

Bau- und Montagearbeiten

Autor(en): **Meyer, Enrico / Mandach, Franz von / Hasler, Markus**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

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

Heft 50: **Zur Eröffnung des Seelisberg-Strassentunnels**

PDF erstellt am: **21.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-74269>

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.

Bau- und Montagearbeiten

Von Enrico Meyer, Zürich, Franz von Mandach, Basel, Markus Hasler, Altdorf und Hans Kress, Altdorf

Die Bauzeit dauerte neun Jahre (Bild 1), nicht eingerechnet die vorangegangenen Planungs- und Entscheidungsarbeiten. Die vorliegende Beschreibung berichtet – notwendigerweise in geraffter Form – über diese neun Jahre. Die Schritte in der Planung von der offenen Linienführung der neuen Verkehrsrouten über kürzere Tunnel bis zum ausgeführten Projekt sind in anderen Publikationen dargestellt.

Bauarbeiten

Die Bauarbeiten für den Seelisbergtunnel wurden entsprechend den topographischen und geologischen Gegebenheiten in vier Lose aufgeteilt, die im Jahre 1971 vergeben wurden:

- für das *Los Rütönen (Los Nord)*, umfassend 2×4300 m Tunnel und die Lüftungszentrale Rütönen und Hattig, an das Konsortium Locher & Cie AG, Zürich/Prader AG, Zürich/AG Franz Murer, Beckenried/Riva AG, Buochs;
- für das *Los Huttegg (mittleres Los)*, umfassend 2×2000 m Tunnel und die Lüftungszentrale Huttegg, an das Konsortium Murer AG, Erstfeld/Losinger AG, Bern/Emil Baumann AG, Altdorf
- für das *Los Büel (Los Süd)*, umfassend 2×2900 m Tunnel und die Lüftungszentrale Büel, an die Unternehmung A. Marti AG, Bern
- für das *Los Hattig (Vertikalschacht, Höhe 273 m)* an das Konsortium Kopp AG, Luzern/H.R. Schmalz AG, Bern/Thyssen Schachtbau GmbH, Mühlheim/Ruhr.

Bauplätze, Baustelleneinrichtungen über Tag

Los Rütönen

Das Tunnelportal befindet sich in einem Steilhang, an den der Viadukt anschliesst (Bild 2). Deshalb wurde in einer Distanz von 180 m ab Portal ein Schutterstollen quer zur Tunnelaxe angelegt und von diesem aus die beiden Röhren angegriffen. Die Bauinstallationen mussten *dezentralisiert* auf drei Plätzen aufgestellt werden:

- beim Portal des Schutterstollens: Druckluftanlage, Sieb- und Brechanlage für das Ausbruchmaterial und Schiffsanlegestelle für den Abtransport,
- bei der Sägerei Rütönen: Unterkünfte, Werkstätten, Betonaufbereitung, Lagerplätze,

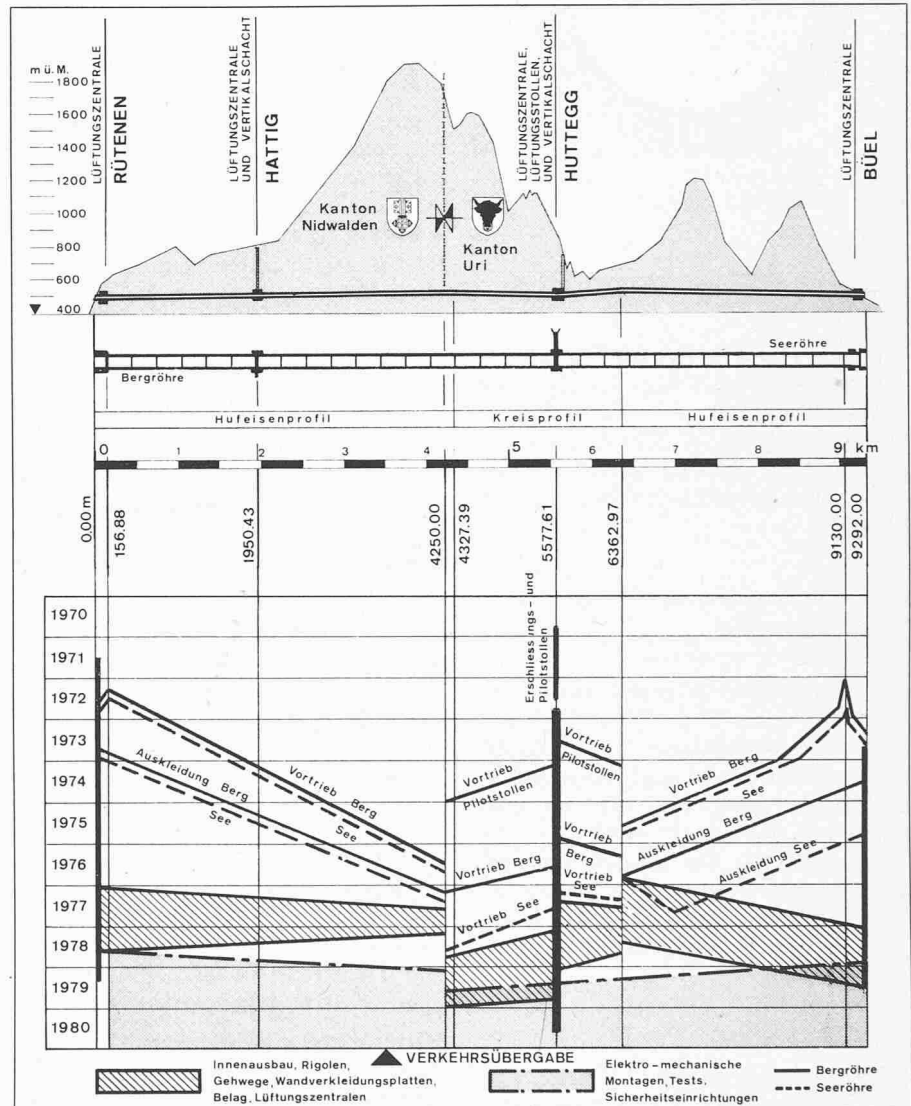


Bild 1. Verlauf der Bauarbeiten

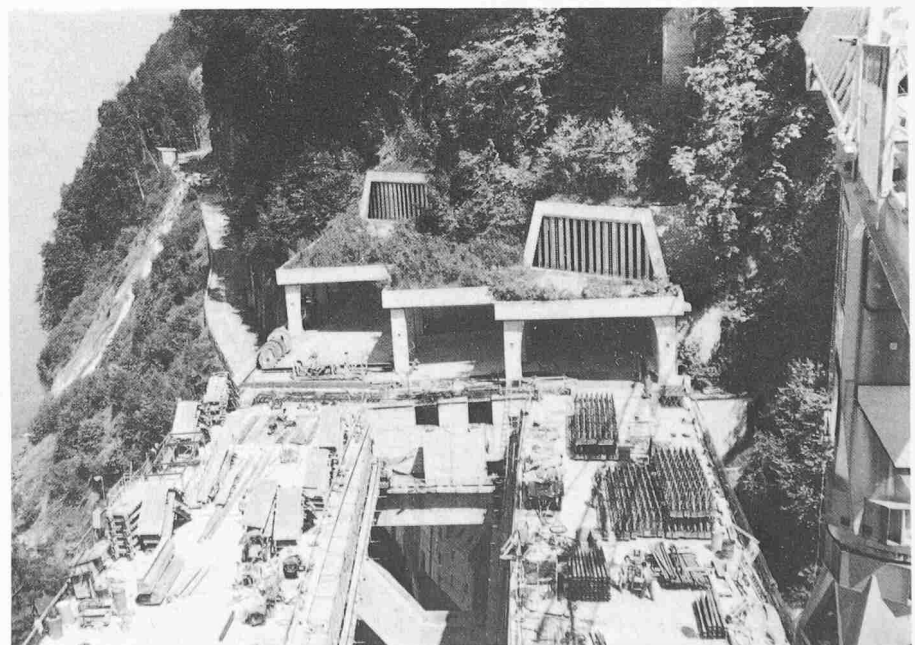


Bild 2. Portal Rütönen

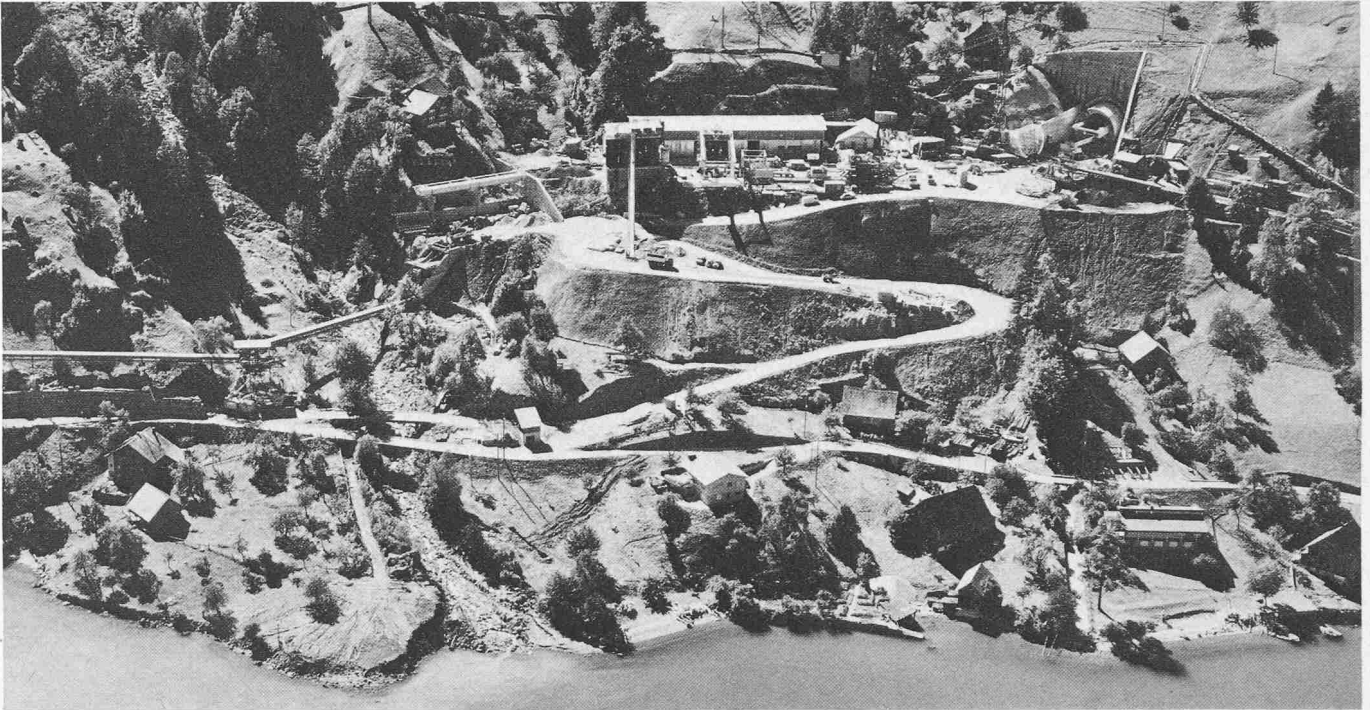


Bild 3. Installationsplatz Huttegg mit Voreinschnitt Lüftungsstollen

– rund 500 m westlich der Sägerei: Unterkünfte für Angestellte, Büros der Bauleitung.

Los Huttegg

Die Einrichtungen für die Bauausführung wie auch das Tübbinglager konnten auf dem Installationsplatz vor dem Portal des Lüftungsstollens angeordnet werden (Bild 3). Für die Unterkünfte und Büros bot sich eine Mulde im Gelände nördlich der Baustelle an.

Die *Tübbings* wurden in einer *Fabrik in Flüelen* hergestellt und mit speziellen Lastwagen auf die Baustelle transportiert.

Los Büel

Aus dem gleichen Grunde wie bei Rütene wurde in 160 m Distanz ab Portal ein Schutterstollen ausgebrochen. Auch hier mussten drei Installationsplätze beansprucht werden:

- beim Portal des Schutterstollens: technische Installationen für die Bauausführung, Brechanlage für Ausbruchmaterial,
- am Ufer des Urnersees: Schiffsanlegestelle und Umschlagplätze,
- in Seedorf (Distanz 2 km): Unterkünfte und Kantine.

Los Hattig

Hier fanden alle Einrichtungen beim Schachtkopf Platz, darunter der Förderurm mit Doppelbobine und zwei Abteufkübeln zu je 2 m³ Inhalt.

Tunnelröhren

Los Rütene

Die geologischen Verhältnisse gestatten es, die beiden Tunnelröhren mit

Hufeisenprofil im Vollausschub und parallel vorzutreiben. Eingesetzt waren zwei 6armige Bohrjumbos, zwei Elektrobagger, zwei Sicherungswagen und vier Muldenkipper. Das Ausbruchmaterial wurde auf Pneufahrzeugen zur Sortier- und Brechanlage gebracht und grösstenteils auf dem Seeweg nach Horw und Küssnacht für Schüttungen der N2 und der N4 transportiert.

Unmittelbar hinter dem Vortrieb folgte die Felssicherung mit systematischem Auftrag von Spritzbeton auf die Kalotte. Wo erforderlich wurden zusätzlich leichte Armierungsnetze und Felsanker eingebaut.

Der Andrang von *Bergwasser* war allgemein gering. Nur der Portalbereich und die Kavernenzentralen sind vollflächig mit einer 1,5 mm starken PE-Folie isoliert, da der Tunnel mit vorgestellten Verkleidungsplatten versehen ist.

Besondere Massnahmen waren beim Durchfahren der Strecke im *Amdener Mergel* zu ergreifen. Der Vortrieb erreichte diesen Abschnitt im Herbst 1975. Bevor über eine eventuelle Profiländerung entschieden werden konnte, hatte ein intensives Messprogramm über das *Quellverhalten* des Mergels Auskunft zu geben. Die Messungen ergaben, dass die Deformationen im Gewölbe nach etwa sechs Monaten vernachlässigbar, im Sohlenbereich so stark am Abklingen waren, dass ein Wechsel des Profiles nicht erforderlich war. Das Gewölbe wurde deshalb auch hier gemäss dem Normalprofil betoniert. Als Schutz der Sohle vor dem darüberrollenden Werkverkehr diente eine Fahrpiste aus Beton. Im Herbst 1977 stellte sich heraus, dass die Quellhebungen in der Sohle keineswegs abgeschlos-

sen waren und als Folge davon die seitlich angeordneten Rigolen Deformationen aufwiesen. Erneut wurde ein wesentlich verfeinertes Messprogramm eingeführt, das erlaubte, im Herbst 1978 die endgültigen Massnahmen in baulicher Hinsicht zu treffen. Die gewählte Lösung (Bild 4) entsprach folgenden Überlegungen: Eine vollständige Verhinderung der Quellhebungen auf der ganzen Sohlenfläche hätte ein massives Sohlgewölbe mit entsprechenden finanziellen Folgen bedingt, wäre doch mit Quelldrücken bis zu 300 N/cm² zu rechnen gewesen. Durch das Aufbringen eines Stabilisierungsdruckes im Bereich der Rigolen mittels massiver Eisenbetonbalken, die von 12 m langen, auf 60 t vorgespannten Ankern gehalten sind, konnten die Bewegungen in diesem Bereich grösstenteils aufgehalten werden. Die Zone zwischen den Balken wurde mit vorfabrizierten Betonplatten überbrückt, wobei der freie Zwischenraum so bemessen ist, dass die zu erwartenden Quellhebungen mit Sicherheit aufgenommen werden können. Als weitere Massnahme wurde sodann jeglicher Wasserzufluss in die Mergelstrecke unterbunden, einerseits mittels Dichtungsschleiers in den Übergangszonen, andererseits durch Auskleiden der Rigolen mit PE-Schläuchen.

Für das Betonieren der Verkleidung wurde in jeder Röhre eine rund 16 m lange, nicht teleskopierbare Schalung verwendet (Bild 5). Die Ausschallfristen betragen normal 24 Stunden, minimal 16 Stunden. Die Ringfugen wurden nachträglich in Abständen von 7,5 m gefräst.

Los Huttegg

Beim Ausbruch eines Erschliessungs-

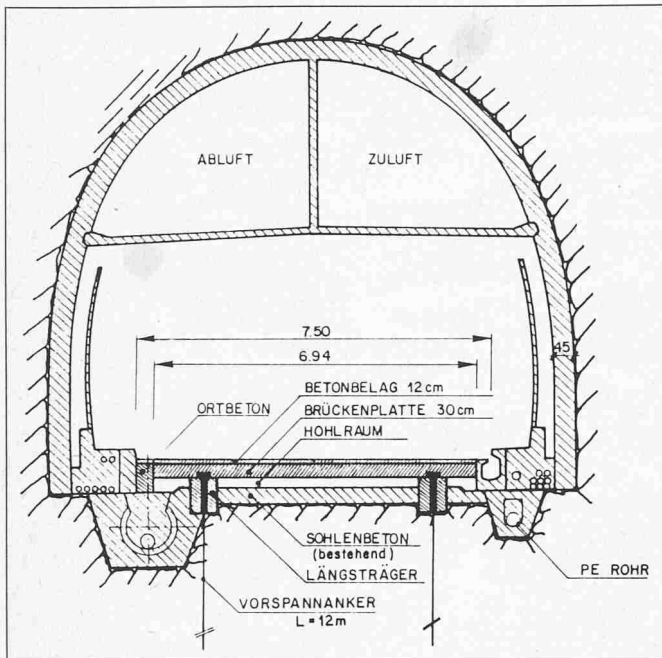


Bild 4. Normalprofil in der Mergelstrecke Los Rütene

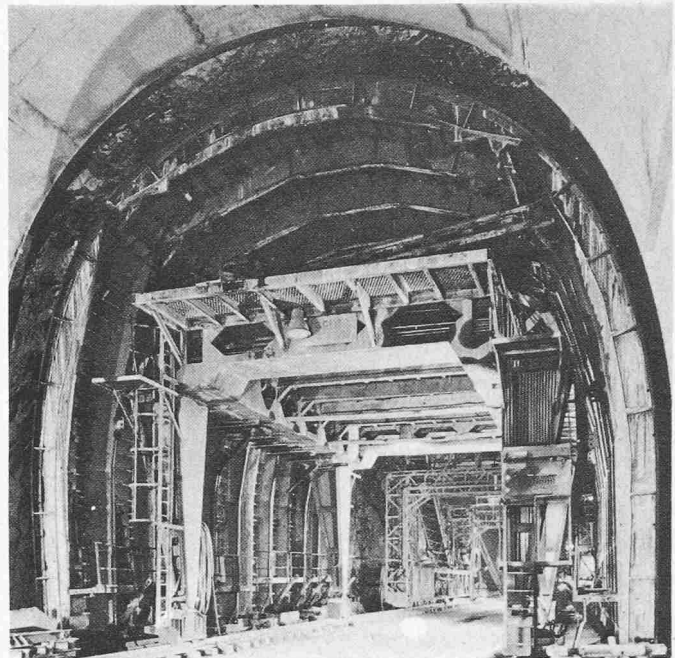


Bild 5. Stahlschalung Los Rütene

stollens (Bild 6) im Jahre 1970, der als Sondierstollen und später als Bauzugang für die Ausbrucharbeiten der Lüftungszentrale diente, wurde *Methangas* (CH_4) festgestellt. Durchmischtes mit Luft in Konzentrationen von 5–15% Methan bildet sich ein sehr explosives Gemisch. Wichtigste Massnahme für die Beherrschung dieser Gasvorkommen war der *Aufbau einer effizienten Bauventilation*. Die notwendigen Luftmengen von rund $50 \text{ m}^3/\text{s}$ konnten nicht mehr mit normaler Lufventilation bewältigt werden, so dass man auf

ein *Umluftsystem* umstellen musste. Zu diesem Zweck musste ein $5,3 \text{ km}$ langes Pilotstollensystem von $8,8 \text{ m}^2$ Querschnitt im Bereiche des Lüftungsstollens und der Tunnelröhren erstellt werden. Diese ursprünglich nicht vorgesehene Massnahme bewirkte eine Bauzeitverlängerung von zwei Jahren.

Parallel mit dem Vortrieb der Pilotstollen und der darnach in Angriff genommenen Ausweitung des Lüftungsstollens erfolgte über den Erschliessungsstollen der Ausbruch der Lüftungskaverne. Programmlich waren die Arbeiten so aufeinander abgestimmt, dass bei Ankunft des ausgeweiteten Lüftungsstollens in der Zentrale deren Ausbrucharbeiten soweit fortgeschritten waren, dass eine Ummontage der Tunnelinstallationen und die Inangriffnahme des ersten Tunnelastes sichergestellt waren.

Für den Ausbruch der Tunnelröhren kam die amerikanische Tunnelbauausrüstung «Big John» der Firma Memco zum Einsatz (Bild 7 und Tabelle 1).

Es handelt sich dabei um einen in einem Schild montierten *Reisszahnbagger* (Bilder 8 und 9), der das Gestein

von der Tunnelbrust losrippert, wobei allerdings härtere Gesteinsschichten vom Pilotstollen aus vorgesprenzt wurden. Das gelöste Gestein gelangte für den Abtransport über ein Förderband in einen der zwei zur Ausrüstung gehörenden überdimensionalen Stollenwagen, den sogenannten «Mine Cars», die auf der Rückfahrt die vorfabrizierten Verkleidungselemente, die Tübbings, und das notwendige Injektionsgut in den Tunnel führten.

Unmittelbar hinter dem Vortrieb wurden mit einem Erektor die Tübbings im hinteren Teil des Schildes versetzt. Wenn ein aus sieben Elementen bestehender Ring geschlossen und hinterfüllt war, konnte der Schild mit hydraulischen Pressen, die eine totale Vorschubkraft von 8500 t aufbrachten, um eine Ringbreite von $1,5 \text{ m}$ vorgeschoben werden. Dabei scherte die Schildschneide allfällig ins Profil einragende Felspitzen ab.

Die Stärke der Tübbings richtete sich nach der vorhandenen Gebirgsüberlagerung. In den beiden Südästen und im Lüftungsstollen mit einer maximalen Überlagerung von 500 m betrug sie

Tabelle 1. Wichtigste Daten der Tunnelbauausrüstung Memco

Total installierte elektrische Leistung der Ausrüstung	6400 PS
Druckfestigkeit des Gesteins	bis $600 \text{ kg}/\text{cm}^2$
Mittlere Vortriebsleistung	$10 \text{ m}/\text{Tag}$
Schilde	
Schild Nr. 1 $\varnothing 11,80 \text{ m}$	377 t
Schild Nr. 2 $\varnothing 12,20 \text{ m}$	412 t
Mit je 38 hydraulischen Vorschubpressen zu 227 mp bei 703 atü	
und je 12 hydraulischen Pressplatten zu 272 mp bei 703 atü	
Ausbruchgerät mit zwei Reisszähnen	271 t
Hauptzylinder 907 mp bei 422 atü	
2 Kübelzylinder $2 \times 362 \text{ mp}$ bei 422 atü	
Ladeförderband, 1,83 m breit mit hydraulischem Antrieb	
Nachläufer (Abstützung des Förderbandes und der Träger der elektrischen Ausrüstung)	129 t
Transformatoren 15 000/380 Volt, $2 \times 2000 \text{ KVA}$	zusammen 15 t
Tübbingabladekran, hydraulischer Antrieb, Tragkraft 15 mp	16 t
Tübbingversetzvorrichtung	90 t
Tübbinggrösse: $6,50 \times 1,50 \times 0,4-0,5 \text{ m}$	
Tübbinggewicht: 11 t	
Mine cars, zwei Stück, je 140 m^3 Inhalt, 700-PS-Dieselmotor, hydraulischer Antrieb	
Geschwindigkeit $20 \text{ km}/\text{h}$	
Spurweite: SBB-Normalspur 1435 mm ,	zusammen 256 t

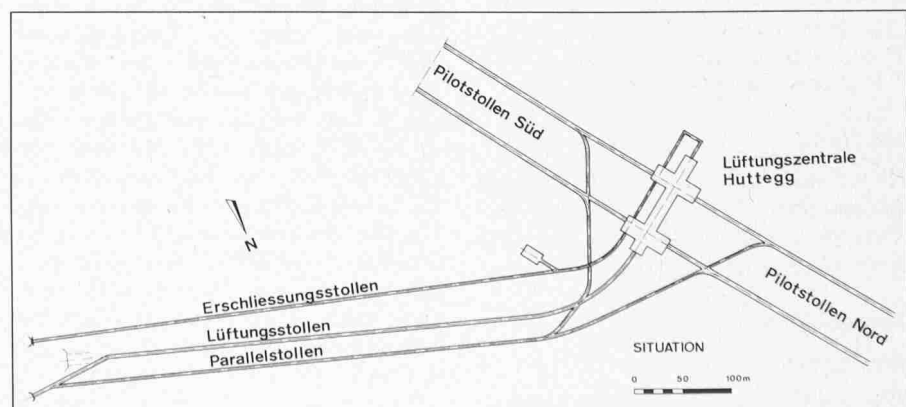


Bild 6. Erschliessungs- und Pilotstollen Los Huttegg

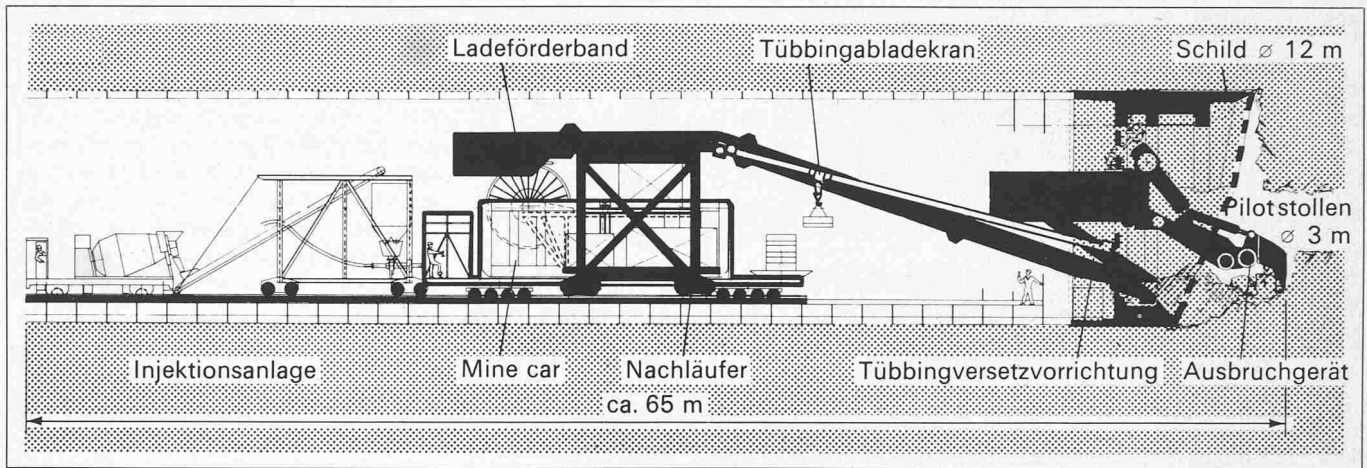


Bild 7. Tunnelbauausrüstung Memco Los Huttegg

40 cm, in den Nordästen bei Überlagerungen bis 900 m wurden 50 cm dicke Tübbings eingebracht (Bild 10).

Der Hohlraum zwischen den Betonelementen und dem Fels wurde mit einer Niederdruck-Injektionsanlage laufend mit Feinbeton verfüllt. Dadurch konnte verhindert werden, dass sich der Gewölbering nach dem Verlassen des Schildes zu einer Ellipse deformierte. Auf die Sohle des Tübbingringes wurde ein vorfabriziertes Rigolenelement versetzt und seitlich mit Ortsbeton vergossen.

Aus programmlichen Überlegungen kamen im Los Huttegg zwei Schilde zum Einsatz. Das erlaubte es, die Zeit für die Umstellung der Tunnelausrüstung von einer Röhre zur anderen von 6 auf zweieinhalb Monate zu reduzieren, da während des Auffahrens der einen Röhre der zweite Schild in einer anderen Röhre montiert und der Starttring zur Aufnahme der Vorschubkräfte betoniert werden konnte. Nach dem Errei-

chen der Losgrenze mussten dann nur noch die restlichen, leichter zu demontierenden Teile in den bereitstehenden Schild versetzt werden.

Die zwei «Mine Cars» wiesen eine Ladekapazität von je 140 m³ Ausbruchmaterial auf, entsprechend der Hälfte des Ausbruches eines Ringvorschubes. Bei der Einfahrt konnten sie die Hälfte der Tübbings eines Ringes transportieren. Somit war je Schildvorschub und Ringeinbau nur eine Fahrt pro «Mine Car» notwendig. Engpässe bei der Materialzufuhr oder beim Tübbingnachschieben waren damit ausgeschlossen. Für die Richtungsänderungen von 90° der «Mine Car»-Geleise in der Lüftungszentrale waren zwei grosse Drehscheiben von 14 m Durchmesser erforderlich.

In den vier Tunnelästen erreichte der «Big John» Durchschnittsleistungen von 7,0 bis 13,6 m, im Mittel gute 10 m je Arbeitstag. Die grössten Leistungen

betragen 13 Ringe oder 19,5 m täglich und 215 Ringe oder 322,5 m im Monat.

Nach dem Auffahren eines Tunnelastes folgte die Betonierung der Fahrbahnplatte und der Zwischendecke mit Stahlschalungen, die Tagesleistungen von 16 m gestatteten.

Los Büel

Die Tunnelröhren konnten grösstenteils im Vollausschub und – wie im Los Rütene – parallel vorgetrieben werden. Nur im Valanginienmergel und streckenweise im Altdorfer-Sandstein musste auf Teilausschubverfahren umgestellt werden (Bild 11).

Erstmals in der Schweiz wurden hydraulisch angetriebene Bohrhämmer verwendet. Diese Hämmer, bei denen sich die Rotations- und Schlagenergie automatisch dem angetroffenen Widerstand anpasst, benötigen nur noch ein Drittel der Energie eines gewöhnlichen

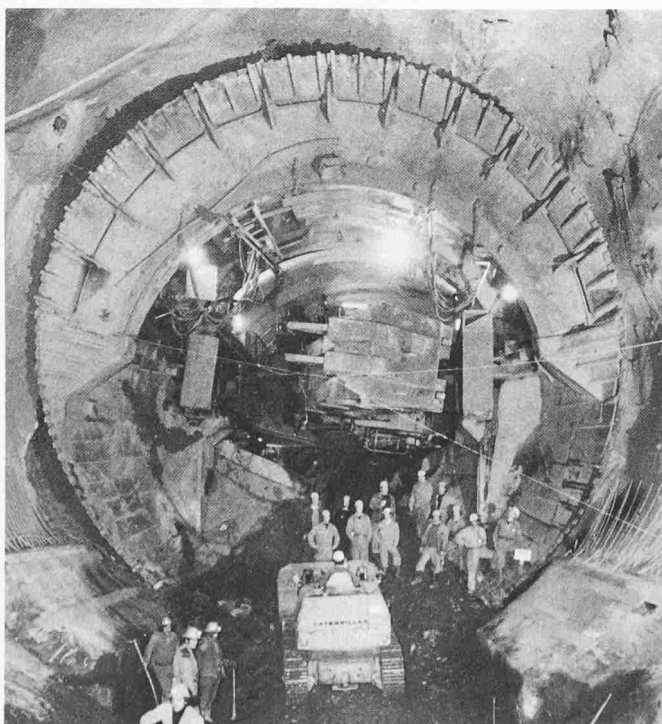


Bild 8. Schild und Reisszahnbagger Los Huttegg



Bild 9. Reisszahnbagger Los Huttegg

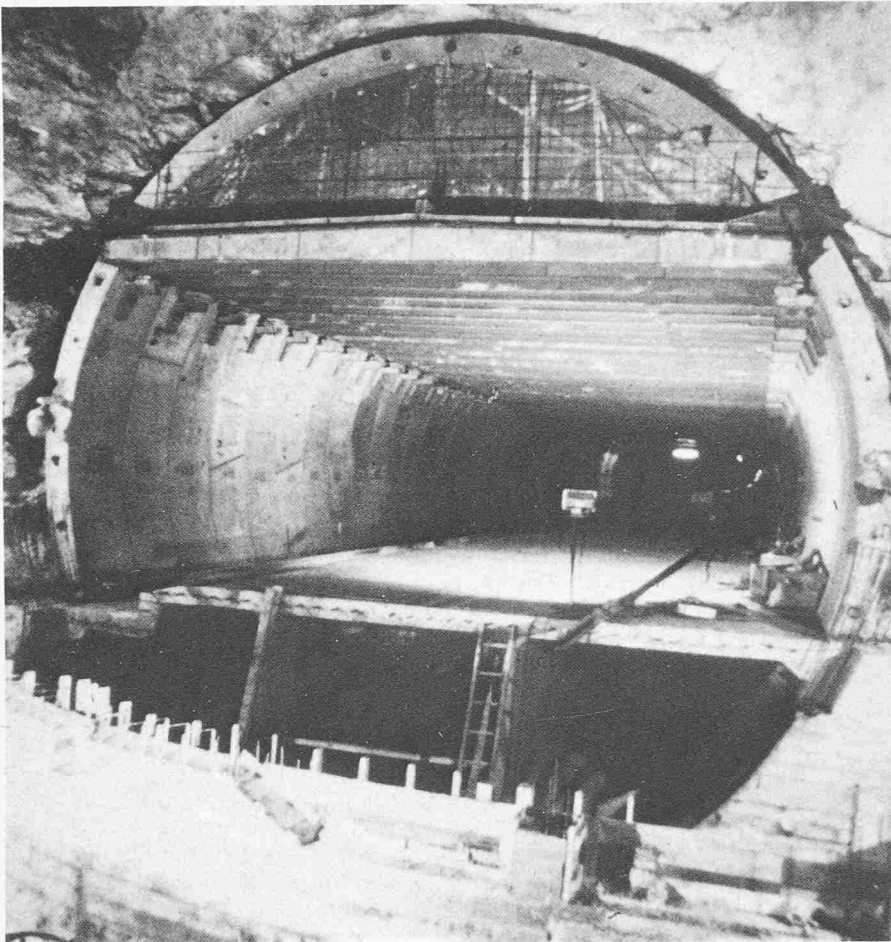


Bild 10. Tübbingverkleidung mit Fahrbahn und Zwischendecke Los Huttegg

Druckluftammers und entwickeln wegen Wegfalls der expandierenden Druckluft wesentlich geringeren Lärm.

Die Vortriebseinrichtungen umfassten in jeder Röhre einen 7armigen Bohrumbo und einen zweiarmigen für die Felsankerung, beide mit zwei Hebebühnen ausgerüstet, sowie einen Hochlöfelfagger. Den Abtransport des Ausbruchmaterials besorgten sechs geländegängige Pneufahrzeuge von je 18 m³ Ladevermögen.

Zwei Saturnkrane mit Auslegern von 18 m Länge und Arbeitsbühnen erlaubten es, Gunit- und Spritzbetonarbeiten

unmittelbar nach jedem Abschlag bis zur Tunnelbrust auszuführen. Systematisch wurde sofort als erste Felssicherung 3–5 cm stark Gunit auf die Kalotte aufgetragen. Je nach Erfordernis wurde dann diese erste Sicherung mit Felsankern, Spritzbeton, Armierungsnetzen und auch Stahleinbau ergänzt (Bild 12).

Die durchschnittlichen Vortriebsleistungen je Arbeitstag betragen 7,2 m bei alleinigem Gunitauftrag, 3,5 m bei Verwendung von Anker, Spritzbeton und Armierungsnetzen und 1,5 m in Strecken mit Stahleinbau und unterteiltem Ausbruch. Die grössten Leistungen er-

reichten 12 m im Tag und 208 m im Monat.

Der Wasseranfall war mengenmässig mit 50–80 l/s relativ bescheiden. Hingegen waren die Wassereintritte auf grössere Strecken verteilt, so dass umfangreiche Isolationsarbeiten notwendig wurden. Von der gesamten Gewölbeffläche wurden rund 65 % oder 100 000 m² mit einer 2 mm dicken PVC-Folie isoliert.

Das Betonieren der Felsverkleidung folgte dem Ausbruch in einer Distanz von mindestens einem Kilometer. Dafür wurden drei teleskopierbare Schalungselemente zu 8 m Länge verwendet.

Lüftungszentralen

Die Anlagen für die Belüftung des Tunnels sind in vier unterirdischen Zentralen untergebracht. Das Raumprogramm der Zentralen Rüttenen und Hattig war nahezu identisch, so dass beide Kavernen gleich projektiert werden konnten.

Zentralen Rüttenen und Hattig

Die im Querschnitt hufeisenförmigen Kavernen stehen senkrecht zur Tunnelaxe und bilden im Schnitt mit den Tunnelröhren statisch günstige Kreuzgewölbe. Der etappenweise Ausbruch stellte keine Probleme. Die Zentralen weisen eine vollflächige Isolation aus einer 1,5 mm starken PE-Folie auf.

Zentrale Huttegg

Wie für die Tunnelröhren waren auch für den Ausbruch und die Felssicherung der Kaverne *felsmechanische Überlegungen* bestimmend. Über diese und die daraus folgenden Baumethoden wird in einem separaten Aufsatz ausführlich berichtet.

Die Kaverne wurde etappenweise ausgebrochen und die Ausbruchoberflächen jeweils sofort mit Perfoankern, Armierungsnetzen und Spritzbeton gesichert. Anschliessend wurde zusätzlich das Gewölbe mit 16 bis 18 m langen, vorgespannten Anker von 150 t Trag-



Bild 11. Vortrieb im Altdorfer Sandstein Los Büel

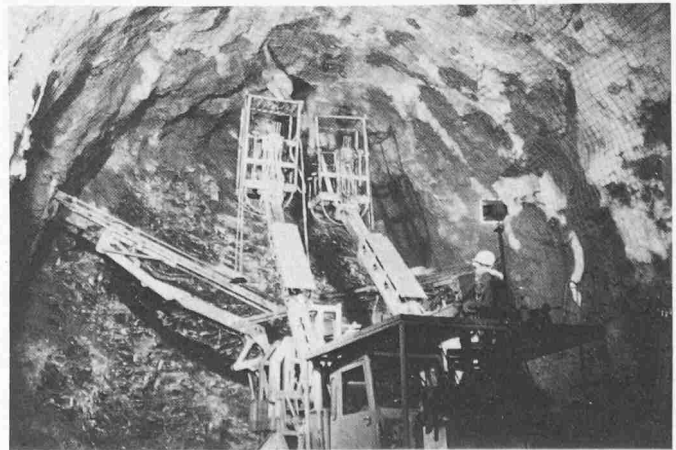


Bild 12. Felssicherung Vorort im Los Büel

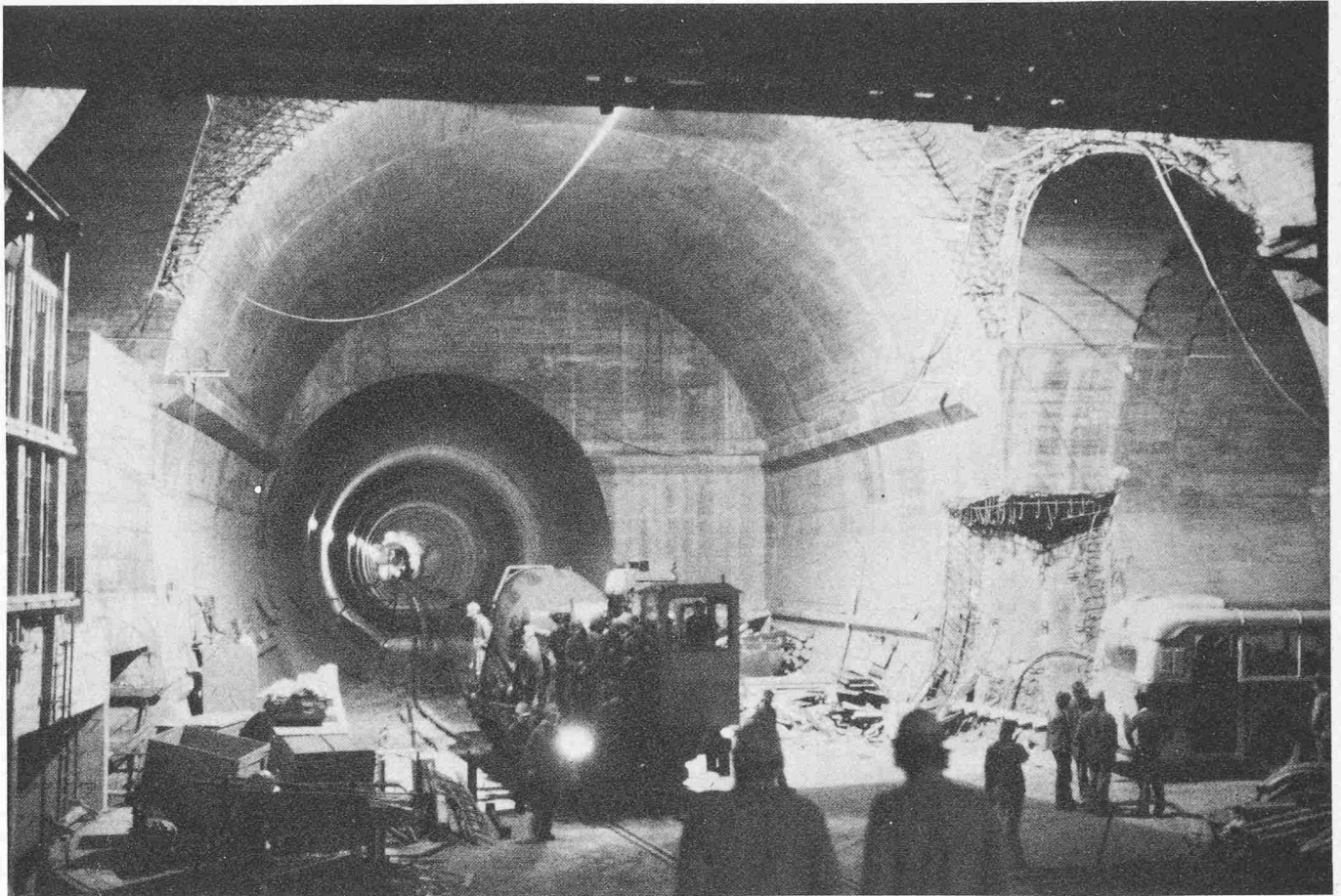


Bild 13. Innengewölbe Lüftungszentrale Huttegg mit Blick in Tunnelröhre

last abgestützt, die in einem 4,5 m Raster versetzt sind. Der Kavernenbau benötigte 11 000 Perfoanker, 14 000 m² Armierungsnetze, 4200 m³ Gunit und Spritzbeton und 634 vorgespannte Anker.

Das Betonieren des grossen Innengewölbes war ebenfalls nur etappenweise möglich (Bild 13). Da in dieser Phase der Ausbruch der Tunnelröhren noch in vollem Gange war und der Weg der

Mine-Cars durch die Zentrale führte, mussten für das Innengewölbe freitragende, das Durchfahrtsprofil gewährende Schalungsgerüste verwendet werden (Bilder 14 und 15).



Bild 14. Scheitelarmierung des Innengewölbes Lüftungszentrale Huttegg



Bild 15. Freitragende Gewölbeschaltung Lüftungszentrale Huttegg

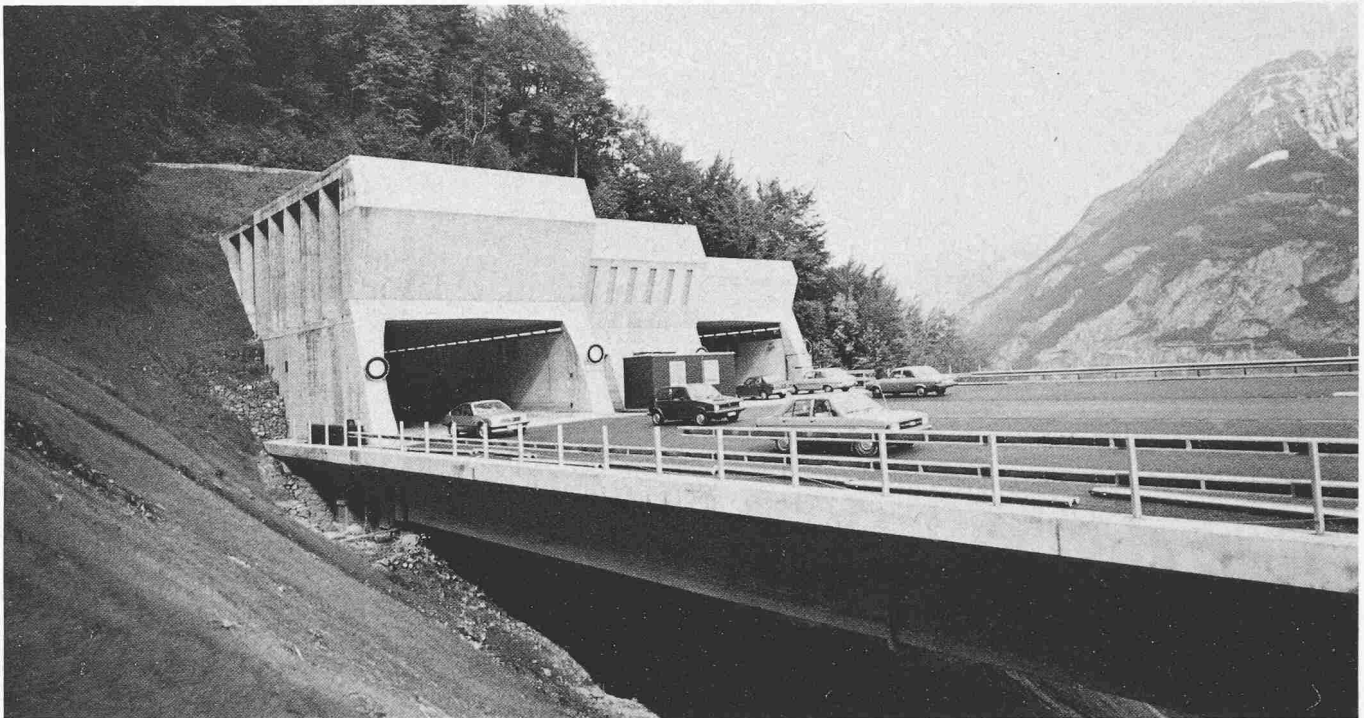


Bild 16. Portal Büel

Zentrale Büel

Die angetroffene *schlechte Felsqualität* veranlasste, die Zentrale umzuprojektieren. Die elektrischen Einrichtungen wurden in das entsprechend ausgebaute Brückenwiderlager vor dem Portal verschoben (Bild 16), womit die Lüftungszentrale kleiner wurde und nurmehr eine bescheidene Ausweitung der Tunnelröhren nötig war.

Schächte

Lüftungsschacht Hattig

Der Vertikalschacht wurde im herkömmlichen Verfahren abgeteuft: in der Lockergesteinsstrecke mit der Marcivanti-Methode, in der Felsstrecke mit Sprengen und kontinuierlichem

Nachziehen der Betonverkleidung.

Abluftschacht Huttegg

Ursprünglich waren die Zu- und Abluftbauwerke unmittelbar beim Portal des Lüftungsstollens projektiert. Gegen diese Disposition erwuchs im Verlaufe der Bauarbeiten zunehmende *Opposition seitens der Anwohner* und aus *Naturschutzkreisen* wegen der befürchteten Immissionen. In der Folge wurde das Abluftbauwerk umprojektiert. Bei der ausgeführten Lösung wird die Abluft über einen 189 m hohen Schacht und einen Diffusor in einer steilen Felswand 250 m über dem Dorf Bauen ausgeblasen (Bild 17).

Die Ausführung führte zu komplizier-

ten Bauvorgängen für die Verbindung vom Lüftungsstollen zum Schachtfuss und für den Diffusor (Bild 18), wofür zuerst noch eine *Seilbahn* errichtet werden musste.

Für den Ausbruch des Vertikalschachtes wurde zuerst vom Schachtkopf aus eine Pilotbohrung von 32 cm Durchmesser abgeteuft und am gleichen Gestänge ein Bohrkopf mit 2,15 m Durchmesser hochgezogen (Bild 19). Das Abteufen und Ausweiten auf den Durchmesser von 8,6 m geschah konventionell mit Sprengen. Für die Felsicherung wurden Haftanker und armerter Spritzbeton verwendet. Der Schacht ist mit einer 2 mm starken PVC-Folie wasserdicht isoliert.

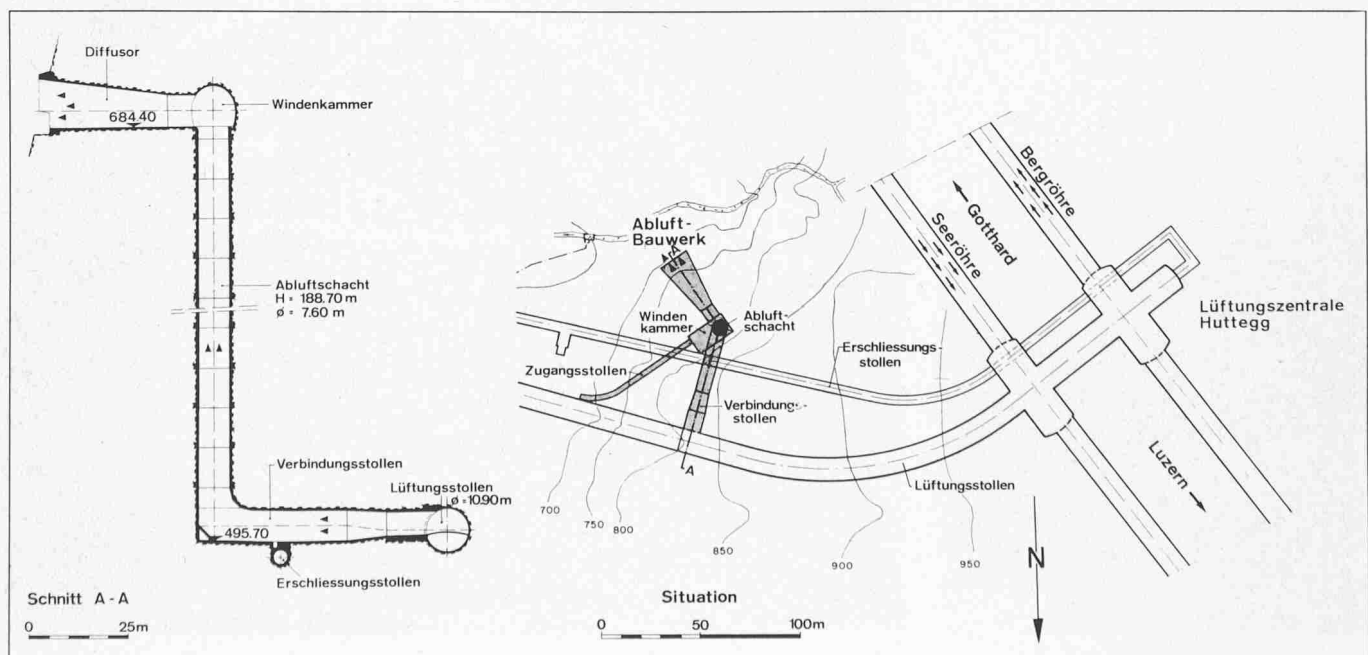


Bild 17. Lüftungszentrale und Abluftschacht Huttegg

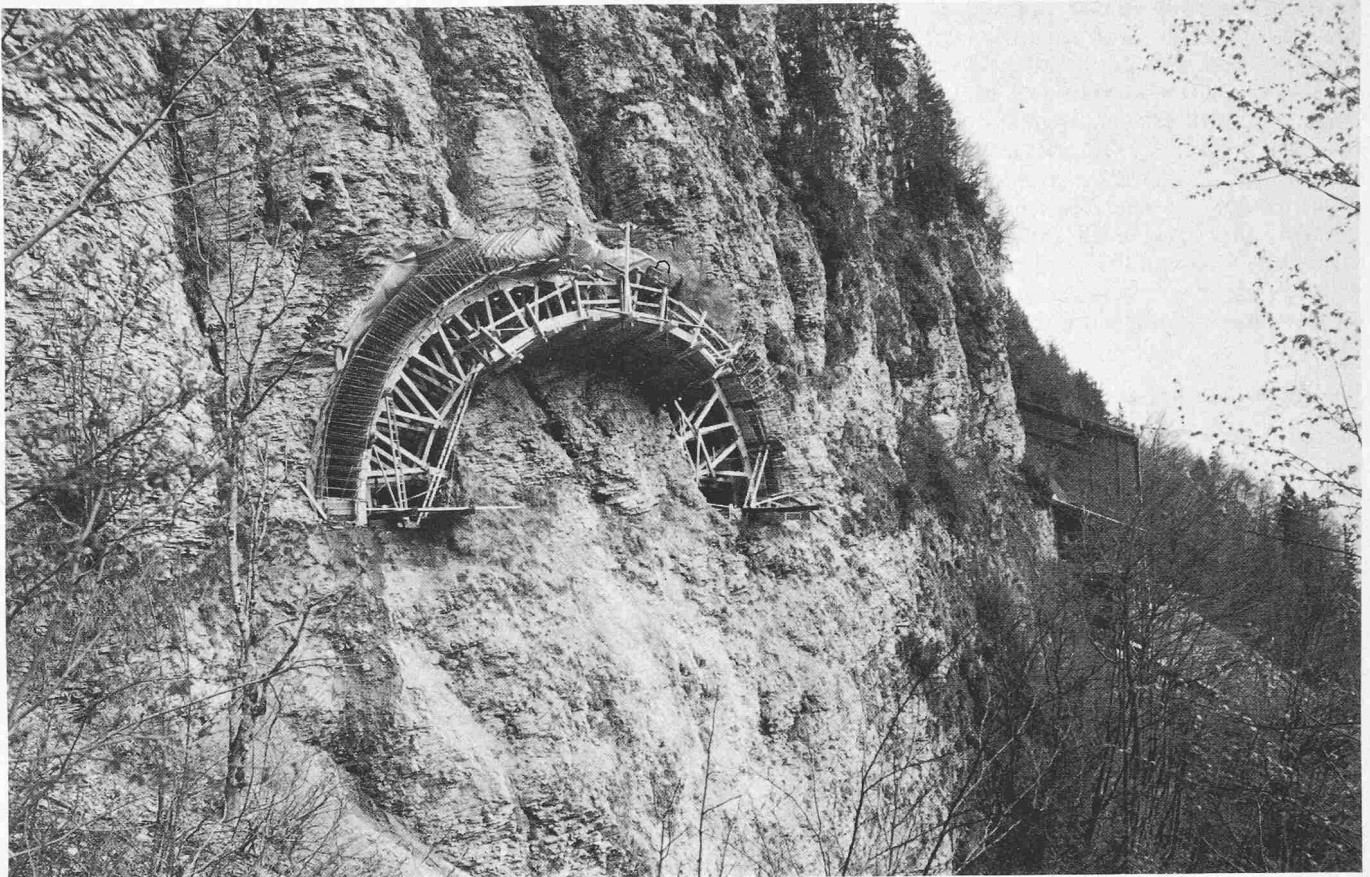


Bild 18. Diffusor-Ablufschacht Huttegg – Kalottenschalung

Vorkehrungen infolge Methangasvorkommen

Los Huttegg

Wie schon erwähnt, trat beim Ausbruch des Erschliessungstollens Huttegg Methangas auf. Die Konzentrationen in der Stollenluft erreichten bis 30 % bei abgestellter Ventilation, lagen also einiges über der Spanne von 5 bis 15 %, in der das Luft-Methangemisch explosiv ist. Es bestand somit dauernd die *latente Gefahr von Explosionen* – im Bergbau bekannt als *Schlagwetter*. Um dieser Gefahr zu begegnen, waren in erster Linie die von der *Schweizerischen Unfallversicherungsanstalt (SUVA)* gestellten Bedingungen zu erfüllen:

- die Methankonzentration in der Luft darf nirgends 1 % überschreiten,
- die Strömungsgeschwindigkeit der Luft muss mindestens 0,5 m/s betragen, um für eine genügende Durchwirbelung zu sorgen und die Bildung von Methanschichtungen in der Firse zu verhindern.

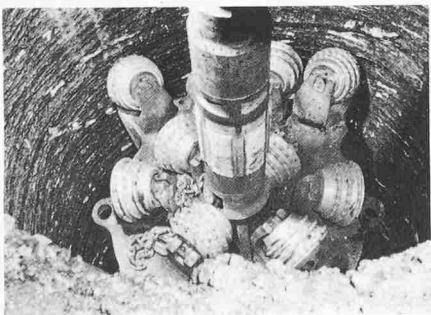


Bild 19. Ablufschacht Huttegg – Bohrkopf \varnothing 2,15 m für Pilotschacht

Im Vergleich zu anderen Untertagebaustellen war also die *Bauventilation wirkungsvoll zu verstärken* und als *Umluftsystem* zu betreiben, damit nicht «tote» Räume entstehen. Daneben war eine ganze Reihe weiterer Massnahmen zu treffen, die von der SUVA und von der *Sicherheitskommission* vorgeschrieben worden waren. Die Sicherheitskommission war von der Bauherrnschaft eingesetzt worden. Ihr gehörten Spezialisten aus der Schweiz und dem deutschen Bergbau an, und ihre Aufgabe bestand in der Beratung der ausführenden Organe. Die *speziellen* Vorschriften für die Bauausführung lauteten unter anderem:

- Einsatz von speziell ausgebildeten Fachleuten für den Sicherheitsdienst,
- laufende Messungen der Gaskonzentrationen mit Hand- und Registrier-Messgeräten,
- Abtasten des zu durchfahrenden Gesteins mit Sondierbohrungen,
- Installation von Gasabsauganlagen bei den Portalen,
- nach Möglichkeit Einsatz von explosionsgeschützten Installationen. Diese Forderung konnte im Gegensatz zu den Bergbauvorschriften nicht allgemein gehalten werden, sondern es wurde für jede Installation einzeln entschieden.

- Massnahmen zum unmittelbaren Schutz der Belegschaft wie:
 - Personalkontrolle untertags,
 - Rauchverbot,
 - automatische Alarmvorrichtung bei ansteigender Gaskonzentration oder ausfallender Ventilation,

- Ausrüstung der Belegschaft mit Selbstrettern (Sauerstoffvorrat für 30 Min.), die das Verlassen eines gasüberfluteten Stollens erlaubten,
- Organisation eines speziell für Gasunfälle ausgerüsteten Rettungsdienstes.

Lose Rütinen und Büel

Nachdem im Los Huttegg Felsausgungen festgestellt worden waren, konnte in den beiden anderen Losen eine Explosionsgefährdung durch austretendes Methangas nicht ausgeschlossen werden. Daraus ergaben sich *spezifische Vorkehrungen*, die im wesentlichen folgende Massnahmen umfassten:

- Konzeptanpassung und Verstärken des Belüftungssystems,
- Sondierbohrungen in Vortriebsrichtung, um allfällige Erdgasvorkommen festzustellen,
- Überwachung der Gaskonzentration beim Vortrieb.

Unter Zuhilfenahme des jeweiligen vordersten Querschlages wurde über die beiden Tunnelröhren – soweit bereits vorhanden unter Benützung der definitiven Luftkanäle – eine starke Umluftventilation eingerichtet. Von diesem Grundsystem führten dann je zwei schwerentflammbare Kunststofflatten von 1,7 m Durchmesser die Frischluft zu den Vortriebsstellen.

Die Sondierungen wurden jeweils übers Wochenende mit drei im Ausbruchquerschnitt verteilten Bohrungen von 40–50 m Länge (voraussichtliche Wochen-Vortriebsleistung) ausgeführt und

die Bohrlöcher auf Methan untersucht. Für die laufende Überwachung der Konzentrationen an der Vortriebsstelle wurde ein speziell ausgerüsteter Messwagen mit entsprechend ausgebildetem Personal eingesetzt. Glücklicherweise erwiesen sich sämtliche getroffenen Vorkehrungen als reine Vorsichtsmassnahmen. Das tatsächlich festgestellte Methan beschränkte sich auf vereinzelte ungefährliche Ausgasungen des Hauptwerkes und weniger Bohrlöcher.

Am abgeschlossenen Bauwerk

Bei der Ausführung der Arbeiten zeigte sich, dass eine *effektive Gasgefährdung* sich auf den *Bereich der Zentrale Huttegg* beschränkte. Entsprechend sind die notwendigen Massnahmen für den definitiven Betrieb. Sie umfassen insbesondere:

- intensive Belüftung der Kavernenzentrale Huttegg im Umluftsystem und mit explosionsgeschützten Ventilatoren, davon einer als Reserve,
- Möglichkeit einer direkten Einspeisung der Raumlüftungsventilatoren mit Notstromgruppe vom Portal Huttegg her zur Inbetriebnahme der Lüftung im Falle einer Gasüberflutung,
- Messung von Gaskonzentrationen mit Registriermessgeräten an kritischen Stellen in der Kavernenzentrale mit Alarmanzeige im Kommandoraum bei ansteigenden Konzentrationen,

Strassenbelag

Wahl der Belagsart

Aus Vertretern des *Bundesamtes für Strassenbau* sowie der *Kantone Tessin, Uri und Nidwalden* war eine *Kommission* gebildet worden, die über das Vorgehen und die Evaluation bei der Wahl des Belags im *Gotthard- und im Seelisbergtunnel* zu bestimmen hatte. Für *beide Tunnels* sind sowohl der *Betonbelag* wie auch ein *bituminöser Belag* mit identischen Spezifikationen ausgeschrieben worden. Als Variante wurden die Preise für die Beimischung eines Aufhellungsmittels (z.B. Synopal) zur bituminösen Verschleiss-Schicht ermittelt. Die *Voraussetzungen* waren allerdings bei den zwei Tunnels *nicht identisch*. Die wesentlichen Merkmale sind die folgenden:

Gotthardtunnel: Als Fundationsschicht ist eine bituminöse Sickerschicht von 10–24 cm Stärke eingebaut, die möglichst rasch mit dem Belag zu decken war, um Verschmutzungen zu vermeiden. Um den übrigen Baustellen- und Montageverkehr nicht zu behindern, musste je ein halbseitiger Einbau vorgehen werden.

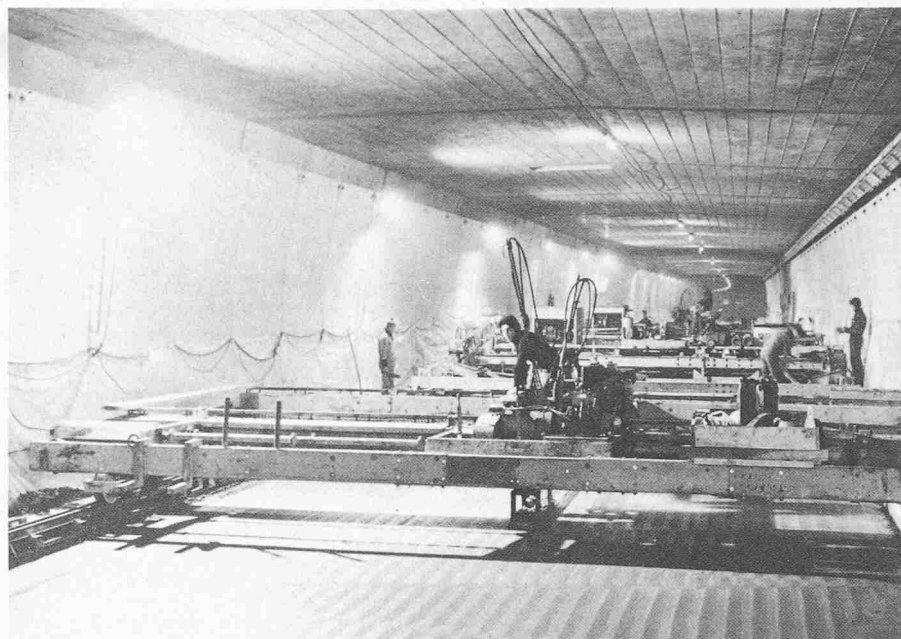


Bild 20. Maschineller Betonbelag-Einbau

Seelisbergtunnel: Die Fundationsschicht besteht aus 50 cm Schotter. Im Kreisprofil wäre ein Betonbelag mit der darunter liegenden Platte zu verdübeln. Der Einbau der Beläge war über die ganze Fahrbahnbreite einer Röhre möglich, da der Baustellenverkehr in der anderen Röhre aufrechterhalten werden konnte.

Die Bauherren entschieden sich schliesslich, unter Würdigung aller Kriterien und gleichen Grundlagen, für einen *bituminösen Belag im Gotthard- und einen Betonbelag im Seelisbergtunnel*. Interessant war dabei, dass letztlich die *preislichen Unterschiede* minim waren und keine Rolle spielten. Entscheidend waren andere Umstände, wie das Vorhandensein von nur einer Röhre am Gotthard und die damit verbundene Behinderung des Baustellenverkehrs während der Einbauzeit des Belages sowie die sich stellenden Probleme bei Reparaturen und einer allfälligen Belagserneuerung. Die Helligkeit des Betonbelages ist zweifelsohne ein viel zitiertes Kriterium, aber erst dann entscheidend, wenn die Auslegung der Beleuchtung parallel zur Belagswahl erfolgt oder wenn eine stufenlose Helligkeitsveränderung der Lampen möglich ist, die auch in den unteren Stufen eine spürbare Energieeinsparung bringt.

Belageinbau

Die Belagsarbeiten wurden in zwei Losungen vergeben an die Konsortien

- Schnyder-Plüss AG, Rotzloch/Walo
- Bertschinger AG, Luzern/Marti AG, Stans/Arbeitsgemeinschaft Nord, Beckenried
- Arbeitsgemeinschaft Huttegg, Bauen/Gebr. Brun AG, Luzern/Marti AG, Bern.

In beiden Losen kam derselbe konventionelle Maschinenpark mit Längsglättler zum Einsatz (Bild 20). Die Querfugen, alle 5 m im Hufeisen- und alle 8 m im Kreisprofil, und die Längsfugen wurden in den noch jungen Beton gefräst und vergossen.

Als Novum darf erwähnt werden, dass im einen Los versucht wurde, das Abweichen von den VSS-Normen und ihren Grenzwerten durch Abzug an den Preisen zu «bestrafen», wie es im Kanton Bern bei Schwarzbelägen bereits üblich ist. Der Versuch verlief insofern erfolgreich, als der Belag weder in der Qualität (Dosierung, Festigkeiten) und Quantität (Belagsdicke) noch in der verlangten Höhengenaugigkeit und Ebenheit von den Sollwerten abwich und damit ein preislicher Abzug überhaupt nicht zur Diskussion stand.

Montagearbeiten

Die Arbeiten für die Montage der elektrischen und mechanischen Einrichtungen setzten im Februar 1978 in der Bergröhre und im Oktober 1978 in der Seerröhre ein und dauerten bis zum Oktober 1980 (Bild 21). In dieser Zeit waren über 35 Firmen mit 175 bis 200 Monteuren im Tunnel, in den Lüftungszentralen, in den Querschlägen, bei den Mündungsbauwerken und in den beiden Kommandozentralen beschäftigt (Bild 22).

Nach Fertigstellung der einzelnen Anlagegruppen prüften Teams von Spezialisten die Anlagen. Die *Tests* umfassten die Überprüfung der zahlenmässig umfangreichen Verknüpfungen, Rückmeldungen und Befehle auf ihre richtigen Funktionen. Auftretende Montage- und Funktionsfehler konnten damit recht-

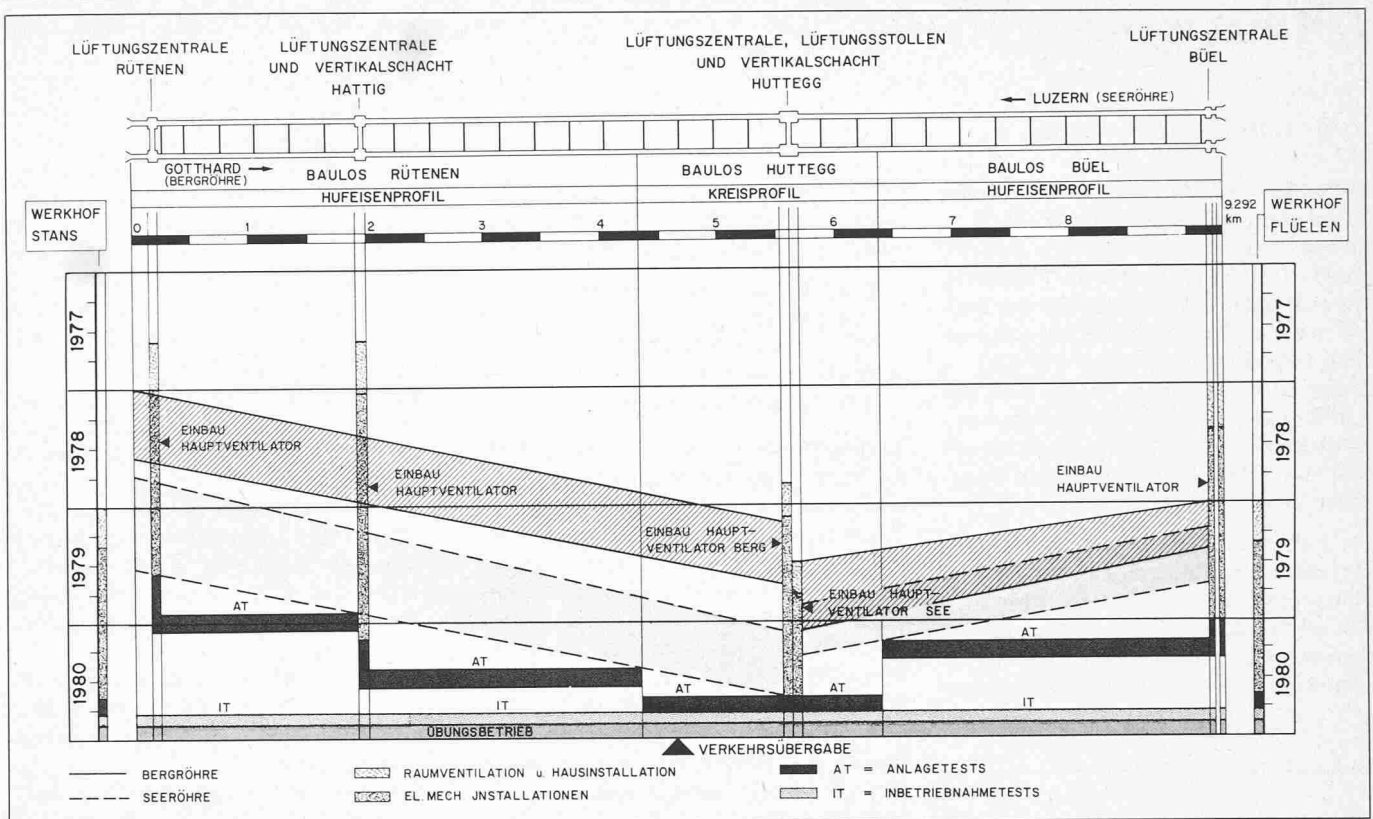


Bild 21. Verlauf der elektro-mechanischen Montagearbeiten



Bild 22. Montagearbeiten im Kommandoraum der Lüftungszentrale Huttegg

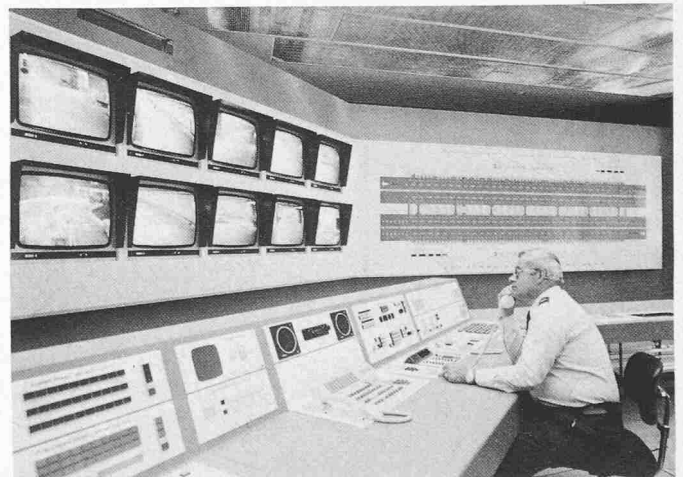


Bild 23. Kommandoraum Stans, Verkehrsüberwachung

zeitig festgestellt und korrigiert werden. Durch die Tests wurden die einzelnen Anlagegruppen auf ihr funktionelles Zusammenwirken für den Gesamtbetrieb vorbereitet und das Zusammenwirken sämtlicher Anlagen mit dem umfangreichen Inbetriebnahmetest in den Monaten Oktober und November 1980 überprüft.

Das *Betriebspersonal* ist während der Montage und der Testphasen ausgebildet worden, indem es

- bei den Arbeiten und den Tests mitwirkte,
- Unterhaltsarbeiten an bereits in Betrieb stehenden Anlagen ausführte und

- an Einführungskursen der Montageleitung und von Lieferanten teilnahm.

Besondere *Kurse* wurden auch für das *Polizeipersonal* durchgeführt, das die Verkehrsüberwachung und -regelung mit den modernen technischen Einrichtungen übernehmen wird. Die Übergabe der Anlagen an das Betriebspersonal und an die Polizei erfolgte im November 1980 (Bild 23). Dem Betriebs- und Bedienungspersonal standen somit rund sechs Wochen zur Verfügung, um sich mit der anspruchsvollen Aufgabe vertraut zu machen.

Mit der Eröffnung des Tunnels am 12.

Dezember 1980 unterliegen die technischen Anlagen erstmals den praktischen Betriebsverhältnissen. Das ist auch der Zeitpunkt, von dem an die gesamte Tunnelanlage auf ihre wirtschaftlich optimale Betriebsweise eingestellt werden kann. Dem Betriebspersonal stehen in dieser wichtigen Phase die Montageleitung und die Lieferanten weiterhin zur Verfügung.

Adresse der Verfasser: E. Meyer, dipl. Ing. ETH, Vizedirektor, Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, 8022 Zürich, F. von Mandach, dipl. Ing. ETH, Direktor, Suisselectra Ingenieurunternehmung AG, 4010 Basel, M. Hasler, dipl. Ing. ETH, Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, 8022 Zürich und H. Kress, El.-Ing. HTL, Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, 8022 Zürich