Tunnelfunkanlage : Aufbau und Betriebserfahrung

Autor(en): **Meyer, H. R.**

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-904981

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: Aufbau und Betriebserfahrung

H. R. Meyer

624.19:621.396:656.1;

Es wird über den Aufbau und die Betriebserfahrungen der ersten eineinhalb Jahre der längsten Tunnelfunkanlage der Welt berichtet. Das im Gotthardstrassentunnel angewendete Einrichtungssystem mit 24 kaskadierten Breitbandverstärkern wird näher beschrieben. Zum Schluss wird auf die Probleme infolge starker Luftfeuchtigkeit im Tunnel und deren Behebung eingegangen.

Descriptions de la construction et des expériences d'exploitation de la plus longue installation radiophonique de tunnel routier, en fonction depuis 18 mois. Le système utilisé dans le tunnel du Saint-Gothard comprend 24 amplificateurs à large bande en cascade. La forte humidité de l'air dans le tunnel présentait des problèmes qu'il s'agissait de résoudre.

1. Einleitung

Die von Autophon AG im Auftrage und in Zusammenarbeit mit der PTT realisierte Anlage im Gotthardstrassentunnel der Nationalstrasse N2 ist eine Funkversorgung, die in einer Richtung arbeitet. Beim Südportal ist die Sendestelle installiert und beim Nordportal die dazugehörende Empfangsstelle. Zwischen diesen beiden Kopfstationen wird die HF-Energie mittels eines strahlenden Koaxialkabels, das an der Tunneldecke montiert ist, abgestrahlt (Richtung Mobil) und in umgekehrter Richtung aufgenommen und zu den entsprechenden Empfängern auf der Nordseite des Tunnels geführt. Die im Kabel entstehenden Verluste von 550 dB werden durch 24 in Reihe geschaltete Breitbandverstärker kompensiert. Die Abstände zwischen den eingesetzten Verstärkern betragen 600 bis 800 m, was durch die baulichen Gegebenheiten (Querschläge) vorgegeben war. Um die alterungsbedingte (Langzeitänderung) wie auch die feuchtigkeitsbedingte (Kurzzeitänderung) Dämpfungszunahme auszugleichen, sind mehrere Verstärker mit einer automatischen Pegelregulierung ausgerüstet. Diese wird durch zwei Pilotfrequenzen, 63,5 MHz (unteres Bandende) und 180 MHz (oberes Bandende), gesteuert.

Die Bedienung der ganzen Anlage erfolgt durch eine mikroprozessorgesteuerte Vermittlerzentrale, die sich in Airolo befindet. Die Steuerung durch je 3 Kommandogeräte ist in den beiden Kommandoräumen (Airolo und Göschenen) angeordnet (Fig. 1).

Da bei einer derartigen Anlage hohe sicherungstechnische Anforderungen gestellt werden, ist in diesem Tunnel noch ein Redundanzkabel verlegt worden. Sein Einsatz ist im Aufsatz [3] näher beschrieben.

Dieser Aufsatz ist eine überarbeitete Fassung von [1].

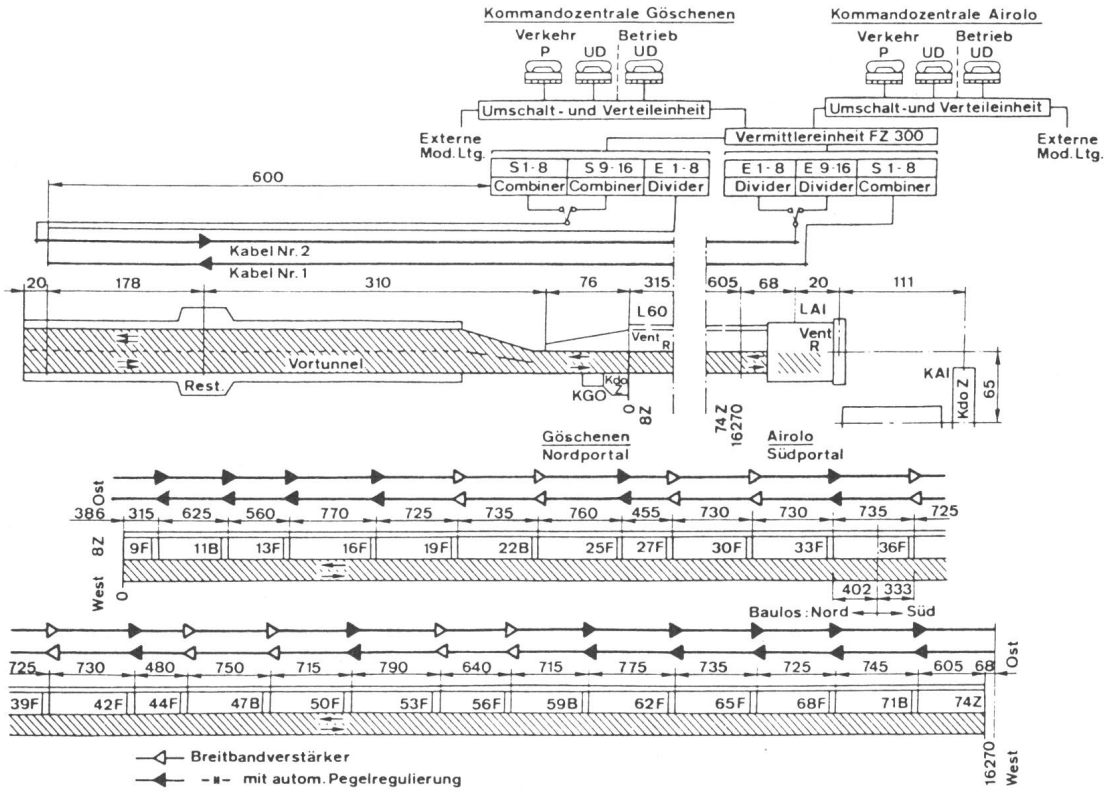

Fig. 1 Schematische Übersicht über die Tunnelfunkanlage

P	Polizei	LGO	Lüftungszentrale Göschenen
UD	Unterhaltsdienst	KAI	Kommando Airolo
S	Sender	KGO	Kommando Göschenen
E	Empfänger	Mod. Ltg.	Modulationsleitungen
LAI	Lüftungszentrale Airolo		

2. Kopfstationen

Je eine Kopfstation ist in Airolo (Sendestelle) und in Göschenen (Empfangsstelle) im Portalwerk installiert (Fig. 2). Die komplette Anlage inklusive Redundanz ist in einem schwenkbaren Stahlschrank aufgebaut und besitzt folgende wichtige Baugruppenträger (Senderstelle Airolo).

Senderchassis

Die eingesetzten Sender der Funkfamilie SE 55 weisen gegenüber der Normalausführung einige Besonderheiten auf, die speziell für die Speisung von Breitbandtunnelversorgungssystemen entwickelt wurden: Erstens eine pro Kanal individuell einstellbare Ausgangsleistung im Bereiche von 1...5 W und zweitens einen Isolator, um auftretende Senderintermodulationsprodukte bei den Einspeisepunkten (Combiner) auf einen kaum messbaren Wert zu reduzieren.

Combinerchassis

Neben dem erwähnten Combiner für 8 HF-Eingänge befinden sich auf diesem Chassisträger (Fig. 3) die HF-Filter der Sender und die speziellen Koppler für die Einspeisung der Pilotsender und der Messkoppler in der HF-Ausgangsleitung nach dem Strahlkabel. An diesem Kopplerausgang können alle HF-Pegel kontrolliert und gemessen werden, ohne einen Eingriff in die arbeitende Anlage vorzunehmen.

Pilotsenderchassis

In diesem Träger ist das Herz der ganzen Tunnelinfrastruktur eingebaut, d.h., hier befinden sich die beiden Pilotsender für das untere wie auch die beiden Sender für das obere Bandende. Wegen ihrer grossen Wichtigkeit befinden sich je 1 Sender in Hot-standby. Die Aufgabe dieser Sender besteht darin, die ganze Anlage zu überwachen und die in der Kabelanlage eingebauten Breitbandverstärker je nach Kabeldämpfung zu regeln.

NF-Chassis

Hier werden die eintreffenden NF-Leitungen der angeschlossenen Dienste bezüglich Pegel und Frequenzgang (Entzerrer) für das für die Sender vorgeschriebene Modulationssignal aufbereitet. An eingebauten Meßsteckern kann das Signal jederzeit gemessen und kontrolliert werden. Ebenfalls befindet sich hier die Tonsteuereinheit für die individuelle Tastung der Sender von der Funkzentrale aus.

Mess- und Alarmchassis

Dieser Baugruppenträger beherbergt den Alarmeinschub, in welchem alle eintreffenden Alarme der Anlage durch LED-Dioden lokal angezeigt werden und durch den Relaiseinschub einzeln an das Alarmsystem [4] weitergeleitet werden. Im Messeinschub können die im Betrieb stehenden Kanäle 1 bis 3 [3] HF- wie auch NF-mässig lokal überwacht und gemessen werden. Ebenfalls in diesem Einschub ist der Servicekanal für diese Kanäle integriert.

Netzchassis

Aus Sicherheitsgründen arbeiten zwei Netzgeräte (220 V~/ 12 V=) gleichzeitig im Parallelbetrieb. Jedes Netzgerät wird durch eine separate Leitung vom gesicherten 220-V~-Netz gespeist und auch überwacht.

Bei der gegenüberliegenden Kopfstation (Empfangsstelle Göschenen) sind folgende Baugruppenträger von Wichtigkeit:

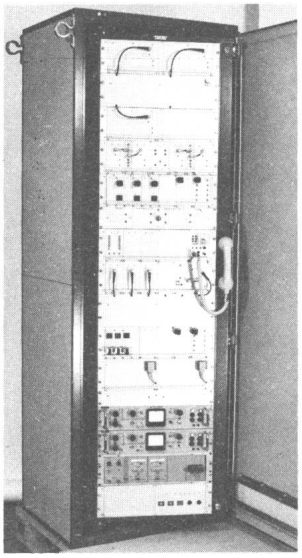

Fig. 2
Funkanlage der Kopfstation Airolo
Oben:
Sender, Combiner und Pilotsender
Mitte:
Alarm und Messen
Unten:
Speisung und UKW-Sender

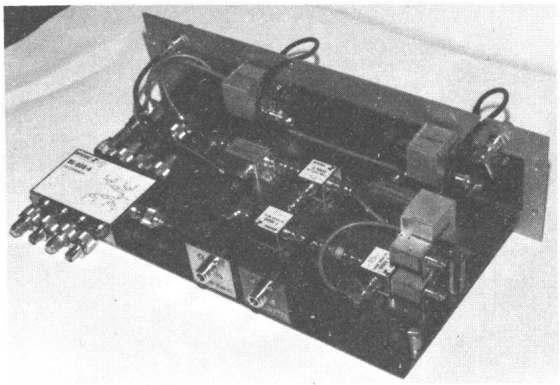

Fig. 3 Ausgezogener Combiner-Einschub

Empfängerchassis

Die Empfänger (Verbindung Mobil Richtung Funkzentrale), die auf diesem Baugruppenträger plaziert sind, besitzen einen neu entwickelten Trägersquelch, der eine einstellbare Empfindlichkeitsschwelle besitzt. Diese Neuentwicklung wurde notwendig, um bei einer derart langen Kabelanlage mit 24 hintereinandergeschalteten Verstärkern die auftretenden Intermodulationsstörungen, die beim gleichzeitigen Betrieb von zwei Kanälen mit gleichem Duplexabstand auftreten können, deren Wirksamkeit auf gegenseitige Störbeeinflussung zu eliminieren.

Ebenfalls auf diesem Chassis ist der das Kabel überwachende Doppelpilotempfänger angeordnet. Seine Aufgabe besteht einerseits in der Alarmierung, anderseits in der Umschaltung auf das Redundanzkabel [3].

Dividerchassis

Auf diesem Chassiseinschub ist das Gegenstück zum Combinerchassis aufgebaut, d.h. die eintreffenden HF-Signale werden auf ihre entsprechenden Empfänger aufgeteilt. Über einen speziellen Koppler werden hier die Signale für den Pilotempfänger abgezweigt. Ebenfalls ist ein Messkoppler integriert, mit dem alle eintreffenden HF-Signale ab Kabel gemessen werden können.

NF-Chassis

In diesem Baugruppenträger werden die vom Empfänger abgegebenen Modulationssignale auf den richtigen Pegel an-

gehoben und über das NF-Leitungssystem der Funkzentrale zugeführt. Der Steuereinschub für die tonfrequente Übertragung der einzelnen Squelchsignale zur Steuerung der Funkzentrale ist ebenfalls hier plaziert.

Analog zum Senderschrank besitzt auch diese Kopfstation ein Alarm- und Messchassis. Die Netzversorgung ist gleich aufgebaut wie in Airolo.

Da die Tunnelfunkanlage aus Sicherheitsgründen ein Redundanznetz umfasst, das in umgekehrter Richtung verläuft, sind dazu diese Sender im Empfänger- und die dazugehörigen Empfänger im Senderschrank integriert.

3. Kabelanlage

Wie beschrieben, wird ein System mit HF-Einspeisung an den Tunnelenden und einer grossen Zahl breitbandiger Zwischenverstärker angewendet. Weil gemäss Pflichtenheft PTT absolute Betriebssicherheit auf der gesamten Übertragungsstrecke verlangt wurde, war die Verlegung von zwei getrennten HF-Kabeln notwendig. Die Anordnung der Zwischenverstärker war durch bauliche Gegebenheiten festgelegt.

Im HF-Übertragungsweg spielt die Kabeldämpfung eine wesentliche Rolle. Da diese beim Strahlungskabel auch von der Montageart, der Beschaffenheit der Tunnelwände und der unmittelbaren Kabelumgebung beeinflusst wird, ausserdem Auflagen der Bauleitung über Befestigungsart, Freihaltung des Fahrraumprofils usw. berücksichtigt werden mussten, war für die Wahl der Montageart nur ein kleiner Spielraum vorhanden. Dabei galt es, die Lösung in vernünftigen Relationen zu den Kosten zu halten. Das Kabel wurde direkt an die Tunneldecke in gleichmässigem Abstand der Tunnelwände montiert.

Als Strahlungskabel wurde ein von Huber + Suhner AG speziell entwickeltes Kabel [1] verwendet (Fig. 4). Bezüglich des Montage- und Befestigungsmaterials im Fahrbahnbereich des Tunnels bestehen aus Gründen der Korrosionssicherheit sehr strenge Vorschriften:

- Schrauben usw. absolut rostfrei, Qualität Chromnickelstahl mindestens V2A,
- Feuchtigkeitsbeständigkeit bei 100 % relativer Luftfeuchtigkeit bis 40 °C,
- Mechanische und chemische Beständigkeit gegen Tunnelreinigungsarbeiten mit rotierenden Bürsten sowie dem Wasser beigefügten Reinigungsmitteln.

Zur Befestigung des Kabels dient die von Egli Fischer AG speziell entwickelte Kunststoff-Clicbride. Montiert wurden diese Briden mit Plastikdübeln. Insgesamt 48000 Bohrlöcher in die Betondecke waren dazu erforderlich!

Die eigentliche Verlegung der Kabel erforderte einiges organisatorisches «Gefühl», 600–700 m Kabel unterbruchslos an die Decke zu bringen in einem relativ engen Bauwerk, in welchem eine Vielzahl anderer Bauhandwerker gleichzeitig beschäftigt sind, war nicht leicht. Die Verlegung musste weitgehend in Nachtschicht, bei ruhendem Verkehr und freier Fahrbahn erfolgen. Als wertvolles Hilfsmittel leistete ein eigens dafür beschaffter und modifizierter Armeelastwagen mit Montagebühne und Kabelabrollvorrichtung gute Dienste (Fig. 5).

Die 2 × 24 Breitbandverstärker sind in bauseits vorhandenen Geräteschränken der in gleichmässigen Abständen gebauten Tunnelquerschläge untergebracht. Diese sind durch Abschlusswände vom Fahrbahnbereich und dessen Immissionen weitgehend geschützt. Als Verbindungsweg von den Verstärkern zu den Strahlungskabeln konnten Kabelkanäle und Plastikrohre der Tunnelinstallationen mitverwendet werden. Wegen der gegenseitigen Kopplung war die Einführung der Strahlkabel bis zu den Verstärkern nicht möglich. HF-Kabel vom Typ CATV wurden zu diesem Zweck verlegt und mittels HF-Steckverbinder mit den Tunnelkabeln gekoppelt. Ca. 300 Stecker mussten dazu montiert werden. Äusserste Sorgfalt war bei der Steckermontage Bedingung, dies auch deshalb, weil sie im Fahrbahnraum montiert sind und jede Reparatur am Kabel eine Verkehrseinschränkung (lokale Sperrung einer Spur mit Lichtsignalsteuerung) hervorrufen würde. Um die Sicherheit der HF-Steckerverbindungen zu erhöhen, wurden nach erfolgter Montage alle mit Schrumpfschläuchen gegen Umwelteinflüsse (Gas und Wasser) geschützt (Fig. 6).

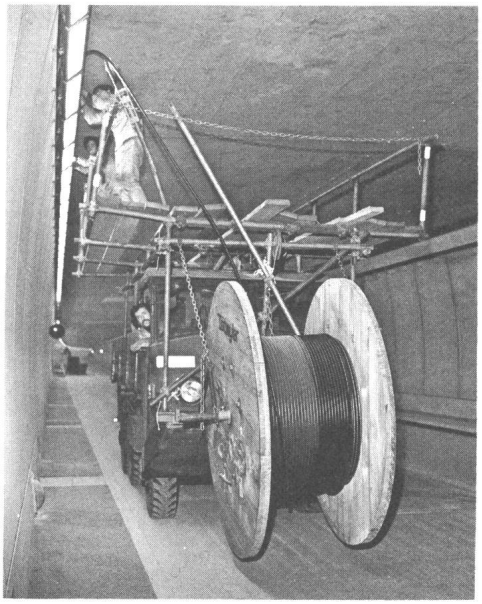

Fig. 5 Abgeänderter Lastwagen für die Kabelmontage

Fig. 6 Schrumpfen des Schutzschlauches auf den HF-Steckverbindungen zwischen Tunnelkabel und Zuleitung

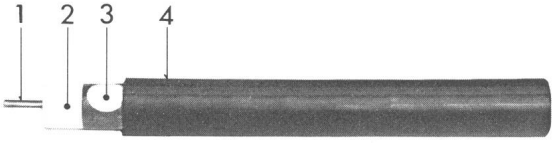

Fig. 4 Aufbau des strahlenden HF-Kabels

1 Innenleiter aus Kupfer mit Alu-Kern
2 Dielektrikum aus Polyäthylen
3 Aussenleiter aus Kupfer mit Strahlöffnungen
4 Mantel aus Polyäthylen mit Kennstreifen entlang der Strahlungsöffnungen

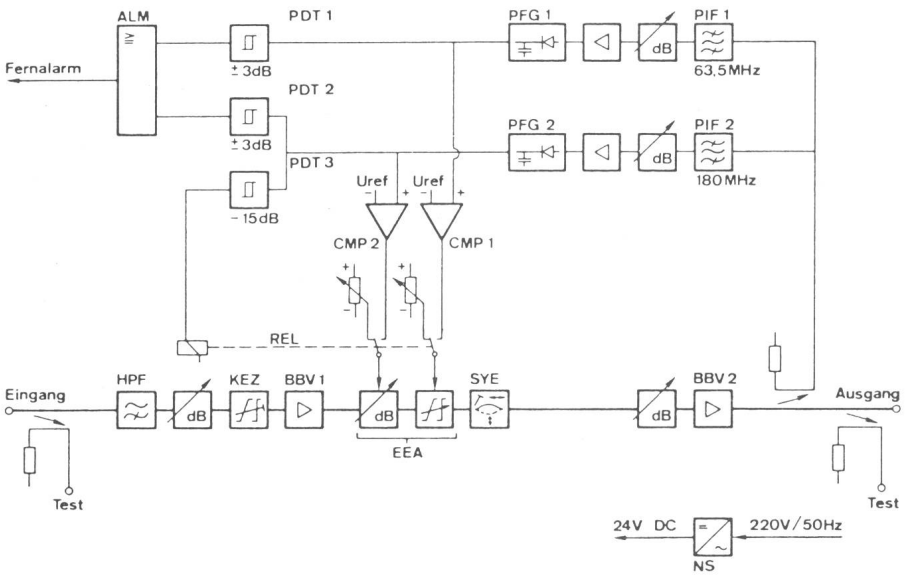

Fig. 7
Blockschema des Breitbandverstärkers

DC Gleichstrom
NS Netzspeisung
ALM Alarm
POT Regelpotentiometer des PDT
PDT Pegeldetektor
PFG Pilotfrequenzgleichrichter
PIF Pilotfrequenzfilter
U_{ref} Referenzspannung
CMP Komparator
REL Relais
HPF Hochpassfilter
KEZ Kabelentzerrer
BBV Breitbandverstärker
EEA Elektronischer Entzerrer und Abschwächer
SYE Systementzerrer

4. Breitbandverstärker

Die nach Kabelabschnitten von ca. 500 bis 800 m notwendige Signalaufbereitung wurde mit speziell entwickelten Breitbandverstärkern vorgenommen. Die wesentlichen, von diesem Verstärker zu erfüllenden Aufgaben seien anhand des Blockschemas (Fig. 7) beschrieben.

– Unterdrückung unerwünschter Träger (z.B. CB-Funk) unterhalb des geforderten Übertragungsbereichs mit dem Hochpassfilter HPF (Fig. 8a).

– Entzerrung des vom strahlenden Kabel verursachten Amplituden-Frequenz-Verlaufes (Fig. 8b). Mit den steckbaren Kabelentzerrgliedern KEZ können im Übertragungsbereich (63,5–180 MHz) Amplitudenschräglagen bis zu 20 dB entzerrt werden.

– Breitbandige rauscharme Vorverstärkung (Fig. 8c) mit einem Hybrideverstärkerbaustein BBV 1.

– Konstanthaltung der Verstärkerausgangspegel, d.h. Ausregelung der temperatur- oder alterungsbedingten Dämpfungsvariationen des strahlenden Kabels (Fig. 8d). Diese Aufgabe übernimmt der elektronische Entzerrer und Abschwächer EEA. Als Regelkriterien werden zusätzlich zu den Sprech- und Rundfunkkanälen je ein Hilfsträger (Pilot) am unteren (63,5 MHz) und oberen Bandende (180 MHz) mitübertragen. Die ausgewerteten Pilotpegel werden folgendermassen zur Regelung verwendet: 180-MHz-Pilot zur Steuerung des elektronischen Abschwächers (Fig. 9a), 63,5-MHz-Pilot zur Steuerung des elektronischen Entzerrers (Fig. 9b). Das Zusammenspiel beider Einzelregelungen erlaubt die geforderte Pegelkonstanthaltung über den ganzen Übertragungsbereich.

– Die beschriebenen Entzerrer erlauben nur die Korrektur linearer Amplituden-Frequenz-Verläufe. Mit dem manuell einstellbaren Systementzerrer SYE ist es grundsätzlich möglich, parabelförmige Frequenzgänge zu linearisieren (Fig. 8e).

– Über einen Koppler wird ein Teil des Ausgangssignals ausgekoppelt und den Pilotfiltern PIF1/PIF2 zugeführt. Die ausgefilterten Pilotsignale 63,5 MHz und 180 MHz werden selektiv auf den zur Gleichrichtung benötigten Pegel verstärkt (PFG1/PFG2). In den Komparatoren CMP1/CMP2 werden die gleichgerichteten Pilotsignale mit einer Referenzspannung

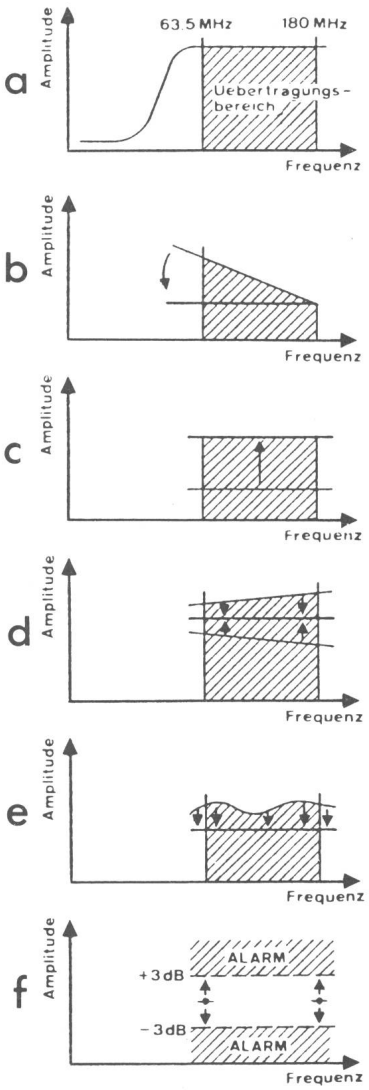

Fig. 8 **Funktion einzelner Baugruppen des Verstärkers**
a Hochpassfilter
b Kabelentzerrer
c Verstärker
d Automatische Regelung
e Systementzerrer
f Alarmierung

verglichen. Aus diesem Pegelvergleich ergibt sich das Regelsignal zur Steuerung des elektronischen Entzerrers und Abschwächers EEA.

– Die gleichgerichteten Pilotpegel werden ausserdem überwacht. Die Pegeldetektoren PDT1/PDT2 lösen einen Alarm aus, sobald die Pilotpegel am Verstärkungsausgang um mehr als ± 3 dB vom Sollwert abweichen (Fig. 8f).

– Eine zusätzliche 180-MHz-Pilotpegelüberwachung PDT3 öffnet die Regelschlaufe REL bei fehlendem Pilotsignal (z.B. bei Kabelunterbruch) und verhindert damit ein unbegründetes «Aufregeln» des Verstärkers.

– Der Verstärker wird aus dem 220-V-Wechselspannungsnetz gespeist. Das Netzspeisegerät NS sorgt für die erforderliche Gleichspannung von 24 V.

Die beschriebenen Verstärkereinheiten sind auf Einschüben montiert. Alle Einschübe wurden in einem 19-Zoll-Chassis zum Gesamtverstärker zusammengefasst (Fig. 10).

Dank diesem neu entwickelten Breitbandverstärker (TUG 55 F) war es möglich, den geforderten Frequenzgang im Bereich von 60 bis 180 MHz einzuhalten und bei einer Systemgesamtverstärkung von mehr als 550 dB die Amplituden innerhalb ± 2 dB zu halten (Fig. 11). Dazu musste ein Verfahren zur Amplituden-Frequenzgangmessung mittels eines gut auflösenden Wobbelmeßsystems verwendet werden.

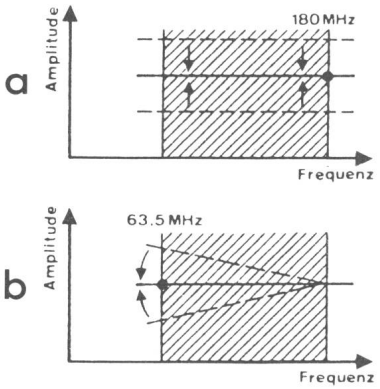

Fig. 9 Funktion der elektronischen Pegelregulierung
a Abschwächer b Entzerrer

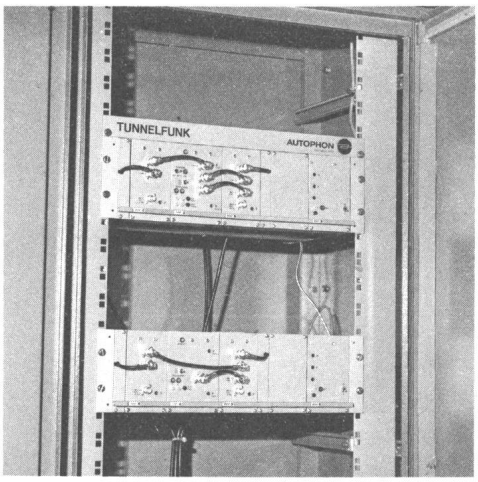

Fig. 10 Anordnung der Breitbandverstärker in einem Tunnelquerschlag
Oben: Geregelte Ausführung (TUG 55F)
Unten: Ungeregelte Ausführung (TUV 55F)

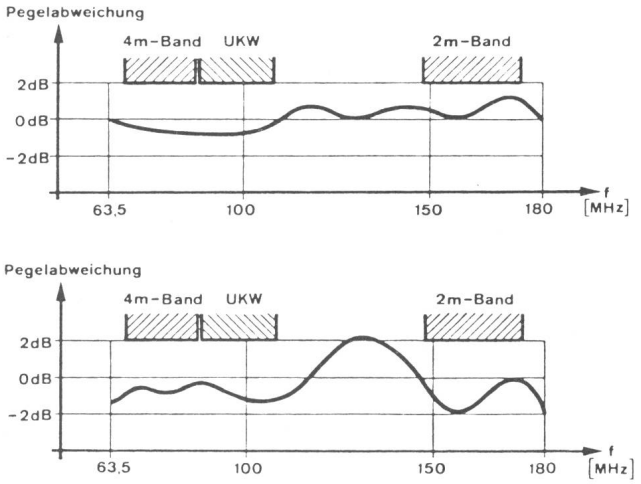

Fig. 11 Amplitudenfrequenzgang der Kabel
Oben: Kabel 1 Süd → Nord
Unten: Kabel 2 Nord → Süd
Die schraffierten Flächen geben den vorgesehenen Arbeitsbereich an

5. Die Funkzentrale

Die im Gotthardstrassentunnel installierte Funkzentrale ist modular aufgebaut und mikroprozessorgesteuert. Sie ist so programmiert, dass alle an ihr angeschalteten Funkkanäle im Ruhezustand als Relais wirken, d.h., die Mobilstationen gleicher Frequenz können unter sich im Tunnel Verbindungen aufbauen, ohne dass von der Zentrale eingegriffen werden muss. Wenn nötig, können diese Gespräche an den Bedienpulten mitgehört werden.

Über die Funktionsweise wie auch über die eingebauten Sicherheitselemente wird im Beitrag von *H. Eggli* [3] eingehend berichtet.

6. Betriebserfahrungen

Bei der Konzipierung der Funkanlage wurde eine alterungsbedingte Kabellängsdämpfungszunahme von ca. 5–7% im ersten Betriebsjahr angenommen. Ebenfalls wurde eine jährliche Neueinpegelung des Kabels vorgesehen. Diese beiden Annahmen führten dazu, dass jeder dritte Breitbandverstärker mit einer automatischen Pegelregulierung von ± 5 dB ausgerüstet wurde.

Während den Wintermonaten 1980/81 traten häufig Pegelalarme auf, die die Anlage jeweils für kurze Zeit auf den Katastrophenbetrieb umschalteten, obwohl keines der Kabel einen Unterbruch aufwies. Dies führte zu Störungen bei den Mobilstationen infolge Gleichwellenempfang (Normal- und Redundanzsender desselben Kanals gleichzeitig im Betrieb). Bei näherer Untersuchung dieser Effekte konnte festgestellt werden, dass die Kabellängsdämpfung infolge starker Kondenswasserbildung am Kabel und an den Tunnelwänden sehr rasch anstieg.

Durch umfangreiche Registrierungen und Messungen durch die Abteilung Betriebstechnik der GD PTT konnte festgestellt werden, dass die Längsdämpfung des Kabels bei Luftfeuchtigkeiten ≧ 75% im Tunnel plötzlich anzusteigen begann und deshalb bei den Breitbandverstärkern mit einem Alarmfenster von ± 3 dB über dem Regelbereich Alarme ausgelöst wurden.

Die anschliessenden Messungen durch die Abteilung Forschung und Entwicklung der GD PTT konnten eine Dämp-

fungszunahme des Strahlkabels bei einer Frequenz von 180 MHz und bei einer Luftfeuchtigkeit von ca. 95% von 31% nachweisen. Die Distanz des Kabels von der Tunnelwand betrug bei der gemessenen Strecke 20 mm. Deshalb wurde das Kabel auf einer Versuchsstrecke von 800 m auf eine Distanz von 65 mm von der Tunneldecke montiert. Bei den Messungen an dieser Strecke stieg die Längsdämpfung bei gleicher atmosphärischer Umgebung und Frequenz nur noch 17% gegenüber dem trockenen Zustand (Luftfeuchtigkeit $\leqq$ 50%).

Da die hohe Luftfeuchtigkeit nur in den beiden Portalabschnitten auf einer Länge von ca. 3 km auftritt, konnte der beschriebene Effekt nur dort festgestellt werden. In der Tunnelmitte entsprach die Dämpfungszunahme den Projektannahmen.

Interessanterweise wird die Koppeldämpfung, d.h. die Dämpfung zwischen Kabel und Antenne der Mobilstation, durch die Feuchtigkeit nicht beeinflusst.

Um die feuchtigkeitsbedingten Alarme zu beheben, wurden im Einvernehmen mit der GD PTT folgende Sanierungsmassnahmen beschlossen und durchgeführt:

a) Distanzierung des strahlenden HF-Kabels auf 65 mm von der Tunneldecke an beiden Enden des Tunnels auf einer Länge von je 3 km.

b) Die ersten 5 Breitbandverstärker an den beiden Tunnelportalen beginnend wurden mit Regeleinschüben, sofern nicht vorhanden, nachgerüstet.

c) Der Regelbereich der Verstärker mit automatischer Relegung wurde auf Pegelschwankungen +5/−10 dB korrigiert durch eine Änderung in deren Regelplatte.

d) Die Alarmfenster bei den Doppelpilotalarmempfängern in den Kopfstationen wurde beim Kabel 1 auf ± 5 dB und beim Kabel 2 auf ± 8 dB neu eingestellt.

Mit diesen Massnahmen können die durch die Feuchtigkeit plötzlich auftretenden Längsdämpfungszunahmen des Kabels aufgefangen werden, so dass die Alarme nicht mehr auftreten. Der nächste Winter mit den zu erwartenden grossen Feuchtigkeitseinbrüchen im Tunnel wird die Sanierungsmassnahmen bestätigen können.

Literatur

[1] *H.R. Meyer:* Funkversorgung. Techn. Mitt. PTT 58(1980)12, S. 466...480.

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

[3] *H. Eggli:* Tunnelfunkanlage: Aspekte der Sicherung. Bull. SEV/VSE 73(1982)13, S. 644...648.

[4] *F. Schweingruber:* Das Überwachungssystem der Tunnelfunkanlage. Bull. SEV/VSE 73(1982)13, S. 649...652.

Adresse des Autors

Hans Rudolf Meyer, c/o Autophon AG, Ziegelmattstrasse 1–15, 4503 Solothurn.