Tunnelfunkanlage : Aspekte der Sicherung

Autor(en): **Eggli, H.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **73 (1982)**

Heft 13

PDF erstellt am: **28.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-904982

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

Tunnelfunkanlage: Aspekte der Sicherung

H. Eggli

621.396:656.1:624.19

Die Funkversorgung wurde durch die PTT-Betriebe projektiert und der Autophon AG zum Bau vergeben. Um den abonnierten Funkbenützern (Kantonspolizei und Strassenunterhalt) der Kantone Uri und Tessin einen störungsfreien Betrieb zu gewährleisten, wurden an die Sicherung der Anlage hohe Anforderungen gestellt. Im nachfolgenden Bericht werden Versorgungskonzept und die getroffenen Massnahmen näher beschrieben.

L'installation radiophonique a été conçue par l'Entreprise des PTT et son exécution confiée à la S. A. Autophon. Pour garantir aux utilisateurs abonnés (police cantonale et voirie) des Cantons d'Uri et du Tessin un fonctionnement exempt de perturbations, de sévères exigences ont été posées à la sécurité de cette installation. La conception de l'alimentation et les dispositions prises sont décrites en détail.

1. Einleitung

Von seiner Bedeutung als Nord-Süd-Verkehrsachse Europas absehend, stellt der 16,3 km lange Gotthard-Strassentunnel für den Automobilisten auch einen touristischen Anziehungspunkt dar. Dieser Verkehrsträger, nur von zwei Enden zugänglich, kann aber mit kleinen Ursachen plötzlich zu einer Falle werden mit potenzierten Gefahren für Menschenleben.

Diesem Umstand haben die verantwortlichen kantonalen Behörden ihre volle Aufmerksamkeit geschenkt und sich daher, trotz Installation einer Nottelefonanlage, auch für eine Tunnelfunkversorgung entschieden. An diese haben sie die Forderung gestellt, dass gerade auch in Katastrophenfällen die Funkverbindungen der Hilfeleistungsorgane sichergestellt werden müssen. Gepaart mit den üblichen Bauvorschriften im Telefonverkehr haben die PTT-Betriebe eine Tunnelfunkanlage erstellt, die den hohen Sicherheitsbedürfnissen entspricht [1; 2; 3].

2. Prinzip der Tunnelfunkversorgung

Die Tunnelfunkversorgung beruht auf der Anwendung eines koaxialen Kabels mit HF-durchlässigem Aussenmantel (Abschirmung), das sich «giesskannenähnlich» für das Senden und Empfangen von Radiosignalen eignet.

Da physikalisch die Problematik sehr komplex ist, wurde der im Gotthard-Strassentunnel verwendete Kabeltyp der Huber+Suhner AG aufgrund von empirischen Messungen entwickelt [4]. Damit wurde ein Funkbetrieb bei Frequenzen zwischen 60 und 180 MHz ermöglicht, der mit kleinen Sendeleistungen (500 mW) auskommt und folgende Kabeleigenschaften aufweist:

Kabeldämpfung bei	80 MHz:	20 dB/km
	160 MHz:	33 dB/km
Koppeldämpfung zur Fahrzeugantenne:		76 dB

Infolge der Reflexionen an den Tunnelwänden bleibt diese Koppeldämpfung zwischen Strahlungskabel und Fahrzeugantenne über den erwähnten Frequenzbereich annähernd konstant.

Zur Kompensation der HF-Kabelverluste sind alle 600 bis 800 m Breitbandverstärker erforderlich, so dass die Energie gerichtet wird. Die Sender wurden daher über ein Koppelnetzwerk (Combiner) am Kabelanfang (Airolo) und die entsprechenden Empfänger über «Divider» entkoppelt am Kabelende (Göschenen) angeschlossen. Für die einzelnen Sprechfunkkanäle sind Zweifrequenz-Systeme erforderlich, damit von den Sendern und Empfängern die NF-Modulation als Relais für Mobil-Mobil-Verbindungen im Tunnel geschaltet werden können; gleichzeitig sind aber Mobil-Fix-Verbindungen (Duplex) mit den Kommandozentralen möglich. Mit Einfrequenz-Systemen sind mit Simplex-Wechselsprechen nur Mobil-Fix-Verbindungen möglich, da bei einem Relais-Betrieb ein Mitkopplungskreis geschlossen würde (Mikrophonie).

3. Tunnelfunkanlage mit «Katastrophensicherheit»

Nach den Angaben der Bauingenieure ist bei Brandausbruch mit einer Hitzewirkung an der Fahrraumdecke von ca. 1000 °C während 5 min zu rechnen und anschliessend mit einem Temperaturrückgang auf 250 °C innert 25 min. Auch in diesen Fällen ist die Funkversorgung auf den Fahrbahnen und in den Ausstellnischen lückenlos zu gewährleisten.

Bei den erwähnten Temperaturen muss mit einem Durchschmelzen des strahlenden Koaxialkabels gerechnet werden, das an der Tunneldecke verlegt werden muss. Die für die Funkversorgung notwendigen Drahtverbindungen gelten anderseits als katastrophensicher, da sie in Rohren unter dem Gehweg verlegt sind.

Zur Sicherstellung des Funkbetriebes bei einem Unterbruch des Strahlungskabels musste ein zweites Strahlungskabel (Nr. 2) verlegt werden mit kaskadierten Breitbandverstärkern, jedoch in umgekehrter Energierichtung zu Kabel Nr. 1 (Fig. 1). Von Kabel Nr. 2 mussten demnach die Sender in Göschenen und die Empfänger in Airolo installiert werden.

Mit dem zweiten Strahlungskabel wird einerseits bei Normalbetrieb die Kapazität der Anlage von 8 auf 16 Funksysteme

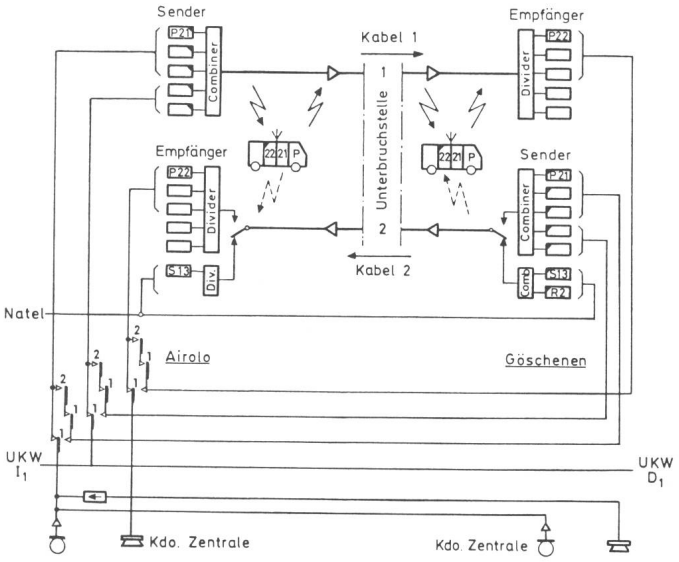

Fig. 1 Prinzip der Tunnelfunkanlage mit Katastrophensicherheit
1 Kriterium Unterbruch Kabel 1
2 Kriterium Unterbruch Kabel 2

(Anschlüsse) erhöht. Auf Kabel Nr. 2 wurde das nationale Autotelefonsystem (NATEL) geschaltet mit dem Rufkanal (R1) und einem Duplex-Sprechkanal (S13) sowie weitere Dienstleistungssysteme der PTT. Aus Tabelle I wird die Belegung der 16 Anschlüsse ersichtlich. Die mit K bezeichneten Systeme sind auf Kabel Nr. 2 mit Redundanz ausgerüstet.

Im Katastrophenfall wird die Funkversorgung bei der Unterbruchstelle (beider Kabel!) HF-mässig in zwei unabhängige Tunnelfunkanlagen aufgeteilt, bei denen sich die Sende- und Empfangsausrüstungen am gleichen Tunnelende befinden. Dabei werden mit dem Koax-Umschalter die üblichen Systeme (z.B. NATEL) von Kabel Nr. 2 abgetrennt und von den gesicherten Systemen die Redundanzausrüstungen aufgeschaltet. Von diesen «unabhängigen Anlagen» sind die Steuer- und Modulationsleitungen so zusammengeschaltet, dass beide wie eine einzige Anlage wirken.

Die Fahrzeuge können sich, unabhängig von ihrem Tunnelstandort, sowohl im Relaisbetrieb (Mobil-Mobil) als auch im Duplexbetrieb (Mobil-Fix) mit den Sprechstellen in den Kommandozentralen Göschenen und Airolo verständigen.

Erhöhte Sicherheit durch drei Betriebszustände für die Sprechfunksysteme auf Strahlungskabel Nr. 1.

Im *Normalbetrieb* können über beide Strahlungskabel total 16 Sprechfunksysteme (Simplex oder Duplex) gleichzeitig betrieben werden. Die Redundanzausrüstungen sind als aktive Reserve geschaltet.

Bei *Redundanzbetrieb* (Strahlungskabel Nr. 1 unterbrochen) werden vom Strahlungskabel Nr. 2 mit den Koax-Umschaltern die üblichen Funksysteme abgetrennt und die Redundanzausrüstungen angeschaltet. Die Ausrüstungen am unterbrochenen Strahlungskabel werden in Reserve geschaltet.

Belegung der Tunnelfunkanlage Tabelle I

Kabel	Anschlussnummer	Dienst/Kanal	Betriebsart
Nr. 1	*1* K	Kantonspolizei Tessin/Uri	Duplex
	2 K	Unterhaltsdienst Tessin	Duplex
	3 K	Unterhaltsdienst Uri	Duplex
	4		
	5		
	6		
	7 K	Verkehrsfunk	UKW-D1
	8 K	Verkehrsfunk	UKW-I1
Nr. 2	*9*	PTT-Natel S13 PTT-Natel R1 PTT AR (N)	Duplex Rufkanal Autoruf
	10		
	11		
	12		
	13		
	14		
	15		
	16		

K = Mit Redundanz katastrophengesicherte Dienste.
Pilotfrequenzen je Kabel P_1 = 63,500 MHz, P_2 = 180,000 MHz.

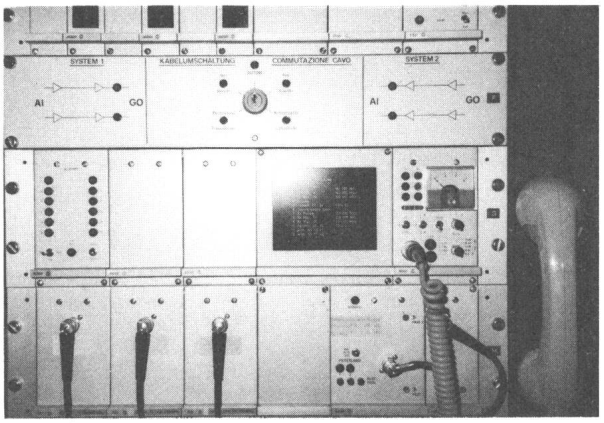

Fig. 2 Kopfstation Airolo: Betriebsartenschalter

Bei *Katastrophenbetrieb* (beide Strahlungskabel unterbrochen) werden zum Redundanzbetrieb die Funksysteme auf Strahlungskabel Nr. 1 zusätzlich wieder aktiv geschaltet.

Diese Betriebszustände werden mit den Kriterien der Pilot-Alarmempfänger in den Kopfstationen automatisch gesteuert und beziehen sich auf einen *galvanischen Unterbruch* der Strahlungskabel. Die Pilotsignale dienen aber auch als Referenz für eine Pegelregulierung, so dass bei einem Unterbruch (keine Pilotreferenz) die geregelten Breitbandverstärker sich automatisch auf einen voreingestellten Verstärkungsgrad einstellen müssen.

Der Ausfall eines einzelnen Systems auf Kabel 1 (z.B. UKW- oder Polizeikanal) wird lediglich alarmiert. Aufgrund einer Absprache (taktischer Entscheid) kann mit dem Betriebsartenschalter (Fig. 2) in der Kopfstation manuell auf Redundanzbetrieb umgeschaltet werden.

Da die Funkausrüstungen auch im unbenützten Zustand überwacht werden, dürfen sie nicht von ihren Speisungen getrennt werden. Je nach Betriebszustand werden daher, um Gleichkanalbetrieb der Sender zu vermeiden, lediglich ihre Tastkriterien unterbrochen. Für die Empfänger gilt dies analog mit dem Trägersquelch. Eine Alarmierung defekter Funkausrüstungen erfolgt erst bei Ausfall eines erwarteten Tast- oder Trägersquelchkriteriums.

4. Sprechstellen in den Kommandozentralen

Aufgegliedert nach ihren Aufgabenbereichen sind die Kommandozentralen Airolo und Göschenen je mit Sprechstellen «Verkehr» (Polizei) und «Betrieb» (Strassenunterhalt) ausgerüstet (Fig. 3), von welchen aus über die Funkkanäle mit den Fahrzeugen im Tunnel Funkgespräche geführt werden können. Die Sprechstellen werden selektiv aufgerufen, mit akustischer und optischer Anzeige. Die Gespräche auf den Polizeisprechstellen können auf Tonband aufgenommen werden. Ein abgehender Selektivruf von den Sprechstellen ist nachzurüsten.

4.1 Funkzentrale zur Weitervermittlung der Tunnelfunkkanäle

Auf den Sprechstellen Verkehr und Betrieb können die Funkverbindungen von den Fahrzeugen mit Gesprächspartnern ihrer externen Netze im Simplex- oder Duplexverkehr weitervermittelt werden (Fig. 4). Die Duplexkanäle der Kantonspolizei können ausserdem auf das Telefonnetz der PTT durchgeschaltet werden. Für diese Handvermittlungen wurde eine prozessorgesteuerte Vermittlerzentrale FZ 300 verwendet, bei der, im Gegensatz zu den konventionellen Zentralen, die

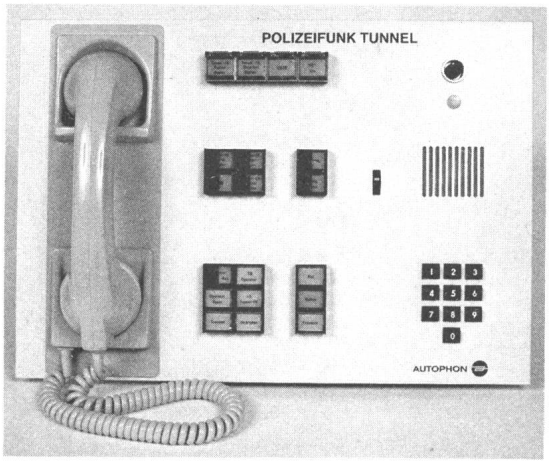

Fig. 3 Sprechstelle «Verkehr»

Leitungssätze mit ihren spezifischen Anpassungen für Funk- und Telefonverbindungen (Simplex, Duplex, LB-, ZB-Telefon) vorhanden sind. Die Durchschaltung (Vermittlung) erfolgt über ein Koppelfeld.

Für die Steuerung werden Mikroprozessoren des Typs 8085 Intel mit 8 Datenbussen und 16 Adressleitungen verwendet. Sie sind so programmiert, dass auf dem Koppelfeld ausschliesslich die zugelassenen Durchschaltungen möglich sind.

4.2 Funkzentrale mit doppelter Steuereinheit

Um eine erhöhte Betriebssicherheit zu erzielen, sind in der Vermittlungstechnik die konzentrierten Organe wie Mikroprozessorsteuerungen verdoppelt (Fig. 5). Da nur im Pannen-

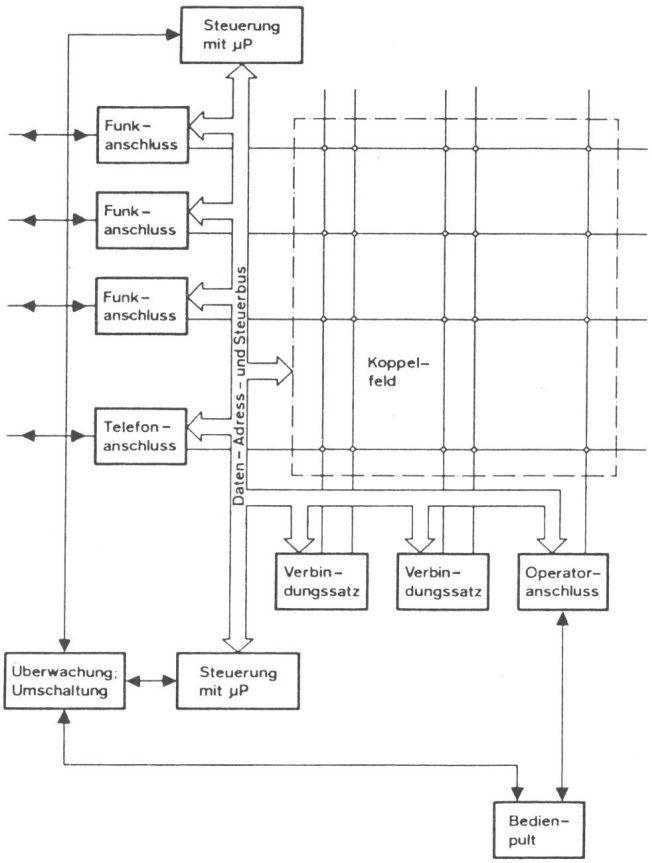

Fig. 4 Blockschema der Vermittlerzentrale

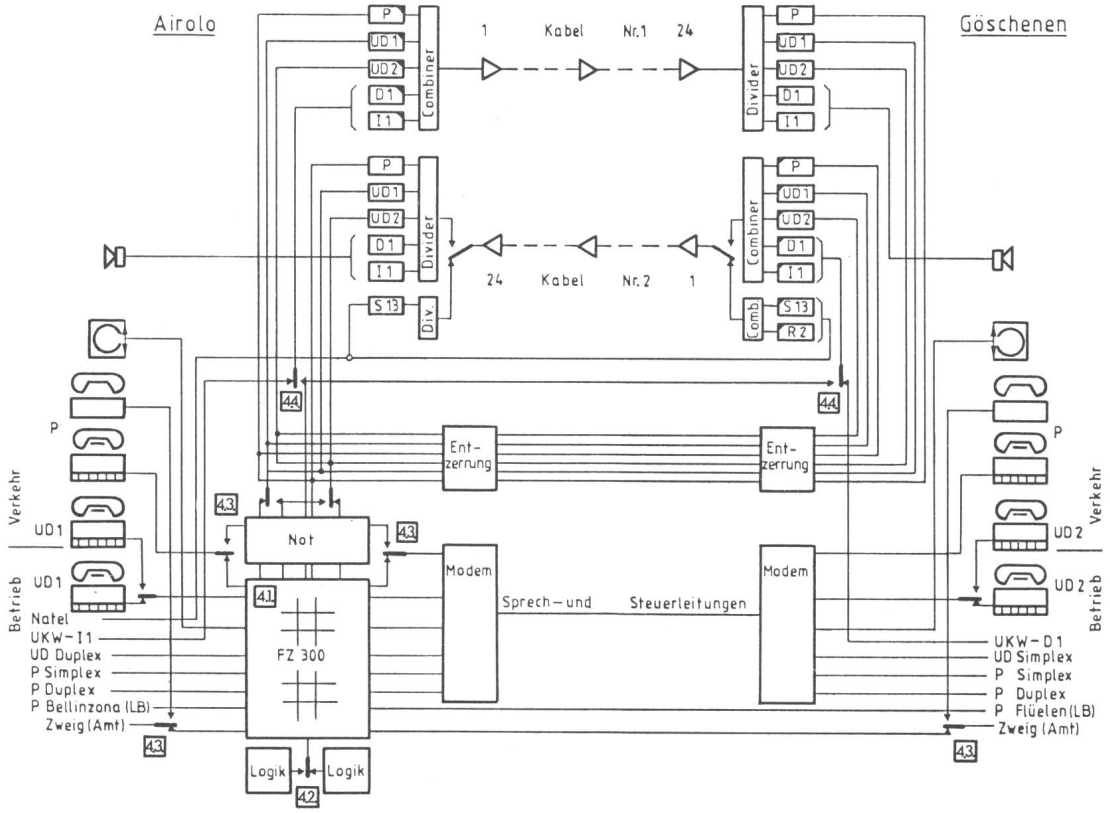

Fig. 5 Blockschema der Tunnelanlage

4.1 Vermittlerzentrale FZ 300
4.2 Doppelte Steuerlogik der FZ 300
4.3 Umschaltkriterien bei Notschaltung
4.4 Umschaltkriterien bei Verkehrsdurchsagen der Polizei über UKW D 1 und I 1

fall eine sofortige Verfügbarkeit erforderlich ist, schaltet eine Überwachungs- und Umschalteinheit abwechslungsweise nur alle 24 Stunden auf die andere Prozessorsteuerung um, sofern sie im Moment keine Steuerfunktionen auszuführen hat. Im Störungsfall wird augenblicklich auf den intakten Mikroprozessor umgeschaltet und die Rückschaltung gesperrt. Ein Verlust der momentanen Steuerinformation wird in diesem Fall in Kauf genommen.

4.3 Notverbindungen bei Ausfall der Vermittlerzentrale

Bei Ausfall der Vermittlerzentrale würde die Tunnelfunkanlage blockiert (unbenutzbar). Bei dringendem Bedarf der Tunnelfunkkanäle kann auf der Sprechstelle Verkehr die abgedeckte Nottaste betätigt werden, mit welcher die Sprechstelle ohne Vermittlungsmöglichkeiten direkt mit der Funkausrüstung verbunden wird (Fig. 5).

Von diesen Polizeisprechstellen sind je getrennt Funkverbindungen mit Mobilen über einen Polizei- oder Unterhaltskanal noch möglich. Der Relaisbetrieb ist nur möglich, solange der Kanal auf der Sprechstelle nicht benützt wird. Daneben sind auch die UKW-Verkehrsdurchsagen sichergestellt.

4.4 Verkehrsdurchsagen an UKW-Hörer im Tunnel

Vor der Einfahrt in den Tunnel fällt dem Automobilisten ein Verkehrssignal auf, das ihn zum Einschalten seines UKW-Empfängers auffordert (Fig. 6). Eine allfällige Neuabstimmung ist nicht erforderlich, da dieselben Kanäle UKW-D1 (deutsch) und UKW-I1 (italienisch) ausgestrahlt werden, wie vor dem Tunnel. Auch in den nächtlichen Sendepausen oder bei Modulationspannen sind die angeschriebenen Kanäle im Betrieb, da sie mit analogen Ersatzprogrammen des Telefon-Rundspruchs moduliert werden.

Anstelle dieser Programme können von den Sprechstellen Verkehr (Göschenen oder Airolo) durch die Polizei Mitteilungen an die Automobilisten übertragen werden. Da sie aber gleichzeitig über beide UKW-Kanäle (D1 und I1) erfolgen, sind sie in beiden Sprachen durchzusagen.

5. Sicherheitsgrundsätze der Infrastruktur der Tunnelfunkanlage

Auf der 16 km langen Strecke verteilen sich die Tunnelfunkausrüstungen auf 30 verschiedene Standorte.

– Für den geforderten betrieblichen Sicherheitsgrad wurden bauseits überall Anschlüsse an das unterbruchslose, wechselrichtergesicherte Netz 220 V~ zur Verfügung gestellt. An den Kopfstationen (Göschenen und Airolo) ist ausserdem die 48-V=-Batteriespeisung für die hochintegrierte Technologie der Vermittlerzentrale und der NF-Übertragungsmodem vorhanden.

– Jede Steuereinheit, Funkausrüstung oder Vermittlereinheit wurde mit eigenem, überwachtem Leitungsschutz (Leitungsschutzschalter) und mit Feinsicherung versehen, um bei Ansprechen eines Sicherungselementes den Ausfall der ganzen Tunnelfunkanlage zu verhindern.

– Für Modulationsleitungen mit besonderen Qualitätsanforderungen wie UKW, NATEL usw. wurden bei lokalen Installationen Fernmeldekabel mit abgeschirmten Aderpaaren verwendet, um einen Schutz gegen Induktionsstörungen vom Energienetz zu gewährleisten.

– Für die Sprechleitungen zwischen Göschenen und Airolo standen bauseits Aderpaare in einem Bezirkskabel mit H70-Pupinisierung zur Verfügung, die allerdings nach der 16 km langen Strecke entzerrt (Frequenzgang 300–3400 Hz) und verstärkt werden mussten (Leitungsanfang −3 dBm/600 Ω; Leitungsende −9 dBm/600 Ω), für einen Nominalhub von 3 kHz der frequenzmodulierten Sprechfunksender.

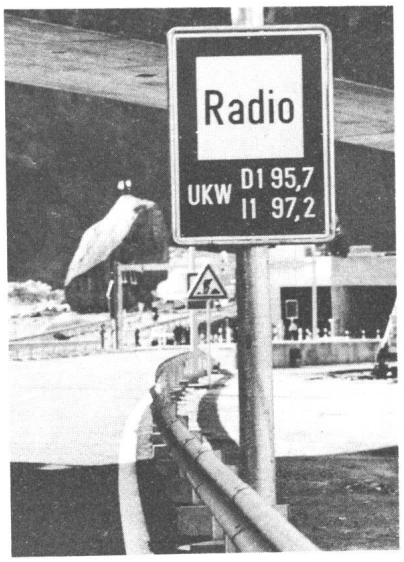

Fig. 6
Am Tunneleingang «UKW einschalten!»

– Die Kabelinstallationen wurden so über Trennstrips geführt, dass Unterhalt und Revisionen getrennt nach NF- und HF-Ausrüstungen möglich sind.

– Bei einer derart ausgedehnten Fernmeldeanlage, deren Ausfallwahrscheinlichkeit sich auf kleinere Einheiten konzentriert, ist eine Überwachungsanlage mit ausreichendem Auflösungsvermögen erforderlich. Die in Airolo gesammelten Alarminformationen werden verarbeitet, bevor sie über das Betriebsführungssystem der PTT an die Kreistelefondirektion Bellinzona übermittelt werden. Damit wird das PTT-Betriebspersonal laufend über den Zustand dieser Anlage informiert, so dass es auftretende Störungen zeitgerecht eingrenzen und beheben kann.

6. Projektorganisation und Betriebsübergabe der Anlage

Die Problematik der Tunnelfunkanlage beansprucht ein breites Spektrum der Fernmeldetechnik der PTT: drahtlose Übertragungstechnik, drahtgebundene Übertragungstechnik, Vermittlungstechnik und Fernwirktechnik.

Die Projektierung der Anlage lag unter der Leitung der Radio- und Fernseh-Abteilung der Generaldirektion PTT, der ein Projektleiterstab mit Vertretern der vorerwähnten PTT-Fachdienste zur Verfügung stand. Je nach Baufortschritt wurden die Anlage-Einheiten durch die zuständige Bereichsleitung abgenommen. Im Beisein von Vertretern der Generalunternehmung (Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG) sowie der Abonnierten der Kantone (mit 8 Funkfahrzeugen) führte der PTT-Projektleiterstab während einer Woche nach einem Programm konzentrierte Betriebsversuche durch.

Bei den Betriebsversuchen mit 2 Duplexkanälen (beide Kanäle mit gleichem Duplex-Frequenzabstand) hat sich die Notwendigkeit der Trägersquelchschaltung für die Fix-Empfänger bestätigt, bei welchen ihre HF-Empfindlichkeit auf +15 dB/μV einzustellen war. Mit dieser Massnahme wurden die Intermodulationsstörungen unterdrückt, die bei 5%-Orts-

wahrscheinlichkeit (2 Funkgeräte auf 50 m Distanz beidseits eines Breitbandverstärkers) auftreten würden.

Aufgrund der Konzentrationsversuche konnte die Erfüllung der gestellten Betriebsbedingungen bestätigt werden, so dass die Anlage am 4. Juli 1980 dem Betrieb übergeben werden konnte. Im Hinblick auf dessen Einsatz wurde das Bedienungspersonal von Polizei und Strassenunterhalt instruiert und in einer mehrtägigen Verbindungsübung mit der Tunnelfunkanlage vertraut gemacht.

Literatur

[1] *O. Grüssi* und *P. König:* Funkversorgung in Strassentunnels. Bern, Techn. Mitt. PTT 55(1977)10, S. 436...445.

[2] *H.-R. Meyer:* Funkversorgung im Gotthardtunnel. Bern, Techn. Mitt. PTT 58(1980)12, S. 466...480.

[3] *D. Berner:* Funk- und Radioempfang im Gotthard-Strassentunnel. Bulletin Autophon 21, S. 9...11.

[4] *R. Jäggi:* Kabelanlagen im Strassentunnel. Bulletin Autophon 21, S. 16...18.

Adresse des Autors

Heinrich Eggli, Generaldirektion PTT, 3000 Bern.