinzelt auch geschalter Beton zur Auffüllung von Kaminen und seitlichen Felseinbrüchen eingebracht werden - vor dem Aufbringen der Isolation mit Gunit abgeglättet.
Die *Vertikalschächte* wurden *von oben im Vollausbruch* abgeteuft. Beim Schacht *Hospental* haben die geologisch-bautechnischen Verhältnisse den Ausschlag für die Wahl dieses Arbeitsvorganges gegeben. Beim Schacht *Gu-*

spisbach dagegen haben Termingründe für das *Abteufen* gesprochen; da er sich nur wenig von der Durchschlagstelle des Tunnels entfernt befindet, hätte er im Falle eines Vortriebes von unten nicht rechtzeitig fertiggestellt werden können. Die Vertikalschächte wurden mit *kreisförmigem Querschnitt* und, bedingt durch den Arbeitsvorgang (Abteufen mit - aus Sicherheitsgründen - unmittelbarem Nachziehen der ersten Auskleidung), mit einem *Doppelgewölbe* und dazwischenliegender *Folien-Isolation* ausgeführt.

Beim Schacht *Hospental* kam auf Vorschlag der Unternehmung ein *Aussenring aus vorfabrizierten Elementen* von 15 cm Stärke und *Kieshinterfüllung* zur Ausführung. Beim Schacht *Guspisbach* besteht der Aussenring aus normalem Ortbeton von 20 cm theoretischer Stärke und weist im Abstand von 10 m Drainageschlitze von 40 cm Höhe auf. Der Innenring wurde bei beiden Vertikalschächten aus Ortbeton mit einer Stärke von 30 cm mit einer Gleitschalung von unten nach oben ausgeführt. In der Schachtauskleidung sind Rohre für das Verlegen der notwendigen Kabel und zwei Entwässerungsleitungen verlegt. Die letzteren sind zu Kontroll- und Reinigungszwecken in regelmässigen Abständen von etwa 50 m durch Nischen zugänglich.

Jeder Schacht wird durch eine Trennwand in zwei Luftkanäle unterteilt, wovon der eine für die Zuleitung der Frischluft, der andere für die Ableitung der Abluft bestimmt ist. Wie beim Strassentunnel liegt auch bei den Schächten die Trennwand nicht genau in der Axe des Profils, sondern ist etwas gegen die Abluftseite verschoben.

Die Zugänglichkeit der Lüftungsschächte für Kontrollen und Unterhalt ist durch spezielle *Aufzugsanlagen* gewährleistet. Die Antriebe und Fahrkörbe dieser Aufzüge sind in den jeweiligen Schachtkopfbauwerken stationiert und werden auch von dort aus bedient. Die Anlagen erlauben, jeden Punkt des Schachtes zu erreichen. Die zulässige Nutzlast der Schachtbahnen beträgt 3 t. Nebst den üblichen Geräten für Schacht- und Drainagereinigung kann somit auch die für kleinere Unterhaltsarbeiten notwendige Ausrüstung transportiert werden.

Lüftungszentralen

Bei den *beiden Portalen* sowie *am Fuss jedes Schachtes* ist eine Lüftungszentrale angeordnet, in der je ein Zuluft- und Abluftventilator für jeden anschliessenden Lüftungsabschnitt installiert ist. Die Lüftungszentralen sind deshalb jeweils mit *zwei oder vier Ventilatoren* bestückt, je nachdem ob ein oder zwei Lüftungsabschnitte versorgt werden.

Es handelt sich bei den unterirdischen Lüftungszentralen nicht um unabhängige Kavernen, sondern um *Ausweitungen der Tunnelröhre,* in denen neben den Ventilatoren auch alle erforderlichen Räumlichkeiten für die Stromversorgung und -verteilung, Steuerung, Überwachung usw. untergebracht sind (Bild 10). Diese Disposition hat sich ergeben, da es sich aus lüftungstechnischen Gründen (möglichst kleine Druckverluste) als vorteilhaft erwies, die Axialventilatoren direkt in die über dem Verkehrsraum liegenden Luftkanäle einzubauen und nicht in unabhängigen Zentralen unterzubringen. Der Ein- und Ausbau der Ventilatoren erfolgt mit Spezialfahrzeugen direkt vom Fahrraum aus, wobei eine Fahrbahn kurzfristig gesperrt werden muss. Die Profilerweiterung erstreckt sich über 50 m Länge und überspannt auch die Mehrbreite für die Ausstellbucht, die jeweils im Bereich der Zentrale angeordnet ist.

Im befahrbaren Querschlag zum Sicherheitsstollen, der im heutigen Zustand als Wendenische dient, sind auf der Fahrbahnhöhe die Zellen mit den Transformatoren untergebracht.

Der Fusspunkt der Lüftungsschächte liegt jeweils etwa *20 m westlich der Lüf-*

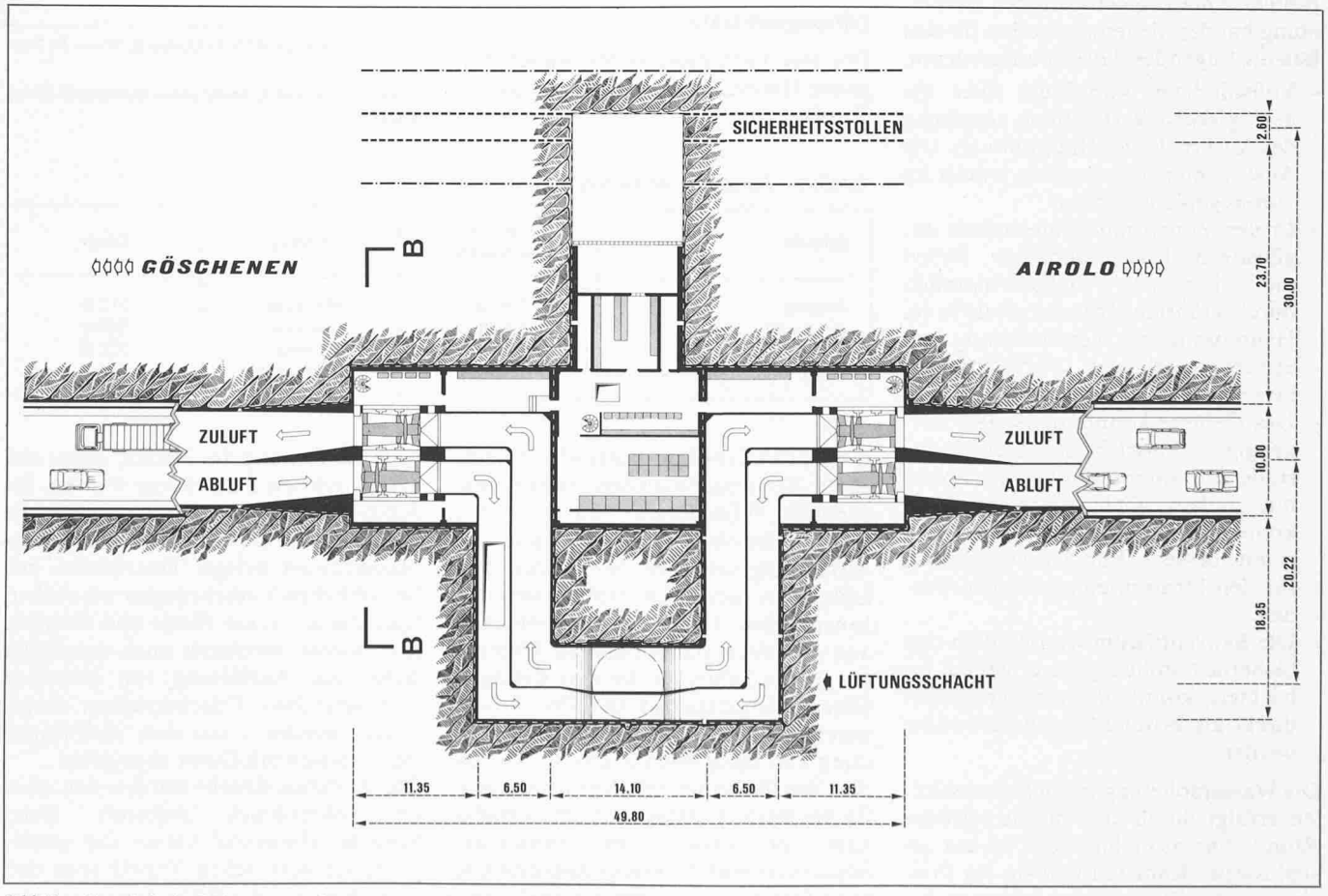

Bild 10. Unterirdische Lüftungszentrale, Horizontalschnitt Ventilatorengeschoss
Figura 10 Centrale di ventilazione sotterranea, sezione orizzontale, piano ventilatori

tungszentralen. Mit dieser Anordnung bleibt der Raum östlich des Tunnels frei für die Trassierung der zukünftigen zweiten Tunnelröhre und einer analog disponierten Lüftungszentrale mit zugehörigem zweiten Lüftungsschacht. Die Querverbindungen von den Zentralen zu den Lüftungsschächten sind in erster Linie nach Massgabe der notwendigen Querschnittsflächen für die Lüftungskanäle dimensioniert. Zusätzlich ist auf Fahrbahnhöhe ein mit Panzertüren versehener Zugang zu jedem Schachtfuss vorhanden.

Unter den verschiedenen zur Diskussion stehenden Lösungen für die Konstruktion der unterirdischen Lüftungszentralen (monolithischer Zusammenbau mit dem Gewölbe, Aufhängen des Oberbaus mittels Zugstangen, seitliche Auflager im Gewölbe auf Deckenhöhe) wurde die für die Ausführung gewählt, bei der eine *vollständig vom Gewölbebeton getrennte Wirkungsweise* gewährleistet ist. Zu diesem Zwecke wurde die Zentrale in *drei statisch unabhängige Sektoren* aufgeteilt. Je ein Abschnitt ist in den anschliessenden Gewölbe-Stirnwänden fest eingespannt und enthält die Ventilatoren, Luftkanäle und technischen Einrichtungen, der mittlere, in die Wendenische hineinragende Teil, bietet für die elektro-mechanischen Ausrüstungen auf zwei Obergeschossen Platz. Die in Hochbauweise erstellten Baukörper stehen, ausser der Randeinspannung, auf seitlich hinter den Wandplatten angeordneten Stützen, die separat fundiert sind. Unter sich und gegen den Gewölbebeton sind die drei Sektoren vollständig durch Hartschaumstoff-Zwischenlagen getrennt. Der gesamte Oberbau bleibt somit auf seinen flexiblen Stützen praktisch zwängungsfrei. Diese Lösung hat den Vorteil einer klaren statischen Tragweise. Es mussten dafür *anspruchsvolle Armierungsarbeiten in recht engen Verhältnissen* in Kauf genommen werden, besonders im Bereich der Stützen, wo grosse Kräfte aufzunehmen waren, und bei den tragenden Querscheiben, wo das respektable Ausmass der Durchbrüche für Luftkanäle, Durchgänge, Klimatisierungskanäle und Leitungen wenig tragenden Eisenbeton mehr übrig liess.

Die beiden Portalzentralen bei *Göschenen* und *Airolo* sind mit über der Fahrbahn montierten Ventilatoren ähnlich aufgebaut, jedoch als reine Tagbauwerke errichtet worden. Zusätzlich sind dort auch die 50-kV-Transformatoren eingebaut.

In *Göschenen* ist dem Tunnel ein einziger Baukörper vorgestellt, der sich auf einem Bogen bis über die *Reuss* erstreckt und talseits an den Vortunnel anschliesst. Darin sind neben der Lüftungszentrale für den Strassentunnel auch die für die Belüftung des 700 m langen Vortunnels sowie sämtliche Räumlichkeiten für Kommandoanlagen, Betriebs- und Unterhaltsdienste vorhanden. Die Frischluftansaugung erfolgt direkt von unten aus dem Bogen, welcher den Durchlass für die *Reuss* bildet.

Bild 11. Blickrichtung quer zur Nationalstrasse Richtung Westen, mit dem Portal Airolo (links im Bild, dahinter ein Teil des Betriebsgebäudes) und in Bildmitte, bergseits der neu angelegten Verbindungsstrasse Richtung Bedrettotal, die von aussen sichtbaren Teile der Lüftungszentrale Airolo. Das Frischluftfassungsbauwerk beschreibt einen langgezogenen Bogen, während sich die eigentliche Lüftungszentrale mit dem Abluftkamin, die über der Tunnelröhre liegt, sich rechts im Bilde befindet

Figura 11 Vista transversale alla Strada Nazionale, in direzione ovest, con il portale di Airolo (a sinistra sulla figura; dietro una parte dell'edificio di servizio) e al centro, la parte visibile dall'esterno della centrale di Airolo, a monte della nuova strada di raccordo, in direzione della Valle Bedretto. L'opera di aspirazione dell'aria fresca descrive un ampio arco, mentre la centrale di ventilazione vera e propria con il camino dell'aria viziata si trova sopra la galleria, a destra, sulla figura

In *Airolo* stellt die Zentrale einen separaten Teil dar, der, zusammen mit der 50-kV-Transformatorenstation, in offener Bauweise erstellt und nachträglich dem ursprünglichen Geländeverlauf entsprechend wieder eingedeckt wurde. Von aussen sind dort nur noch die Zugänge, die dem Gelände folgende längliche Ansaughaube und das Abluftkamin sichtbar. Die Gebäulichkeiten für den Tunnelbetrieb und -unterhalt liegen weiter südlich beidseits der Fahrbahn und sind von der Nationalstrasse durch eine separate Ein- und Ausfahrt erschlossen (Bild 11).

Aussenbauwerke

Für die Fassung der frischen, beziehungsweise das Ausstossen der verbrauchten Luft ist für jeden Schacht an der Terrainoberfläche ein Bauwerk angeordnet. Je nach den örtlichen Verhältnissen (Topographie, Lawinen, Wind, Geologie) sind die Bauwerke in einem einzigen Bau vereinigt oder örtlich getrennt disponiert. Die für die permanenten Schachtbahnanlagen erforderlichen elektromechanischen Einrichtungen sind am Schachtkopf in einem Gebäude untergebracht, das ebenfalls in Verbindung mit dem Zu- und Abluftbauwerk erstellt wurde.

Da alle Schachtausmündungen in unmittelbarer Nähe der Kantonsstrasse, die über den Gotthardpass führt, liegen, konnten sie leicht durch kurze Zufahrtsstrassen an das bestehende Strassennetz angeschlossen werden.

Bei den Schrägschächten *Bäzberg* und *Motto di Dentro* sind alle Funktionen in einem einzigen Bau zusammengefasst. Unter einem steilen, länglichen, pultförmigen Dach wird bei *Bäzberg* die Frischluft seitlich angesaugt. Bei *Motto di Dentro* bildet das ganze Bauwerk einen dreieckförmigen Keil, der Schneerutschungen und Lawinen zu widerstehen vermag (Bild 12); die Frischluft wird unter einem weit auskragenden Schrägdach frontal von vorne angesaugt. In beiden Fällen ist der Abluftkanal von der eigentlichen Schachtmündung aus vertikal nach oben geführt und im Baukörper integriert.

Bei den Vertikalschächten *Hospental* und *Guspisbach* haben sich zwei getrennte Teile als geeigneter erwiesen. Bei *Hospental* konnte die Frischluftfassung mit einem pilzförmigen Dach, eingebettet in eine Geländesenkung am Reussufer, günstig disponiert werden (Bild 13). Die Abluftrückgabe befindet sich direkt über dem Schacht. Daran sind die Betriebsräume angebaut. Mit dieser Anordnung konnten die Abmessungen des aus dem Gelände hervorstehenden Teils auf ein vernünftiges Mass reduziert werden. Bei der Schachtmündung *Guspisbach*, wo zwar keine Platzprobleme, jedoch erhöhte Anforderun-

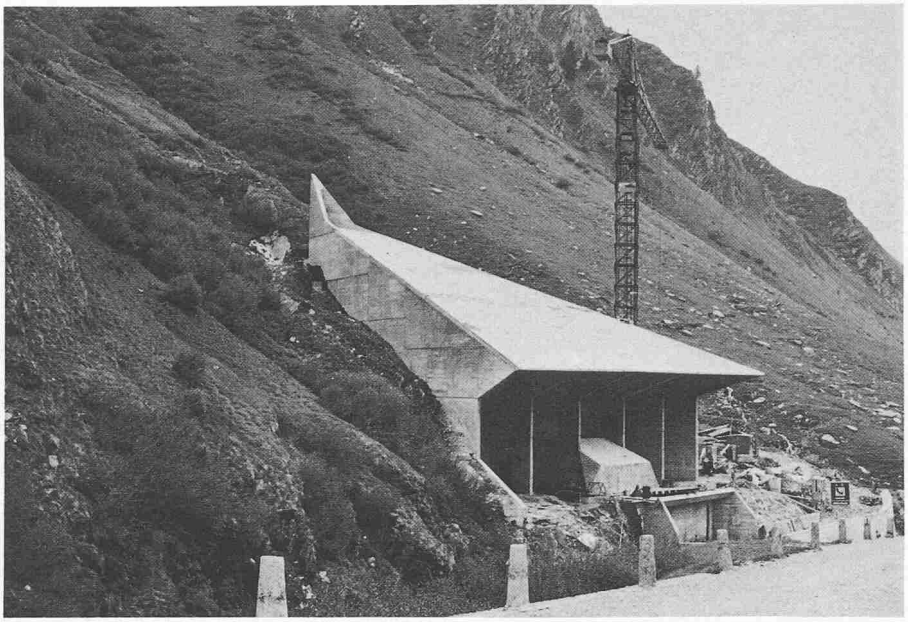

Bild 12. Aussenbauwerk Motto Di Dentro. Das Bauwerk ist als eigentlicher Lawinenkegel ausgebildet. Die Frischluft wird unter dem auskragenden Pultdach angesaugt, während die Abluft bei der oberen Spitze abgegeben wird. Unten rechts ist der Eingang zu den Betriebsräumen sichtbar

Figura 12 Opera esterna Motto di Dentro. L'opera è strutturata come un cono contro il pericolo delle valanghe. L'aria fresca viene aspirata sotto il tetto sporgente, mentre l'aria viziata viene espulsa presso la punta superiore. In basso, a destra, è visibile l'entrata dei locali di servizio

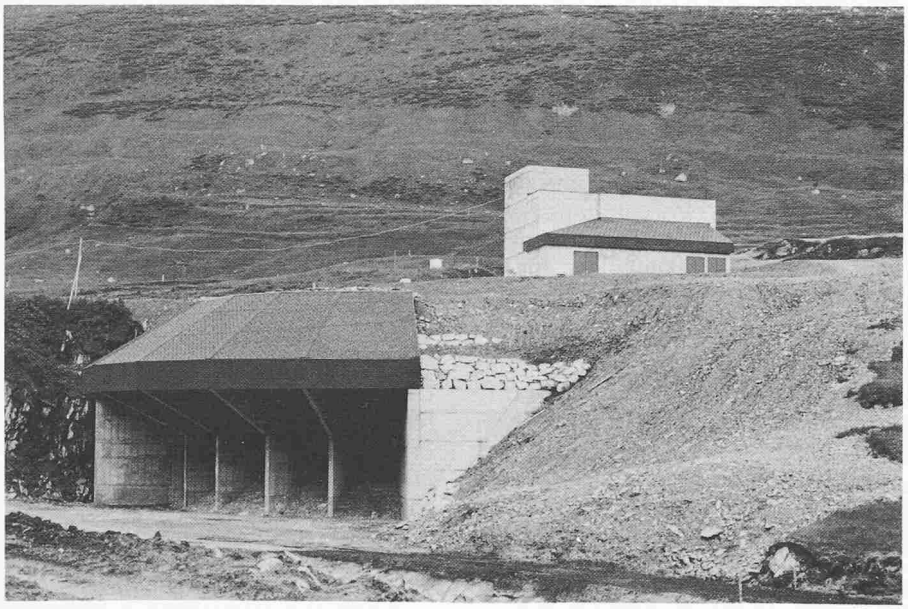

Bild 13. Aussenbauwerk Hospental
Figura 13 Opera esterna Hospental

gen bezüglich der Wintersicherheit zu beachten waren, ist die kreisrunde, pilzförmige Zuluftansaugung deutlich getrennt vom Betriebsteil, welcher gemeinsam mit dem Abluftkamin am westlichen Talhang anlehnt.

Diese Bauwerke im allgemeinen sowie einige interessante Einzelheiten bei den Schachtköpfen *Bäzberg* und *Guspisbach*, sind in einem separaten Beitrag näher dargestellt.

Ventilation

Luftmengen, Leistungen

Für die massgebende Verkehrsmenge (1800 PWE/Std.; Anteil Schwerverkehr 10 Prozent) und die zulässigen CO-Konzentrationen (150 ppm bei Spitzenverkehr; 100 ppm während der übrigen Zeit, 230 ppm bei stockendem Verkehr) ergeben sich bei den gegebenen äusseren Verhältnissen (Höhenlage, Steigung, mittleres Fahrzeuggewicht, Fahrgeschwindigkeit, Anteil bergauf- bzw. bergabfahrende Fahrzeuge) Zu- und Abluftmengen von:

- 145 m³/s km für die Nordrampe mit 14 Promille Steigung
- 122 m³/s km für die Nord- bzw. Südrampe mit 3 Promille Steigung.

Im Blick auf den späteren Richtungsverkehr nach der Inbetriebnahme der zweiten Röhre wurde auf Grund eines Beschlusses der Baukommission Gotthardtunnel die Kapazität der Frischluftventilatoren gegenüber den oben angegebenen spezifischen Luftmengen wie sie beim Betrieb der Tunnelröhre im Erstausbau mit Gegenverkehr benötigt werden, um 30 Prozent erhöht.

Die *total installierten Luftmengen* für den ganzen Tunnel betragen damit:

- etwa 2150 m³/s Zu- und Abluft für den normalen Spitzenverkehr,
- etwa 2800 m³/s Zuluft, inkl. Reserve von 30 Prozent.

Die entsprechende theoretische Lüfterleistung erreicht rund 22500 kW, wovon etwa 12800 kW auf die Frischluftventilatoren (inkl. 30 Prozent Luftreserve) und etwa 9700 kW auf die Abluftventilatoren entfallen. Im normalen Spitzenbetrieb (ohne Benützung der Reserve) ergibt sich ein Leistungsbedarf der Frischluftventilatoren von rund 5800 kW und eine Gesamtleistung von 15500 kW.

Lüftungsanlage

Jeder der neun Lüftungsabschnitte wird durch je einen Zuluft- und einen Abluftventilator ventiliert (Bild 14). Sie sind in den am Fuss der Lüftungsschächte und bei den Portalen angeordneten sechs Lüftungszentralen installiert. Wegen den unterschiedlichen Längen der Abschnitte sind die Luftmengen und die Leistungen der einzelnen Aggregate stark *variabel*; so beträgt die minimale Motorleistung des Abluftventilators in *Göschenen* etwa 400 kW, die maximale Leistungsaufnahme des Frischluftventilators *Motto di Dentro* rund 2700 kW.

Lüftungsanlage Sicherheitsstollen

Für die *unabhängige* Frischluftversorgung des Sicherheitsstollens und der Schutzräume werden drei Ventilatoren verwendet, die in einer der Lüftungszentrale *Guspisbach* angegliederten Kaverne untergebracht sind. Die Frischluft wird direkt aus dem Lüftungsschacht angesaugt, durch einen der drei Lüfter in den Sicherheitsstollen gedrückt und tritt durch die Schutzräume in den Verkehrsraum des Strassentunnels aus.

Für den Betrieb der Ventilatoren gilt folgendes *Konzept*:

- Der Ventilator für Normalbetrieb (Leistung 63 kW) fördert eine Luftmenge, die ausreichend ist, um im Sicherheitsstollen eine genügende Luftumwälzung (auch bei der vorgesehenen Benützung durch Betriebsfahrzeuge) zu gewährleisten und alle Schutzräume bei voller Belegung mit genügend Frischluft (min. 0,25 m³/s je Schutzraum) zu versehen. Die Do-

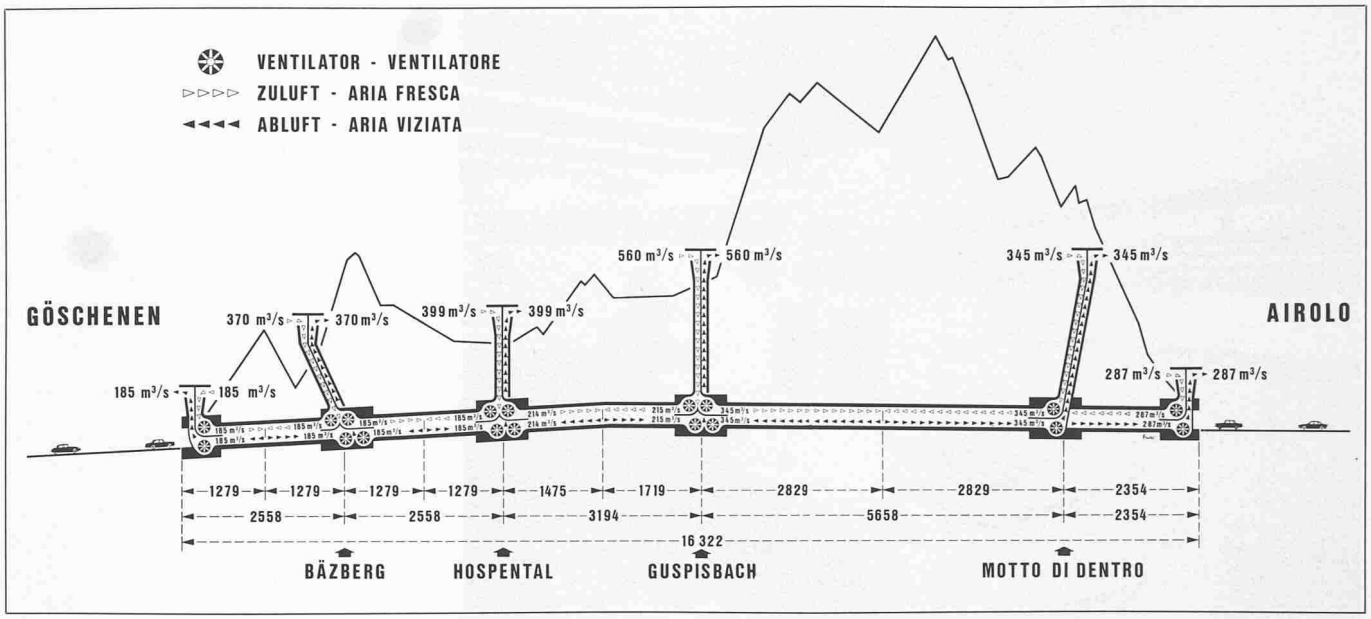

Bild 14. Ventilationsschema
Figura 14 Schema di ventilazione

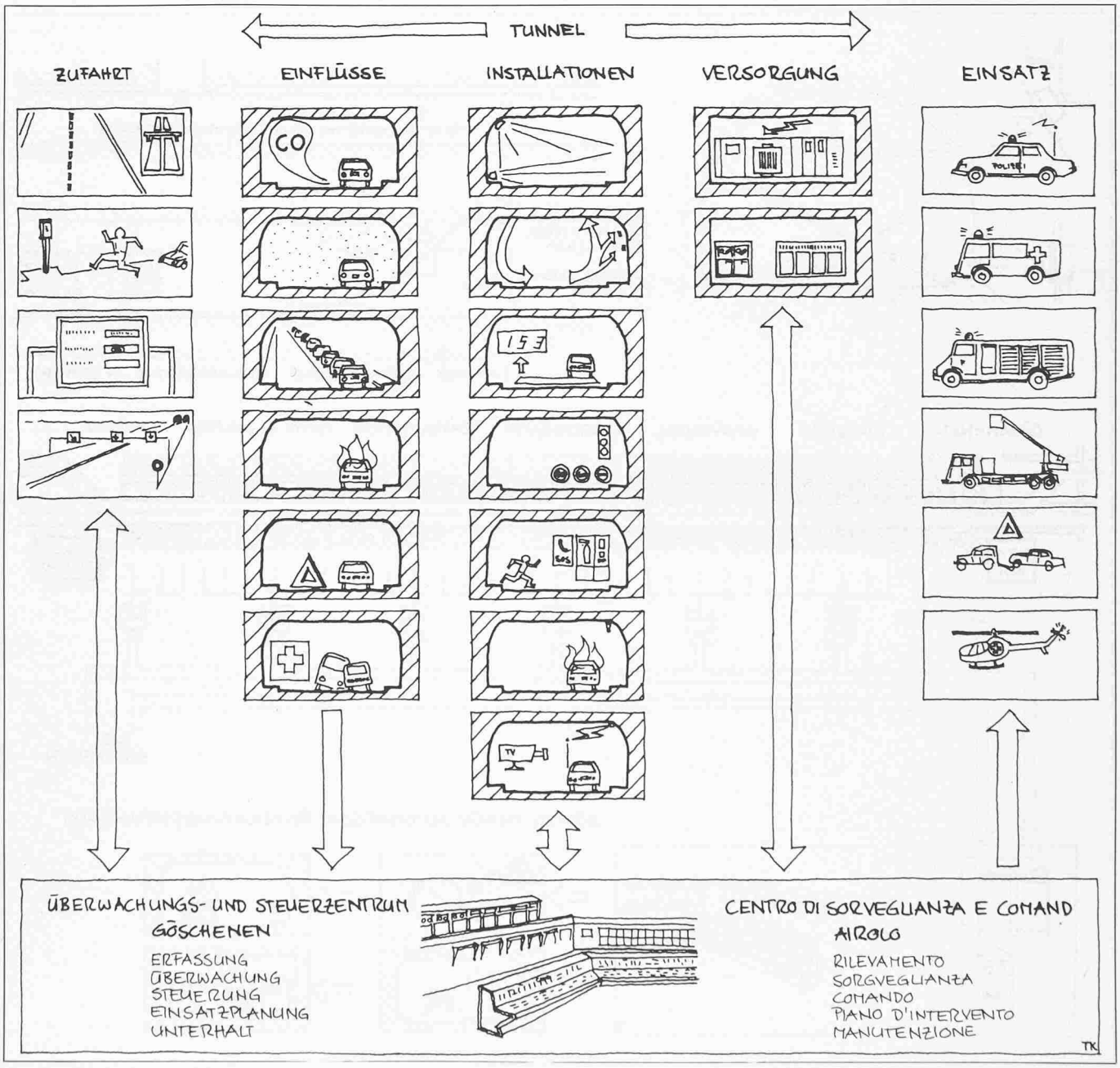

Bild 15. Überwachung und Steuerung (schematisch)
Figura 15 Sorveglianza e comando (schematico)

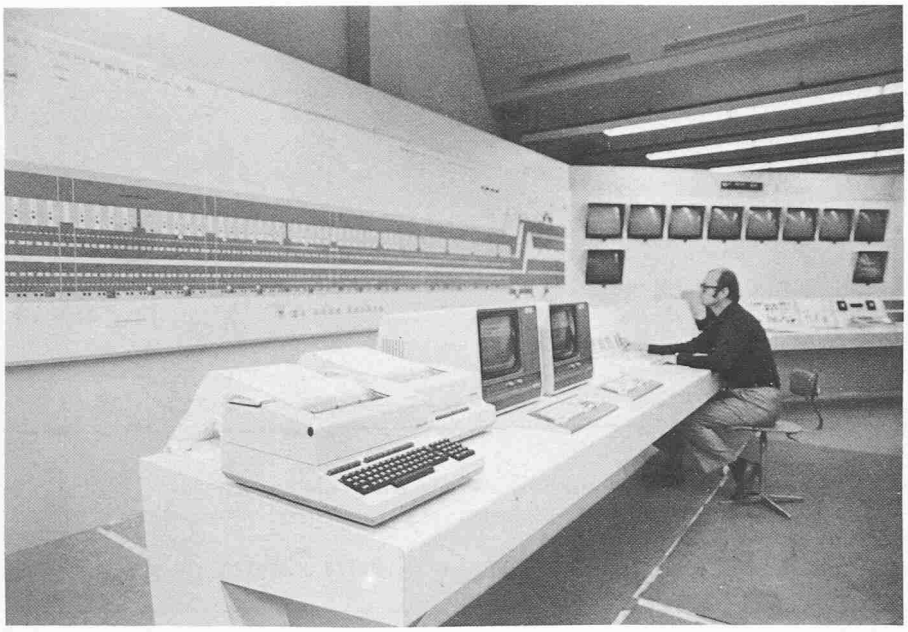

Bild 16. Überwachungs- und Bedienungseinrichtungen für den Fahrraum des Tunnels
Figura 16 Impianti di sorveglianza e comando per il vano di circolazione della galleria

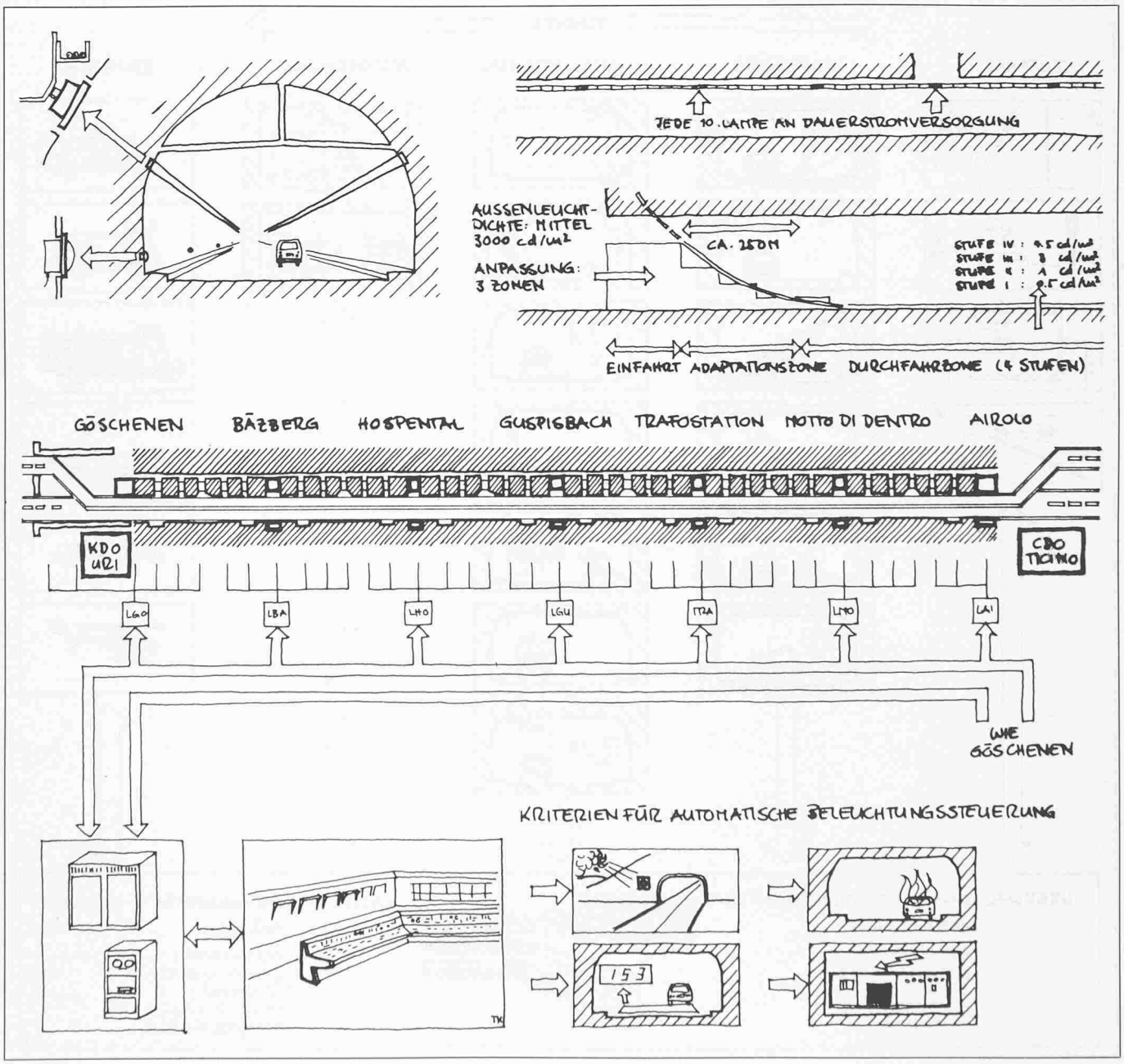

Bild 17. Beleuchtung (schematisch)
Figura 17 Illuminazione (schematico)

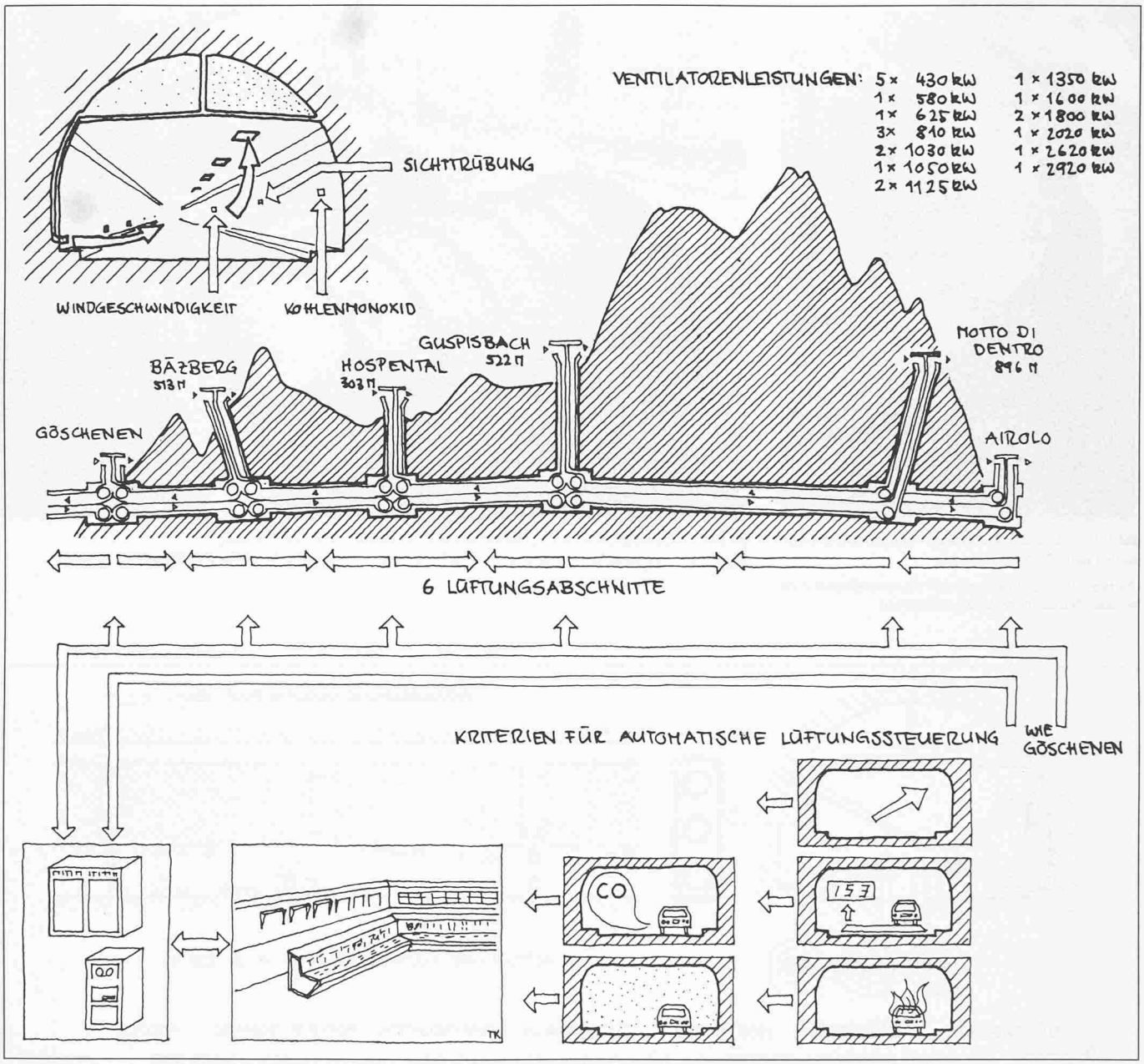

Bild 18. Tunnellüftung (schematisch)
Figura 18 Ventilazione galleria (schematico)

sierung der Luftmenge erfolgt mit einer, in den tunnelseitigen Abschlusswänden der Schutzräume angeordneten, kalibrierten Öffnung.

- In einem Brandfall wird ein stärkerer Ventilator (Leistung 390 kW) in Betrieb genommen, der sicherstellt, dass die Frischluft bei geöffneten Schutzraumtüren (Türen gegen den Strassentunnel) mit genügender Geschwindigkeit (etwa 1 m/s) in den Strassentunnel austritt, womit das Eindringen von Rauch und Brandgasen verhindert wird. Die Regulierung der Luftmenge (etwa 3 m³/s je Schutzraum; gleichzeitig bis zehn Türen geöffnet) geschieht in diesem Fall durch passend bemessene Öffnungen in der Abschlusswand der Schutzräume gegen den Sicherheitsstollen.
- Um im unwahrscheinlichen Fall eines gleichzeitigen Ausfallens der Stromversorgung durch die Netze Nord und Süd die Frischluftversorgung des Sicherheitsstollens und der Schutzräume in reduziertem Umfang (min. 0,17 m³/s je Schutzraum) aufrechterhalten zu können, steht ein Not-Ventilator (Leistung 15 kW) zur Verfügung, der mit Gleichstrom angetrieben wird und direkt an Batterien angeschlossen ist.

Technische Systeme

Die künftigen Benützer des Gotthard-Strassentunnels werden bei ihrer Fahrt durch den Tunnel vor allem von seiner Länge und den erstellten Bauwerken beeindruckt sein. Die für sie *unsichtbaren* Leistungen von der Planung bis zur Realisierung, damit die Durchfahrt mühelos und mit grösstmöglicher Sicherheit erfolgen kann, sind selbstverständlich und können vergessen werden. Für die *Überwachung des Verkehrsgeschehens*, die *Einhaltung der Grenzwerte bezüglich der zulässigen Schadstoffkonzentrationen im Fahrraum* und die *Einleitung von Hilfeleistungen bei Pannen und Unglücksfällen* sind technische Einrich-

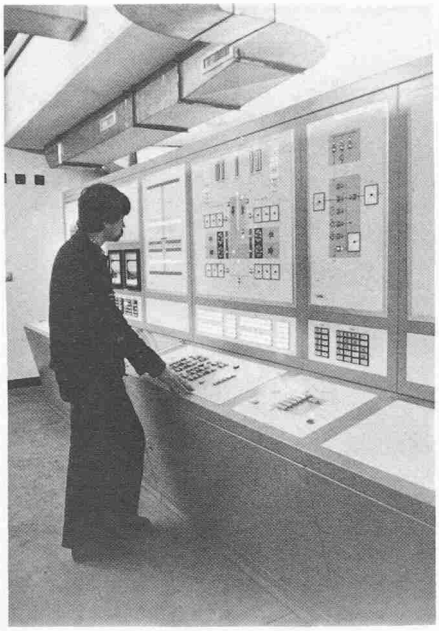

Bild 19. Zentrale Bedienungs- und Überwachungsstellen einer Lüftungszentrale

Figura 19 Posti centralizzati di sorveglianza e comando di una centrale di ventilazione

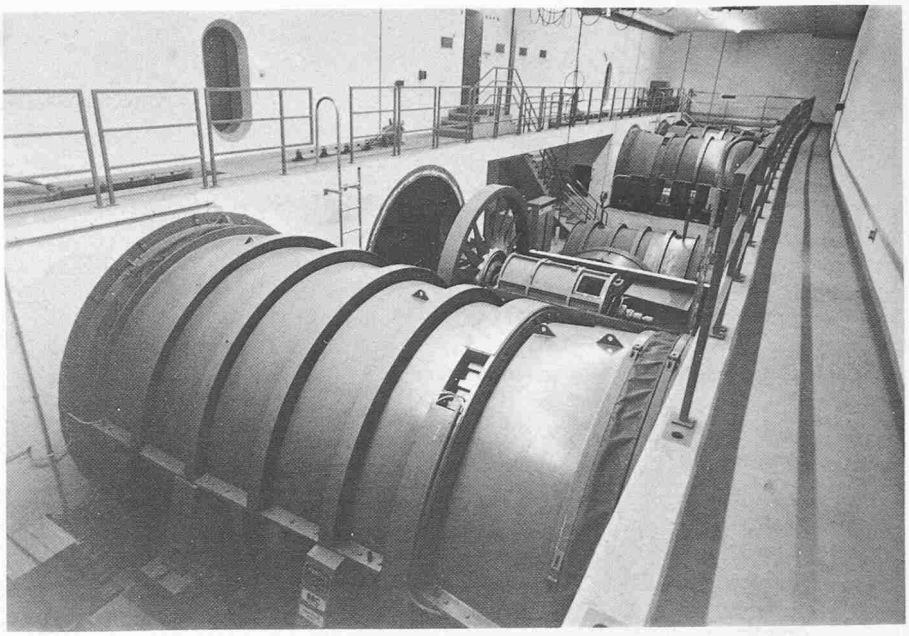

Bild 20. Lüftungszentrale Göschenen mit den Ventilatoren für den Vortunnel
Figura 20 Centrale di ventilazione di Göschenen con i ventilatori della galleria artificiale

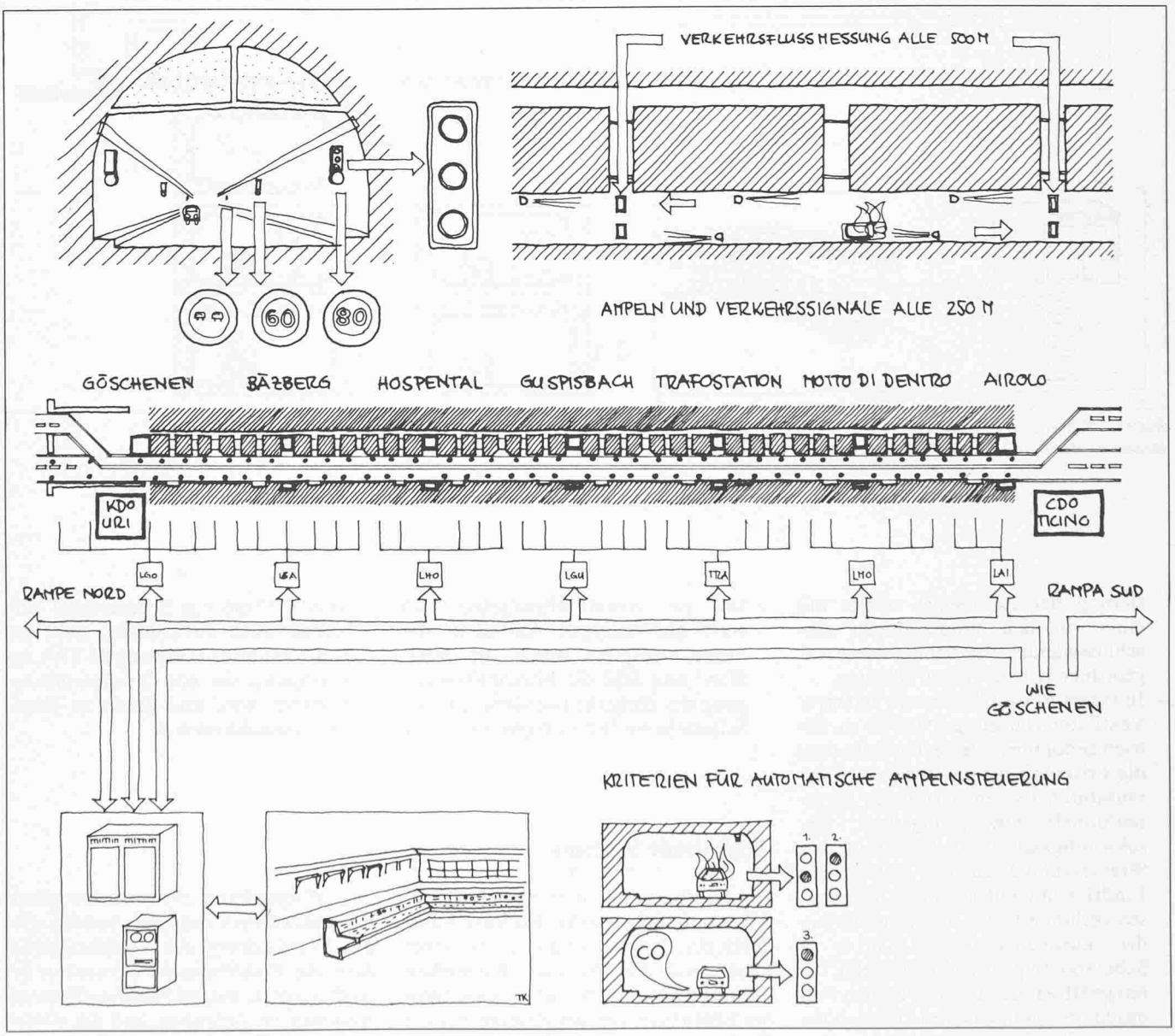

Bild 21. Verkehrssteuerung (schematisch)
Figura 21 Comando del traffico (schematico)

tungen installiert, die beim Befahren des Tunnels kaum wahrgenommen werden. In der Folge werden die wesentlichsten technischen Systeme in einer allgemein verständlichen Form dargestellt und erläutert. In den Ausführungen des Speziellen Teils sind einige Probleme aus der Planungs- und Realisierungsphase herausgegriffen, die einen kleinen Einblick in den Aufgabenbereich im Zusammenhang mit den technischen Systemen gestatten.

Überwachung und Steuerung im allgemeinen

Bild 15 zeigt den durch das Tunnelpersonal zu verarbeitenden Informationsumfang. Zusammengefasst sind das:

- die *Erfassung* und *Beurteilung* des Verkehrs auf den Zufahrten und die Erfassung des Verkehrsflusses im Tunnel mit den Meldungen und Notrufen der Verkehrsteilnehmer.
- die *Überwachung* der Einflüsse durch den Verkehr, im besonderen derer im Fahrraum der 17 km langen Tunnelstrecke sowie des Anlagezustandes mit den Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit.
- die *Einsatzplanung für die Hilfeleistungen* durch den Polizei- und den Betriebsdienst bei allfälligen Pannen und Unfällen sowie in Katastrophensituationen.
- der *Unterhalt und Betrieb* der baulichen, elektrischen und mechanischen Ausrüstungen, die für den Strassentunnel dieser Länge notwendig sind. Die Massnahmen sind aber weitgehend mitbestimmend für die Sicherheit und sind bei der Planung und Ausführung berücksichtigt.

Bild 16 zeigt die Überwachungs- und Bedienungseinrichtungen für den Fahrraum des Strassentunnels.

Tunnelbeleuchtung

Die Beleuchtung hat die Aufgabe, dem Fahrzeuglenker Sichtverhältnisse zu schaffen, die ein sicheres Befahren des Tunnels gewährleisten (Bild 17). Auf der *Ostseite* ist ein *durchgehendes Lichtband* installiert, das bezüglich Beleuchtungsniveau sowohl nationalen wie internationalen Leitsätzen genügt. Das Lichtband bietet ausserdem die Möglichkeit, eine Anpassung an verkehrsarme Zeiten vorzunehmen, indem die Beleuchtung reduziert wird und damit Energie eingespart werden kann.

In diesem Lichtband ist jede zehnte Leuchte an ein separates Netz der Dauerstromversorgung angeschlossen, so dass bei einem Ausfall des Normalnetzes ein Zehntel der Beleuchtung dauernd eingeschaltet bleibt.

Die etwa 50 cm über der Fahrbahn, in Abständen von etwa 50 m, angebrachten Markierungslampen der Brandnotbeleuchtung bei den SOS-Stationen,

Bild 22. Signalampel mit Geschwindigkeitsanzeige im Tunnel
Figura 22 Segnale luminoso di limitazione della velocità in galleria

Ausstellnischen, Schutzräumen und Hydranten sind direkt am Batterienetz angeschlossen und werden im Brandfall und bei Netzausfall automatisch eingeschaltet.

Wie bei jedem längeren Strassentunnel sind in den Tunneleinfahrten *zusätzliche Beleuchtungen* vorgesehen, die den *sich verändernden Sehbedingungen* durch Anpassung der künstlichen Beleuchtung an die Aussenhelligkeit Rechnung tragen. Aus den Kommandozentralen kann die Beleuchtung, je nach Situation bei Unfällen oder Unterhaltsarbeiten, *sektorweise ferngesteuert* werden.

- Anzahl montierte Leuchten FL 40 W etwa 14000 Stück
- Max. Leistungsaufnahme etwa 1000 kW
- Energieaufwand jährlich etwa 4 Mio kWh

Tunnellüftung

Die Tunnellüftung ist die *massgebendste Anlage für die Sicherheit und Gesundheit der Verkehrsteilnehmer und des Tunnelpersonals* (Bild 18). Die bei der Verbrennung der Treibstoffe anfallenden Abgase, wie Kohlenmonoxid (CO), Schwefelverbindungen und Stickstoffoxide müssen aus dem Verkehrsraum abgeführt bzw. so verdünnt werden, dass Gesundheit und Leben der Benützer in keiner Situation gefährdet wird.

Ausser der zu gewährenden Sicherheit ist im besonderen für die leistungsstarke Ventilation eine *wirtschaftliche* Betriebsweise wichtig. Die für eine maximale Verkehrsmenge von 1800 Fahrzeuge ausgelegte Lüftung nützt bei schwachem Verkehr die *Kaminwirkung der Schächte* so aus, dass mit geringstem Energieaufwand ventiliert werden kann.

Eine besondere Stellung nimmt der *Brandfall* ein. Spezielle Brandprogramme sorgen dafür, dass die sich dabei bildenden Gase und Hitzeentwicklungen auf einen möglichst engen Raum begrenzt bleiben.

Die in den sechs Lüftungszentralen eingebauten 22 Frischluft- und Abluftventilatoren haben kontinuierlich verstellbare Flügel und Elektroantriebe mit zwei Drehzahlen. Die Regelung der notwendigen Luftmenge erfolgt durch die automatisch wirkenden Schalt- und Steuereinrichtungen in den Lüftungszentralen. Für den wirtschaftlichen Betrieb der Lüftung des gesamten Tunnels ist ein *übergeordneter Lüftungsrechner* eingesetzt.

Für den 17 km langen Tunnel sind Ventilatoren mit Motorenleistungen von 490 bis 2920 kW installiert. Die maximale Leistung beträgt total 24255 kW. Bild 19 zeigt die zentralen Bedienungs- und Überwachungsstellen einer Lüftungszentrale, Bild 20 die Lüftungszentrale Göschenen mit den Ventilatoren für den Vortunnel.

Verkehrssteuerung

Beidseits des Gotthards führen richtungsgetrennte Autobahnen zum Tunnel. Der Tunnel selbst muss im Gegenverkehr befahren werden (Bild 21). Es versteht sich, dass deshalb bereits vor

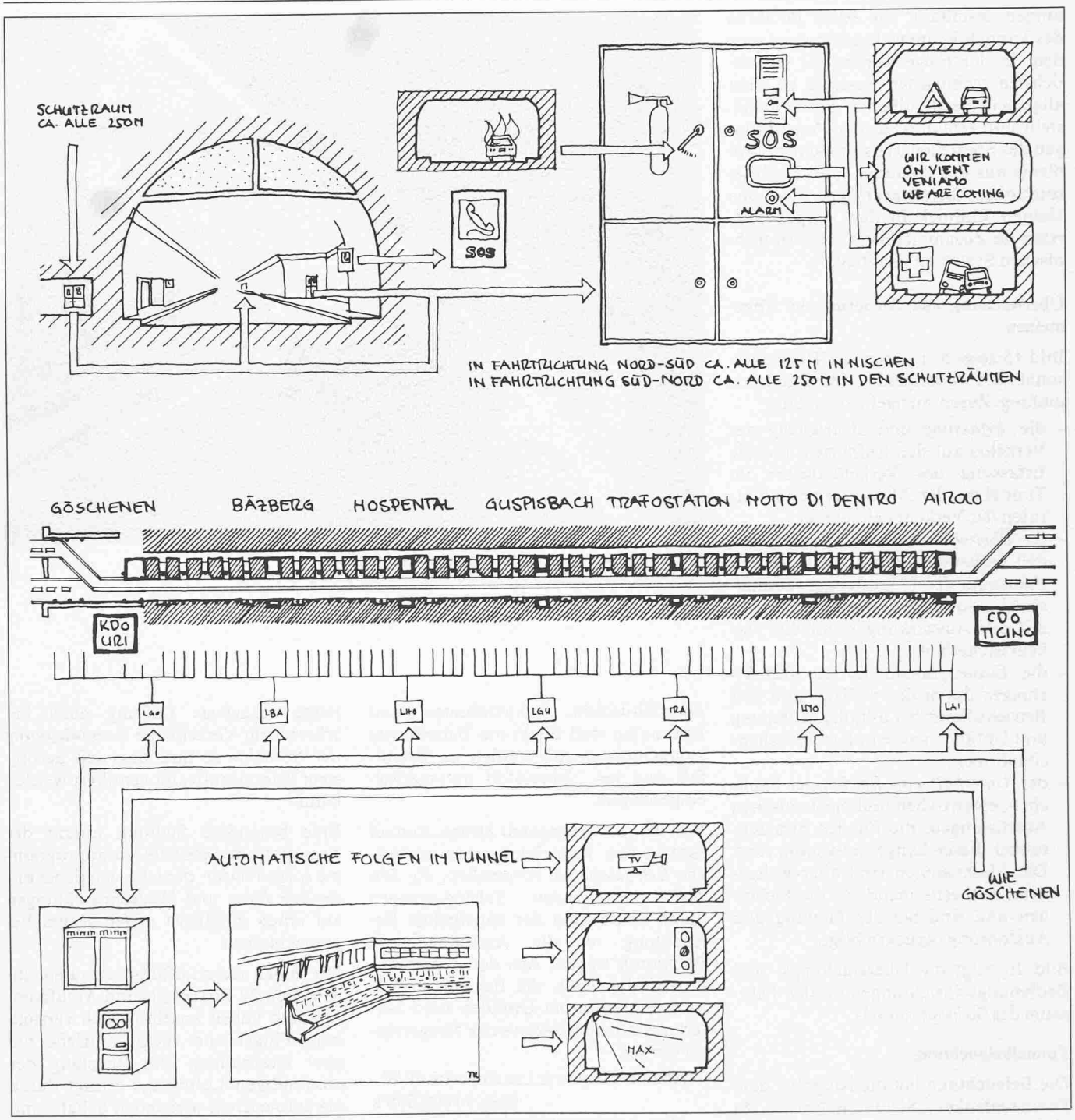

Bild 23. Alarmanlagen (schematisch)
Figura 23 Impianti di allarme (schematico)

Bild 24. Alarmkasten in Schutzraum
Figura 24 Armadio d'allarme in un rifugio

den Tunneleinfahrten umfangreiche *Signalanlagen* notwendig sind. Diese Signalisierung dient der *Spurenzuordnung für die Einfahrt* in den Tunnel und der *Sperrung der Einfahrt in den Tunnel*, wenn eine Durchfahrt nicht möglich ist (z. B. bei Unglücksfällen usw.)

Im Tunnel sind alle 250 m Verkehrsampeln rot-gelb-grün und Geschwindigkeitssignale angeordnet. Damit wird ein raschmöglichster Eingriff in den Verkehrsfluss ermöglicht.

Die Steuerung der ganzen Signalisierung erfolgt mit vorbestimmten Programmen aus dem Verkehrsrechner. Mit Ausnahme des Brandfalles und des CO-Alarmes muss der Eingriff in die Signalanlage vom Beamten, auf Grund der Meldungen und Anzeigen sowie seiner Beobachtungen auf dem Fernsehschirm, im Kommandoraum ausgelöst werden. Im Brandfall und bei max. zulässiger CO-Konzentration werden die notwendigen Signalzustände automatisch eingeleitet. Bild 22 zeigt eine Signalampel mit Geschwindigkeitsanzeige im Tunnel.

Alarmkasten

Die Alarmkasten bzw. SOS-Stationen dienen dem Verkehrsteilnehmer zur selbständigen Meldung von Notsituationen im Tunnel (Bild 23). Die Statio-

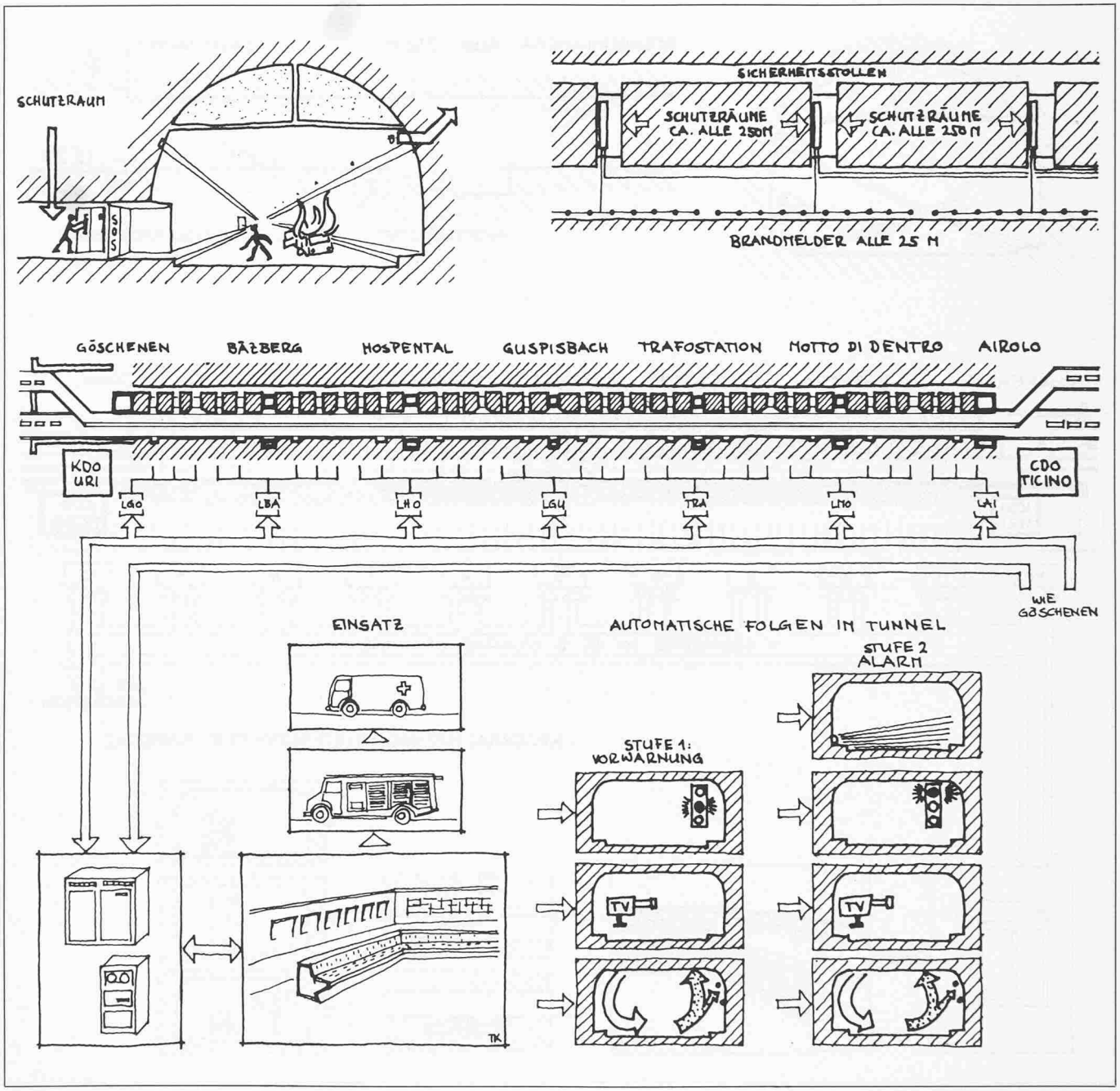

Bild 25. Brandmeldeanlage (schematisch)
Figura 25 Impianto detezione incendio (schematico)

nen sind alle 125 m auf der Westseite in Schutznischen und auf der Ostseite Fahrrichtung Süd–Nord alle 250 m in den Schutzräumen angeordnet. Die Kasten enthalten:

- Ein Notruftelefon analog den Notrufsäulen auf den offenen Strecken der Nationalstrassen;
- Eine SOS-Nottaste, falls eine Verständigung mit dem Nottelefon nicht möglich ist,
- Zwei Handfeuerlöscher für die Benützung der Verkehrsteilnehmer im Brandfall.

Die Standorte der roten Alarmkasten sind durch SOS-Hinweissignale markiert.

Jede Betätigung am Alarmkasten, wie das Herausnehmen der Handfeuerlöscher, die Betätigung der SOS-Taste und der Gebrauch des Nottelefons löst in den Kommandozentralen Alarm aus. Gleichzeitig wird der genaue Standort und die Art der Meldung angezeigt; zusätzlich wird der Gefahrenbereich in den Monitoren der Fernsehanlage ersichtlich. Im Fahrraum wird in diesem Abschnitt die Signalanlage zur Warnung auf Gelb-blinken geschaltet. Weitere mögliche Massnahmen werden entsprechend den Beobachtungen und Meldungen aus dem Kommandoraum eingeleitet. Bild 24 zeigt einen Alarmkasten im Schutzraum.

Brandmeldeanlage

Um einen Brand in der Tunnelröhre möglichst schnell zu erkennen und automatisch die ersten Massnahmen einzuleiten, ist eine Brandmeldeanlage installiert, die in der Lage ist, Brände, grösser als z. B. 20 Liter Benzin, sicher zu erfassen (Bild 25).

Brände in einem Tunnel können verheerende Auswirkungen haben. Das Ansprechen dieser Anlage löst automatisch Sofortmassnahmen aus, um die Auswirkungen zu begrenzen und Folgeunfälle zu verhindern, aber auch um das Tunnelpersonal für den raschmöglichsten Einsatz zu mobilisieren.

Die *Brandmeldung* bewirkt:

- Optische und akustische Alarmgebung im Kommandoraum und Werkhofbereich,
- Anzeige des Standortes der Brandmeldung auf der Anzeigetafel, Ein-

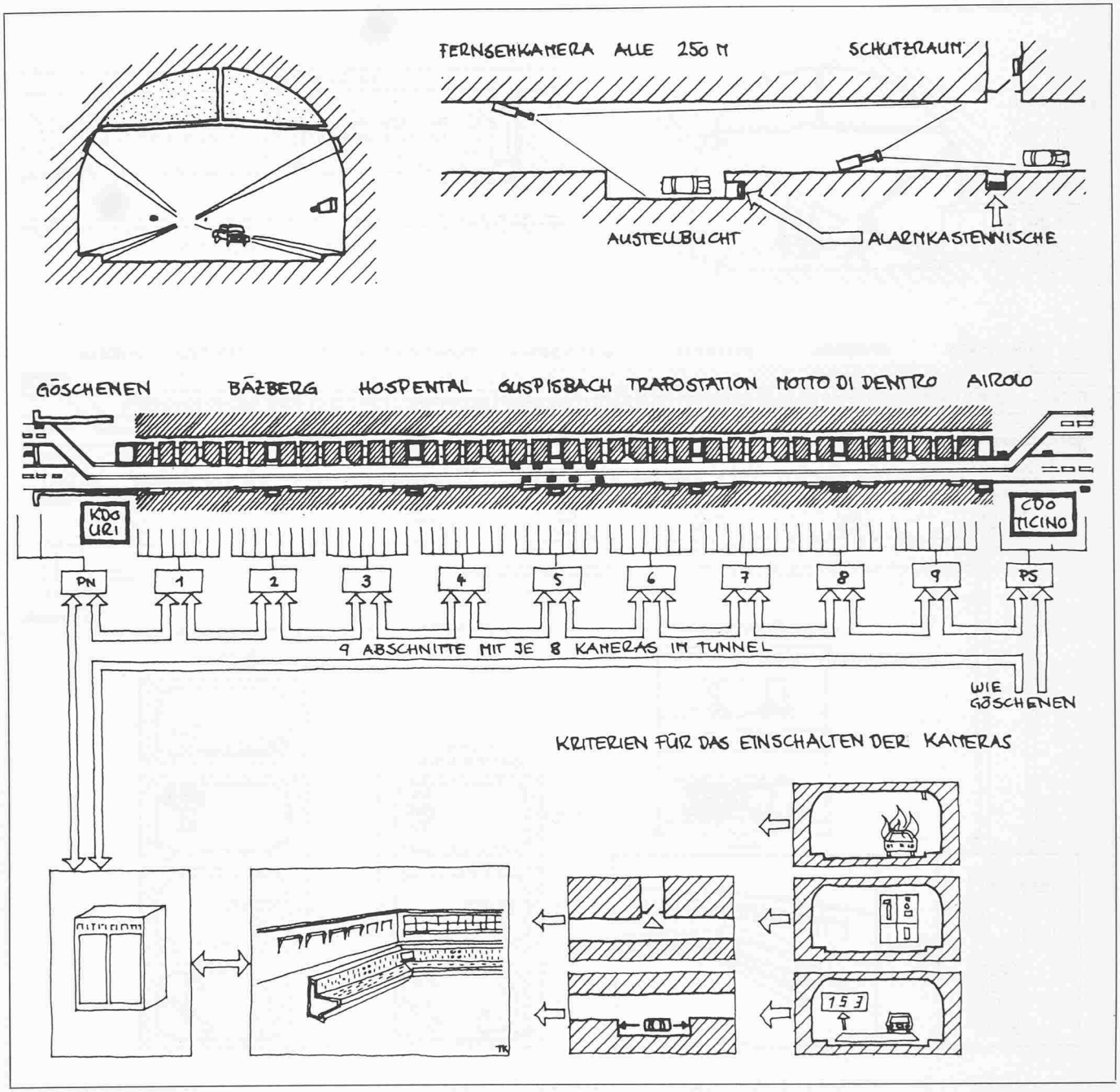

Bild 26. Fernsehanlage (schematisch)
Figura 26 Impianto televisivo (schematico)

schalten der Fernsehanlage auf den Gefahrenbereich,
- Automatischer Eingriff in die Ventilation, die Verkehrssignalanlage, die Brandnotbeleuchtung.

Im Zusammenhang mit dem Brand im Tunnel sind die *Schutzräume* von Bedeutung. Sie sind in Abständen von 250 m angeordnet. Sie werden über den Sicherheitsstollen dauernd mit Frischluft versorgt. Im Notfall bieten diese Räume *Schutz gegen Gase und Hitzeeinwirkungen.* Das Öffnen der Türen wird im Kommandoraum angezeigt, so dass eventuelle Hilfsmassnahmen sofort eingeleitet werden können.

Fernsehanlage

Für die Überwachung des Fahrraumes ist eine Fernsehanlage installiert, die es gestattet, mit den etwa alle 250 m montierten Kameras die ganze Strecke lükkenlos zu beobachten (Bild 26). Ein unangenehmer, dauernder Aufenthalt von Personal im Fahrraum ist somit nicht notwendigg und durch die Möglichkeit der sofortigen Beurteilung der Situation aus dem Kommandoraum können in kürzester Zeit die richtigen Massnahmen und Einsätze eingeleitet werden. Mit dem Eintreffen von Meldungen und Alarmen schaltet die Anlage automatisch auf den möglichen Gefahrenbereich. Die Bildinformationen werden in die Kommandozentralen übertragen und erlauben, auf den Sichtgeräten eine Strecke von etwa 2 km Länge zu überblicken. Mit der manuellen oder automatischen Weiterschaltung kann der ganze Tunnel erfasst werden.

Total sind 83 Kameras montiert. In jedem Kommandoraum sind zehn Monitoren für die Bildinformation eingebaut, wobei die Bedienung und Bildwiedergabe in jeder Kommandozentrale getrennt erfolgen kann.

Funk- und Radioanlagen im Tunnel

Für die Führung der Dienstfahrzeuge bei eventuell notwendigen Einsätzen aus beiden Kantonen Uri und Tessin ist

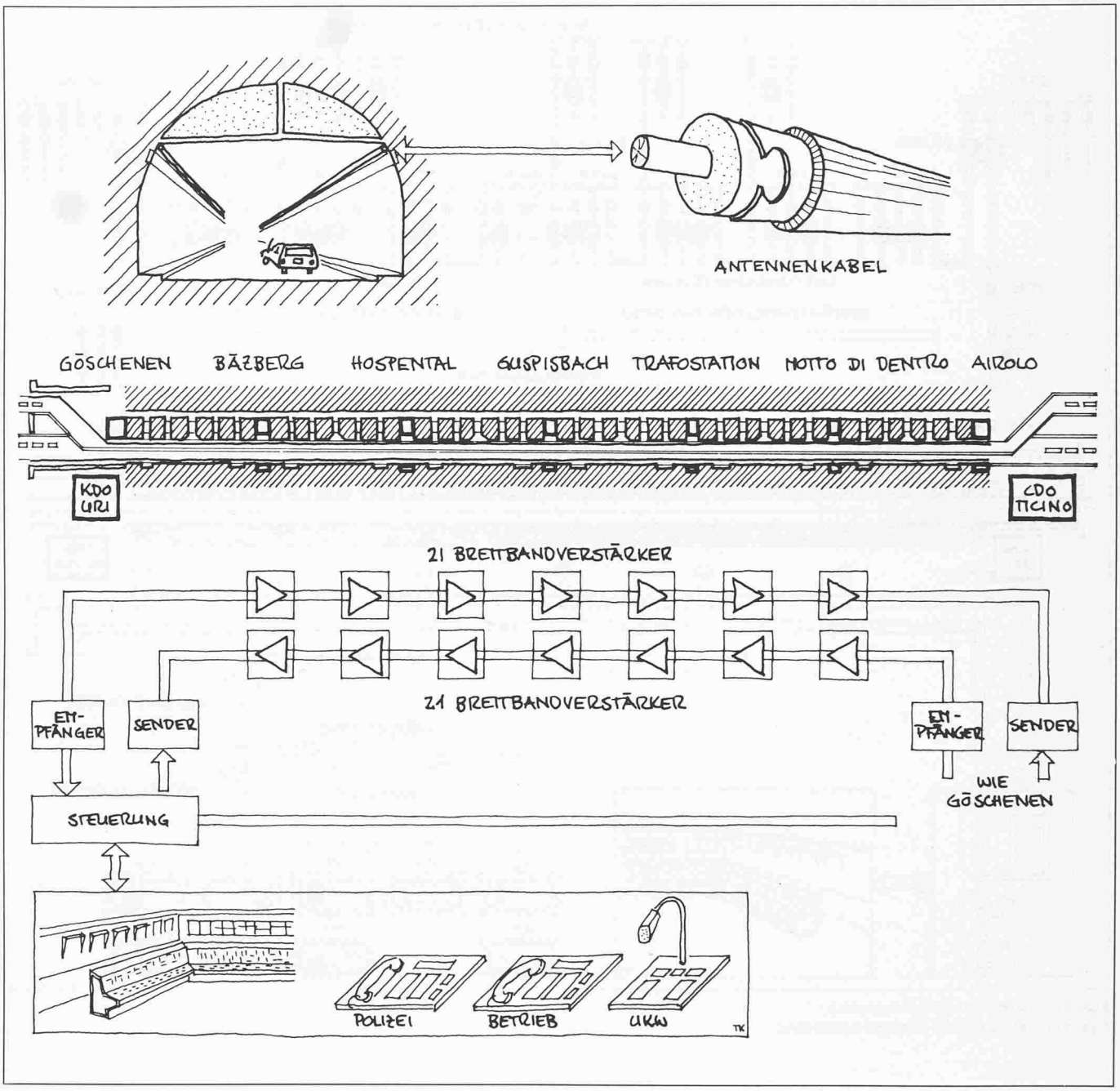

Bild 27. Funkanlagen (schematisch)
Figura 27 Impianto radio (schematico)

im Tunnel eine Funkanlage installiert (Bild 27). Die *im Fahrraum montierten Antennenkabel* gestatten den Empfang und die Abstrahlung *aller in beiden Kantonen bereits vorhandenen Frequenzen für den Polizei- und Strassenunterhaltsdienst.* Im heutigen Ausbau werden damit bereits acht Frequenzen belegt. Über die gleiche Antennenkabelausrüstung werden die *UKW-Programme Uri und Tessin* abgestrahlt, so dass der *Empfang mit den üblichen Autoradios auch im Tunnel gewährleistet* ist. Wichtige Durchsagen, die der Sicherheit im Tunnel dienen, können durch Unterbrechung des UKW-Programmes den Automobilisten mit eingeschalteten Radios direkt übermittelt werden.

Das *Nationale Auto-Telefon-System* der PTT wird ebenfalls über die gleiche Ausrüstung erreicht.

Die Verbindungen von der Einsatzstelle zu den Fahrzeugen und zwischen den Fahrzeugen sind gerade im Katastrophenfall von entscheidender Bedeutung. Die Funkanlage ist so ausgelegt, dass auch bei einem Unterbruch der Antennenkabel, z. B. im Brandfall, die Verbindungen sichergestellt bleiben.

Energieversorgung

Für die Benützer des Tunnels steht die Sicherheit im direkten Zusammenhang mit einer *gesicherten Stromversorgung.* Die Anspeisung erfolgt aus den beiden 50-kV-Netzen der Talversorgungen Uri und Tessin mit möglichen direkten Einspeisungen aus den nahe gelegenen Kraftwerken *Göschenen* und *Lucendro* (Bild 28). Im normalen Betrieb versorgen die beiden Netze den Tunnel vollständig. Beim Ausfall des einen Netzes übernimmt das andere die Versorgung des ganzen Tunnels, wobei es in der Lage ist, bis zu 75 Prozent der max. Auslegung, d. h. etwa 1400 Fahrzeuge je Stunde, sicherzustellen.

Ausser der vorerwähnten Normalversorgung sind in jeder Lüftungs- und in den beiden Kommandozentralen *Dauerstromversorgungen* installiert. Jede zehnte Leuchte des Lichtbandes und die Überwachungs- und Alarmeinrichtungen sind dauernd an diese von

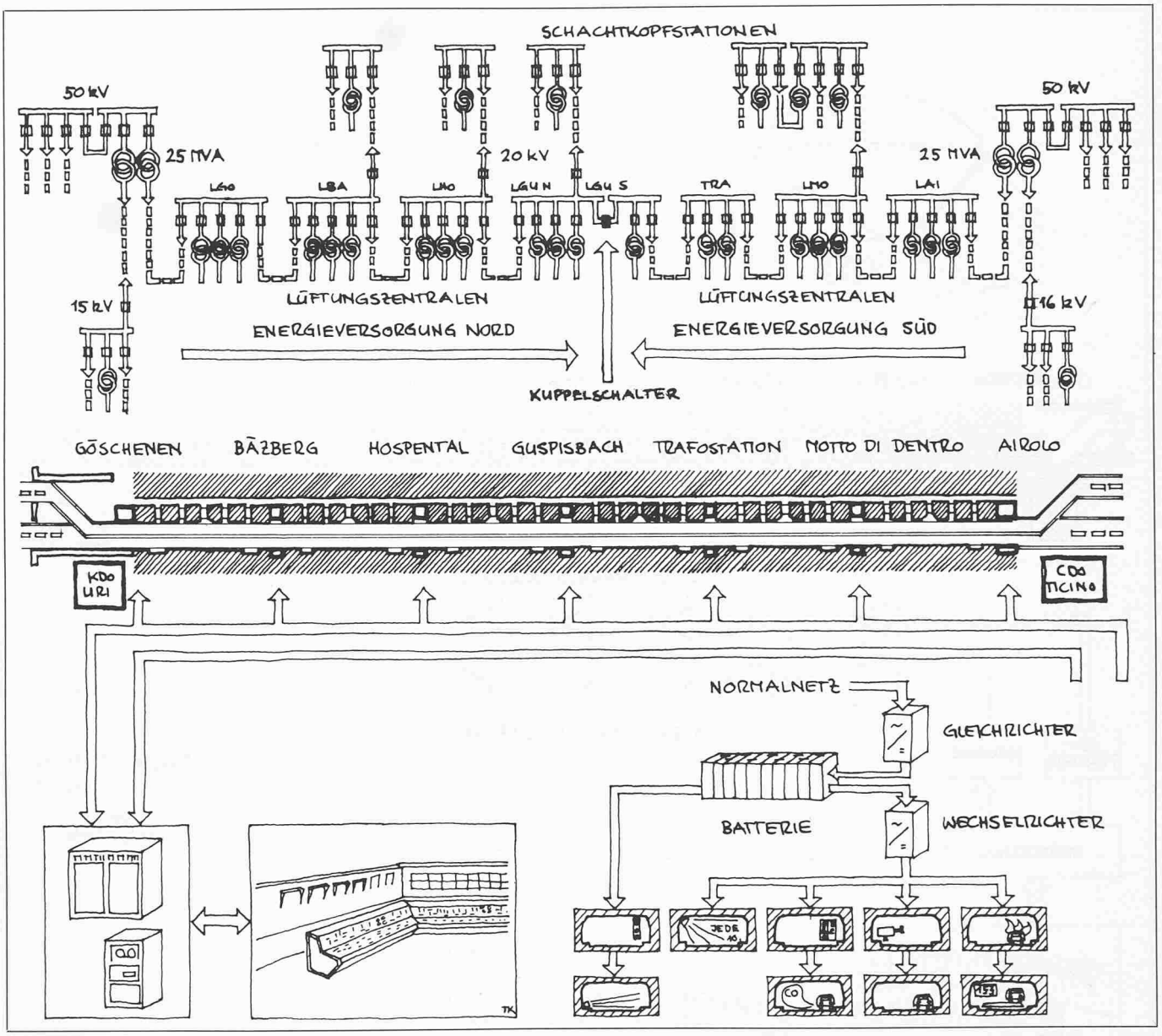

Bild 28. Energieversorgung (schematisch)
Figura 28 Alimentazione d'energia (schematico)

Netzausfällen oder Umschaltungen unabhängige Stromversorgung angeschlossen.

Die max. Leistung für die ganze Tunnelausrüstung beträgt ungefähr 29000 kW, davon entfallen

etwa 86 Prozent auf die Lüftung,
etwa 4 Prozent auf die Beleuchtung,
etwa 10 Prozent auf die Hilfsbetriebe.

Der *Energieaufwand wird im Jahr etwa 14,5 Mio kWh betragen*, davon entfallen

etwa 6,5 Mio kWh auf die Lüftung und die Sicherheitsstollenventilation,
etwa 4 Mio kWh für die Beleuchtung,
etwa 4 Mio kWh für die Hilfsbetriebe.

Fernwirk- und Prozessrechneranlage

Die betriebstechnischen Anlagen, wie Stromversorgung, Beleuchtung, Belüftung, Verteilungen und Alarmkasten, müssen zur Sicherstellung eines geordneten und sicheren Betriebes fernüberwacht und ferngesteuert werden (Bild 29).

Im Falle von *Störungen* oder *Eingriffen* werden die Alarme bzw. Steuerbefehle dem Unterhalts- und Polizeipersonal über ein Fernwirksystem übermittelt, so dass der Anlagezustand in beiden Kommandoräumen jederzeit ersichtlich ist. Aus den elf Unterstationen im Tunnel müssen etwa 4000 Kriterien in jede Kommandozentrale übertragen werden. In den *Fernwirkkopfstationen* werden diese Informationen verarbeitet und ermöglichen somit:

- die Zustandsanzeige der Objekte und Anlagen auf den Rückmeldetafeln,
- die Fernsteuerung aller Anlagen und Übertragung der Regulierbefehle und Grenzwerte,
- die Ausgabe von Alarm-, Betriebs- und Statistik-Protokollen in *deutscher und italienischer Sprache.*

Das System schliesst einen *Prozessrechner für die übergeordnete Führung der Lüftung* ein. Mit den gespeicherten aktuellen Daten wird im Normalfall nach wirtschaftlichen Kriterien belüftet. Alle die Sicherheit beeinträchtigenden Einflüsse lösen sofort die entsprechenden Notprogramme aus.

Das ganze System ist so aufgebaut, dass bei einem möglichen Ausfall des Prozessrechners oder eines Teilsystems der Fernwirkanlage die Sicherheit gewährleistet bleibt.

Kommandoanlagen

Die Kommandozentralen auf der Nord- und Südseite des Tunnels enthalten alle Einrichtungen, die zur zentra-

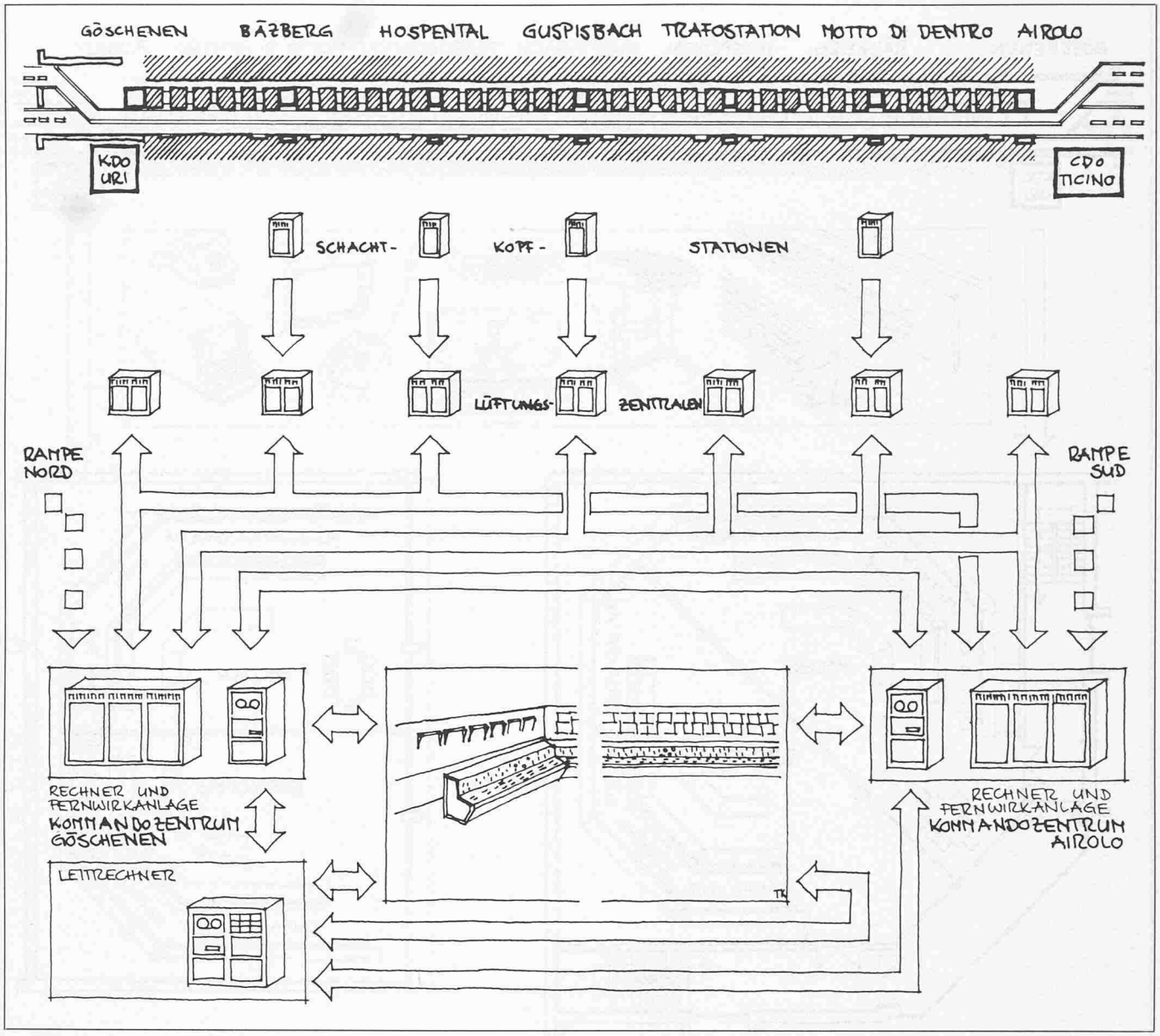

Bild 29. Fernwirk- und Prozessrechneranlage (schematisch)
Figura 29 Impianto telecomando e calcolatore di processo (schematico)

len Überwachung und Leitung des Tunnelbetriebes notwendig sind (Bild 30). In *Göschenen* bzw. *Airolo* werden die *Rampenstrecken* von *Amsteg* bzw. von *Varenzo* bis zur jeweiligen Kantonsgrenze getrennt überwacht. Der Tunnel wird als Einheit in kollegialer Zusammenarbeit betrieben, wobei die Führung abwechslungsweise bei einem Kanton liegt.

Die Organisation ist aufgeteilt in den *Polizeidienst* für die Aufgaben im Zusammenhang mit dem Verkehr und in den *Betriebsdienst* für die Aufgaben bezüglich Wartung, Unterhalt und Betrieb des Bauwerkes und der ganzen technischen Ausrüstung.

Die *verkehrstechnische Überwachung erfordert die Anwesenheit der Polizei rund um die Uhr.* Ihre wesentlichsten Aufgaben sind:

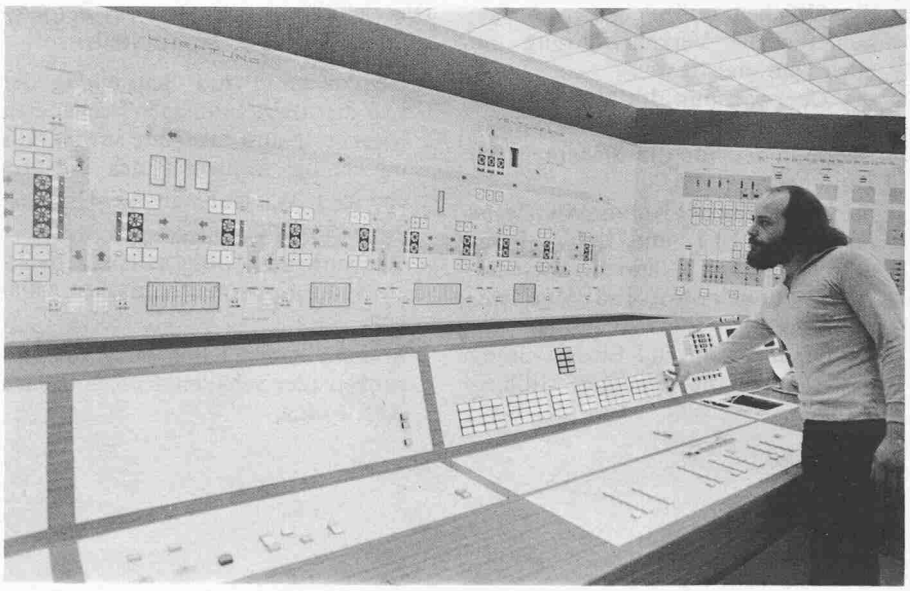

Bild 31. Anzeigetafel und Bedienungspult in der Kommandozentrale
Figura 31 Panello sinottico e quadro di comando nella centrale di comando

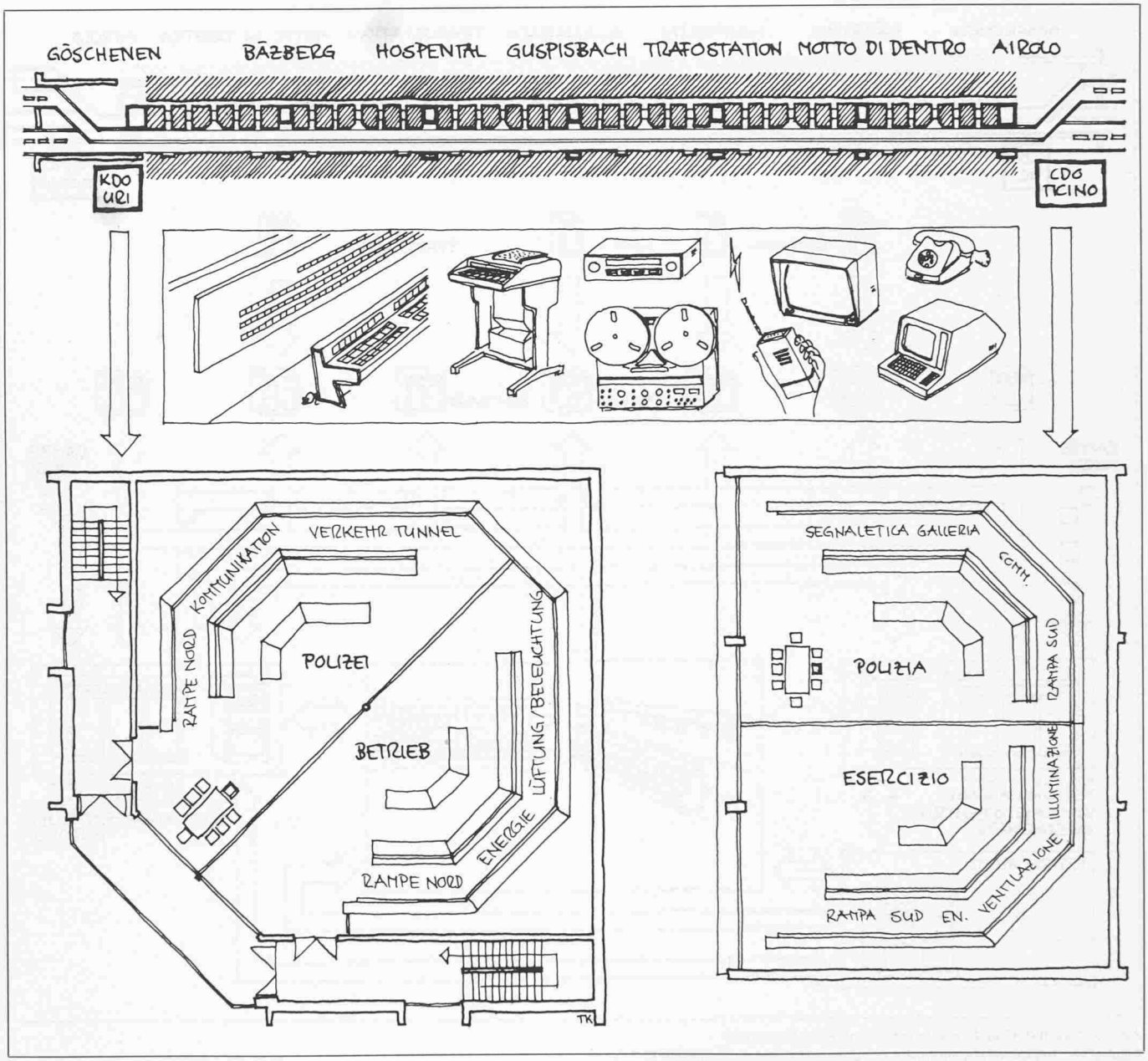

Bild 30. Kommandoanlagen (schematisch)
Figura 30 Impianti di comando (schematico)

- die üblichen polizeieigenen Aufgaben für die Verkehrsführung auf einer Nationalstrasse,
- die Überwachung des Verkehrsflusses im Tunnel und die notwendigen Massnahmen für die Sicherheit der Benützer,
- die Bedienung der Kommunikationsmittel, wie PTT-Amtstelefon, Fernschreiber, Funk, Nationalstrassentelefon, Tunnelnotruf und Alarmeinrichtungen,
- die Organisation und Einsatzleitung bei eventuell notwendigen Hilfeleistungen.

Die vielfältigen Aufgaben des *Betriebsdienstes* lassen sich grob aufteilen in:

- Überwachung und Beurteilung der von den Betriebsanlagen gemeldeten Messwerte und Zustände sowie, falls notwendig, Einleiten der entsprechenden Massnahmen bei Unregelmässigkeiten,
- Wartung und Unterhalt der baulichen und elektromechanischen Anlagen,
- Massnahmen zur Behebung von Störungen oder Schäden der technischen Ausrüstung,
- Hilfeleistung bei Pannen, Unfällen usw.

Bild 31 zeigt die Anzeigetafel und das Bedienungspult in der Kommandozentrale.

Adressen der Verfasser: *W. Diethelm* und *A. Henke*, Dipl. Ing. ETH, Ingenieurbüro Dr. G. Lombardi, 6601 Locarno; *F. Gallati*, El.-Ing. HTL, Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, 8022 Zürich.