Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens

Herausgeber: Association suisse des électriciens

Band: 39 (1948)

Heft: 20

Artikel: Über einige Entwicklungsarbeiten auf dem Gebiete der Ultrakurzwellen-Mehrkanal-Übertragung in der Schweiz

Autor: Guanella, G.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1057967

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 23.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Über einige Entwicklungsarbeiten auf dem Gebiete der Ultrakurzwellen-Mehrkanal-Übertragung in der Schweiz

Vortrag, gehalten an der 11. Hochfrequenztagung des SEV vom 18. Oktober 1947 in Neuenburg,

von *G. Guanella*, Baden

621.396.41.029.6

In diesem Vortrag wird über einige Einzelheiten und Ergebnisse der bei Brown Boveri durchgeführten Entwicklungsarbeiten auf dem Gebiet der Mehrkanalübertragung mit gebündelten Ultrakurzwellen berichtet. Nach einigen allgemeinen Betrachtungen zur Systemfrage werden die für Versuchszwecke gebauten Anlagen nach dem Mehrträger-, Einträger- und Impulssystem beschrieben. Die besonderen Eigenarten dieser Systeme und einige Überlegungen zur endgültigen Festlegung des Fabrikationsprogrammes werden mitgeteilt. Schliesslich wird auch auf einige Messgeräte hingewiesen, welche für die Entwicklung und Prüfung der Anlagen sowie zum Studium der Übertragungsverhältnisse gebaut wurden.

Dans sa conférence, M. Guanella donne différents détails sur les résultats des travaux entrepris par la S. A. Brown, Boveri & Cie dans le domaine des transmissions multiplex par ondes ultracourtes dirigées. Après quelques considérations générales sur la question du système, il décrit les installations d'essais prévues pour les systèmes à porteuses multiples, à une seule porteuse et à impulsions modulées. Il indique quelles sont les caractéristiques de ces divers systèmes et sur quelles bases le programme de fabrication pourra être définitivement établi. Il termine par un exposé de quelques appareils de mesure, qui ont été construits pour la mise au point et l'essai des installations, de même que pour l'étude des conditions dans lesquelles s'opèrent les transmissions.

Bereits seit mehreren Jahren befasst sich die Firma Brown Boveri mit der Entwicklung und Konstruktion von Einrichtungen zur Mehrkanal-Übertragung mit sehr kurzen Wellen. Da die Entwicklungsarbeiten ohne Verbindung mit ausländischen Firmen durchgeführt wurden, handelte es sich zunächst darum, durch theoretische Studien und praktische Versuche die nötigen Grundlagen zu schaffen, welche für die Projektierung und den Bau solcher Anlagen nötig sind. Auf verhältnismässig breiter Basis wurden gleichzeitig die erforderlichen Messgeräte und Hilfseinrichtungen für die vorgesehenen neuen Wellenbereiche geschaffen. Auch gewisse Bauelemente und Spezialröhren mussten in unser Entwicklungsprogramm aufgenommen werden. Zur Überprüfung der theoretischen Überlegungen und zur Abklärung von technischen Problemen wurden schliesslich Versuchsanlagen nach verschiedenen Systemen gebaut und erprobt. Die dabei gewonnenen praktischen Erfahrungen ermöglichten die konstruktive Ausarbeitung von zwei Systemen, welche entsprechend den jeweiligen Erfordernissen bei kleiner oder mittlerer Kanalzahl besonders zweckmässig erscheinen und sich bei geeignetem Ausbau auch zur Erzielung grösserer Kanalzahlen eignen.

Systemwahl

Die wesentlichen Eigenarten der bekannten Systeme zur drahtlosen Mehrkanalübertragung lassen sich heute durch theoretische Betrachtungen weitgehend überblicken. Aus den charakteristischen Daten der verwendeten Schaltungskreise und des Hochfrequenz-Übertragungskanals können Rauschabstand, Nebensprechen und ähnliche Merkmale berechnet werden, welche die Übertragungsqualität einer Anlage kennzeichnen. Von besonderer Bedeutung sind dabei u. a. die folgenden Werte: Senderleistung, Energiebündelung, Ausbreitungsverhältnisse, äusserer Störpegel, Empfängerrauschen, Modulationstiefe, Bandbreite, lineare und nichtlineare Verzerrungen einzelner Kreise usw. Es ist nun zu beachten, dass z. B. die Auswirkung dieser Verzerrungen auf die Übertragungsqualität bei verschiedenen Systemen vollständig verschieden ist. Es kommt bei der Systemwahl in erster Linie darauf an, dass die zur Erzielung bestimmter Übertragungsqualitäten erforderlichen Eigenschaften einzelner Kreise mit tragbarem Aufwand praktisch realisierbar sind. Unter den vielen verschiedenen Möglichkeiten werden dabei optimale Lösungen verlangt, wobei u. a. folgende Gesichtspunkte zu berücksichtigen sind:

Technische Forderungen und Realisierbarkeit derselben,
Anlagekosten und Platzbedarf,
Betriebskosten (Wartung, Röhrenersatz, Energiekosten),
Betriebssicherheit.

Die Bezeichnung eines allgemein gültigen optimalen Systems ist schon deshalb nicht möglich, weil die praktischen Forderungen, z. B. Kanalzahl, Übertragungsdistanzen, allfällige Zusammenschaltung mit andern Anlagen usw., selbst bei weitgehender Normung nicht immer gleich sind. Auch durch technische Fortschritte, namentlich auf dem Gebiet des Röhrenbaues, kann der Wettstreit zwischen besonders günstigen Lösungen noch beeinflusst werden.

In den letzten Jahren wurden bestimmte Systeme ermittelt und praktisch erprobt, welche für gewisse charakteristische Anwendungsfälle mit kleinen und mittlern Kanalzahlen bis zu etwa 24 Kanälen besonders geeignet sind, und welche sich aller Voraussicht nach auch in einer weitern Zukunft bewähren werden. Gewisse technische Schwierigkeiten stehen dagegen heute noch einer Übertragung sehr grosser Kanalzahlen ohne mehrfache Modulation entgegen. Hier kann man sich jedoch in einfacher Weise durch Zusammenschaltung mehrerer Einheiten geringerer Kanalzahl z. B. nach einem Mehrträgerverfahren behelfen. Diese Lösung bietet den Vorteil guter Anpassungs- und Ausbaumöglichkeit entsprechend den jeweiligen Bedürfnissen.

Zur weitern Abklärung der Systemfrage wurden Versuchsanlagen gebaut, über welche noch Einzelheiten mitgeteilt werden:

a) **Mehrträgeranlage** (mehrere Hochfrequenzträger sind mit den einzelnen Kanalsignalen frequenzmoduliert).

b) **Einträgeranlage.** (Die Hochfrequenzschwingung wird mit einem Zwischenfrequenzsignal frequenzmoduliert, das aus den frequenzverschobenen Kanalsignalen zusammengesetzt ist).

c) **Impulsanlage.** (Ein Hochfrequenzträger ist mit Impulsen getastet, welche abwechselnd durch die einzelnen Kanal-Signale lagemoduliert sind.)

Die Erfahrungen mit diesen Versuchsanlagen und die Ergebnisse systematischer Untersuchungen führten schliesslich zur endgültigen Festlegung der beiden Systeme, auf denen vorläufig das Konstruktions- und Fabrikationsprogramm aufgebaut wurde: Das Einträgersystem erscheint besonders geeignet für kleine Kanalzahlen und für die Verbindung mit leitungsgerichteten Mehrkanalanlagen ohne Auflösung des zwischenfrequenten Breitbandsignals. Das Impulssystem bietet dagegen schon heute alle Vorteile der Mikrowellenübertragung und der durch besonders geringen Aufwand charakterisierten zeitlichen Kanaltrennung. Auch verschiedene andere Firmen sind unabhängig von unsern Untersuchungen zu ähnlichen Entscheidungen gekommen.

Der ganze Fragenkomplex ist somit heute aus dem Stadium abtastender Spekulation herausgewachsen, und es wäre verfehlt, mit dem praktischen Einsatz von Richtstrahlanlagen nur im Hinblick auf künftige Erkenntnisse in der Systemfrage oder gewisse Verbesserungs- und Verfeinerungsmöglichkeiten zuwarten zu wollen.

Mehrträger-Anlage

Alle Frequenzmultiplex-Systeme, bei denen die Kanalsignale getrennten Hochfrequenzträgern aufmoduliert sind, haben die verlockende Eigenart, dass sämtliche linearen Verzerrungen der Hochfrequenzsignale keinerlei schädliche Gegenwirkung zwischen den einzelnen Nachrichtenkanälen ergeben. Diese Systeme verhalten sich deshalb besonders günstig im Hinblick auf die sogenannten äussern Verzerrungen der Übertragung, insbesondere auf die bei Mehrweg-Ausbreitung auftretenden Phasen- und Laufzeit-Verzerrungen. Anderseits sind diese Systeme jedoch besonders empfindlich auf alle nichtlinearen Verzerrungen im gemeinsamen Übertragungskanal. Namentlich beim Sender-Ausgangs-Verstärker müssen die strengen Forderungen hinsichtlich Linearität der Amplituden-Übertragungskennlinie sorgfältig beachtet werden.

Da diese Bedingungen bei den Endstationen und bei allfälligen Relaisstationen immerhin mit genügendem Aufwand erfüllbar sind, so erschien eine genauere Untersuchung dieses Systems ratsam, namentlich im Hinblick auf die Gefahren der Mehrweg-Ausbreitung in unserm Lande, welche noch bis vor kurzem zu gewissen Bedenken gegen andere Systeme Anlass gaben.

Wir erhielten deshalb Ende 1944 von der PTT den Auftrag zum Bau einer Versuchsanlage nach dem Mehrträgersystem. Zur Erzielung eines ausreichenden Rauschabstandes bei tragbarer Sendeleistung wurde Frequenzmodulation der einzelnen Kanalträger vorgesehen. Die Übertragungsfrequenzen wurden im Gebiet von 200 MHz gewählt, um besondere Schwierigkeiten mit den damals leicht erhältlichen Röhren in den Sende- und Empfangsverstärkern zu vermeiden. Der Frequenzabstand der unmodulierten Träger wurde auf 50 kHz festgelegt, was eine Gesamtbandbreite von 5 MHz bei 100 Übertragungskanälen ergibt. Bei dieser Apparatur wurden zunächst nur 3 Kanäle realisiert, deren Frequenz jedoch zur Durchführung von Versuchen im verfügbaren Bereich wahlweise in Schritten von 50 kHz verlegt werden kann. Dadurch soll eine Überprüfung der Nebensprechverhältnisse einer Anlage mit 100 Kanälen ermöglicht werden. Ausser einer Sende- und einer Empfangsapparatur wurde auch eine Relaisstation gebaut (Fig. 1).

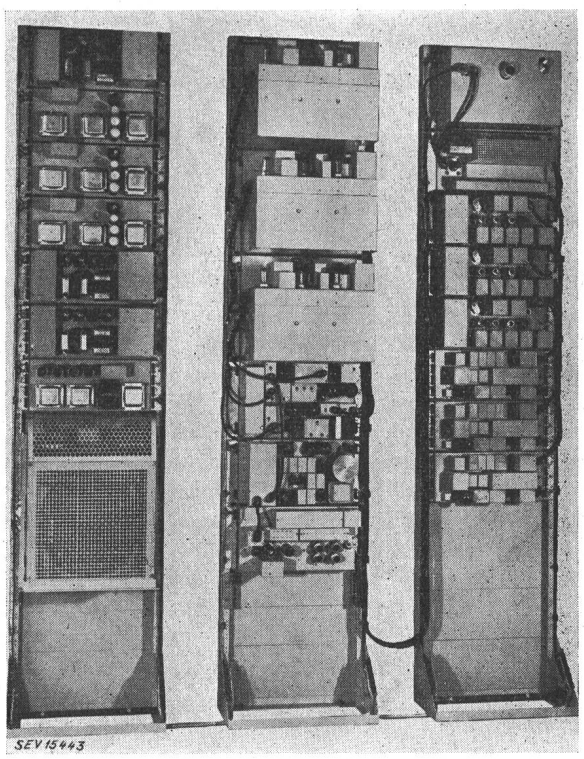

Fig. 1
Mehrträger-Versuchsanlage
Rückansicht der Empfangseinrichtung für 3 Kanäle

links: Gleichrichter und Spannungsstabilisator
Mitte: 3 Frequenzvervielfacher zur Erzeugung der wählbaren Überlagerungs-Hilfsfrequenzen; quarzgesteuerte Oszillatoren zur Erzeugung der Überlagerungs-Grundfrequenzen
rechts: Empfangsverstärker mit Überlagerer; gemeinsamer Breitband-Zwischenfrequenz-Verstärker; 3 Kanalchassis mit zweitem Überlagerer und Zwischenfrequenz-Verstärker; 3 Demodulatoren

Durch entsprechende Wahl der Überlagerungs-Hilfsfrequenzen können 3 beliebige Kanäle von 100 Empfangskanälen eingestellt werden

Da die empfangsseitige Kanaltrennung durch Filterung erfolgt, müssen an die Frequenzstabilität der unmodulierten Träger besondere Ansprüche gestellt werden, wenn eine möglichst vollständige Ausnützung des verfügbaren Übertragungs-Frequenzbereiches verlangt wird. Aus diesem Grunde war leider die Verwendung von Schwingtopf-Oszillatoren mit elektromechanischer Frequenzsteuerung ohne zusätzliche Stabilisierung der Mittelfrequenz nicht möglich. Solche Generatoren, welche am Institut für Hochfrequenztechnik der ETH entwickelt wurden, hätten an sich einen besonders einfachen Aufbau des Senders ermöglicht [1] [1]). Die theoreti-

[1]) siehe Literaturverzeichnis am Schluss.

sche Untersuchung des Nebensprechproblems durch *P. Güttinger* ergab, dass bereits kleine Nichtlinearitäten im Hochfrequenz-Übertragungskanal zu hörbaren Kombinationsfrequenzen in den Nachrichtenkanälen führen. Um diese Störfrequenzen wenigstens bei unmodulierten Trägern im unhörbaren Bereich zu halten, musste Übereinstimmung der Frequenzabstände aufeinanderfolgender Träger bis auf eine Maximaltoleranz von 100...200 Hz verlangt werden. Diese Forderung führte zur Frequenzstabilisierung der Kanalträger mit verschiedenen Oberwellen einer gemeinsamen quarzgesteuerten Grundfrequenz.

Zur Erzeugung der frequenzmodulierten Kanalträger wurden zunächst direkt auf die Sendefrequenz abgestimmte Generatoren vorgesehen. Die Frequenzstabilisierung erfolgte dabei nach einem neuartigen Zweiphasensystem [2]: Durch Überlagerung mit der frequenz-stabilen Vergleich-Spannung wird eine der Differenzfrequenz entsprechende Zweiphasen-Spannung gewonnen. Die eine Phase wird differenziert, so dass durch Produktbildung mit der zweiten Phase und folgende Beruhigung eine Regulierspannung entsteht, welche der mittlern Frequenzabweichung nach Grösse und Vorzeichen entspricht. Diese Regulierspannung bewirkt eine elektrische Korrektur der Oszillatorabstimmung im Sinne einer Verminderung der Frequenzabweichung (Fig. 2).

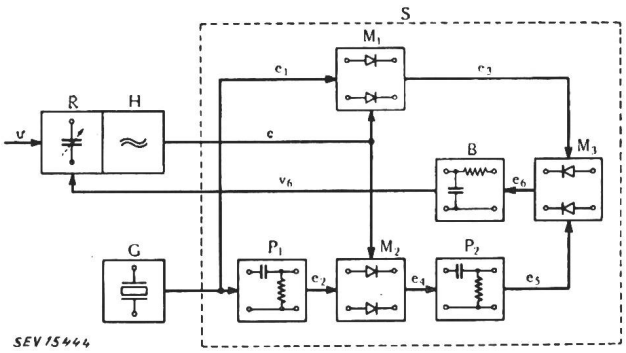

Fig. 2
Automatische Frequenzstabilisierung des Kanalträgers nach Zweiphasen-Methode

Aus den zu vergleichenden Spannungen e, e_1 wird durch Modulation eine Zweiphasen-Spannung e_3, e_4 gewonnen, aus der durch Differenzierung und Überlagerung die dem Frequenzfehler proportionale Regelspannung v_6 entsteht

H	Oszillator mit steuerbarer Reaktanz R
M_1, M_2, M_3	Modulatoren
P_1	Phasendrehkreis
P_2	differenzierendes Netzwerk
B	Beruhigungsnetzwerk
u	Kanalsignal
e	Frequenzmodulierter Kanalträger
e_1	quarzstabilisierte Vergleichsschwingung
e_3, e_4	Zweiphasenspannung

Obschon dieses Stabilisierungsverfahren die Vorteile eines Drehfeldsystems mit den Vorzügen einer rein elektrischen Steuerung vereinigt, erscheint es natürlich für den spätern Einsatz in Vielkanalanlagen wegen des grossen kanalgebundenen Aufwandes wenig geeignet. Bei den auf Sendefrequenz schwingenden Oszillatoren waren auch gelegentlich spontane Frequenzsprünge nicht zu vermeiden, welche sich trotz rascher Nachregulierung ungünstig auswirkten. Dieses System wurde deshalb verlassen und durch eine Einrichtung ersetzt, bei der jeder Kanalträger aus einem frequenzmodulierten Hilfsträger niederer Frequenz und verschiedenen frequenzstabilen Hilfsschwingungen höherer Frequenz durch Bildung der Summenfrequenz erzeugt wird.

Besondere Massnahmen waren zur Erzielung einer ausreichend linearen Übertragungscharakteristik der Ausgangsverstärker nötig. Auf Gegenkopplung wurde aus Gründen der Stabilität verzichtet. Eine befriedigende Lösung besteht in einer einstellbaren Vorverzerrung, durch welche die besonders schädlichen Kombinationsfrequenzen bis auf einen zulässigen Rest kompensiert werden.

Die Versuchsanlage wurde auf der Strecke Bern (PTT-Gebäude) – Gurten – Chasseral erprobt. Die grundsätzliche Brauchbarkeit des Mehrträgersystems steht heute ausser Frage. Beim Ausbau für grössere Kanalzahlen wären auch verschiedene wesentliche Vereinfachungen der kanalgebundenen Anlageteile möglich. Die hohen Anforderungen hinsichtlich Amplitudenlinearität des gesamten Hochfrequenzkanals führen aber beim heutigen Stand der Röhrentechnik zu einer schlechten Ausnützung der Senderöhren und einem entsprechend ungünstigen Wirkungsgrad der Sender. Es sind auch besondere Mittel zur automatischen Regulierung der Verstärkung bei veränderlichen Übertragungsverhältnissen erforderlich. Schliesslich ist für eine möglichst ausgeglichene Frequenzcharakteristik der im Hochfrequenzübertragungskreis enthaltenen Filter zu sorgen, um eine unzulässige Benachteiligung der Kanalträger mit extremer Frequenz zu vermeiden. Diese Eigenarten wirken sich namentlich bei längeren Relaisketten ungünstig aus. Da die einzelnen Kanalträger mit einfachsten Mitteln auch durch Unbefugte empfangen werden können, so erscheinen besondere Massnahmen zur Erzielung einer gewissen Geheimhaltung notwendig, z. B. fortlaufender Kanalwechsel nach vorgegebenem Programm. Jede derartige Verschleierung ist natürlich mit entsprechendem Mehraufwand verbunden. Mit Rücksicht auf die günstigen Ergebnisse mit andern Versuchseinrichtungen nach dem Einträger- und Impulssystem haben wir deshalb vorläufig auf eine Weiterentwicklung des Mehrträgersystems verzichtet. Die mit der Versuchsapparatur gewonnenen Erfahrungen waren jedoch bei der Entwicklung unserer Einträgeranlagen von grossem Nutzen.

Einträger-Anlage

Beim praktischen Einsatz von Richtstrahlanlagen wird oft die Übertragung eines aus frequenzverschobenen Telephoniekanälen gebildeten Breitbandsignales verlangt, wie es auch bei der Trägertelephonie über Kabel auftritt. Die einfachste Lösung besteht in der Erzeugung einer hochfrequenten Schwingung, welche mit dem Breitbandsignal frequenzmoduliert ist. Ein solches Einträgersystem ist bekanntlich auf nichtlineare Verzerrungen der hochfrequenten Übertragung unempfindlich, und allfällige Schwankungen der Übertragungsverhältnisse lassen sich durch Amplitudenbegrenzung in

jeder Relaisstation leicht ausgleichen. Die Phasenverzerrungen spielen bei Frequenzmodulation eine ähnliche Rolle wie die nichtlinearen Verzerrungen bei Amplitudenmodulation [3]. Es wird deshalb ausreichend lineare Phasen-Charakteristik aller beteiligten Kreise verlangt, eine Forderung, die sich beim heutigen Stand der Verstärker-Technik immerhin erfüllen lässt [4].

Zur praktischen Erprobung dieses Systems haben wir eine Versuchsanlage für 6 Kanäle mit 2 Relaisstationen gebaut (Fig. 3). Für die Hochfrequenzträger wurden zunächst Frequenzen im Gebiet von 150...200 MHz gewählt, um in den Relaisstationen eine einfache Frequenzumsetzung durch Überlagerung mit Hilfsfrequenzen, d. h. ohne Demodulation und erneute Modulation, zu ermöglichen. Es hat sich gezeigt, dass dieses Frequenzgebiet für die Übertragung von 6—12 Kanälen auch auf grössere Distanzen durchaus geeignet ist und im allgemeinen keine unförmigen Antennengebilde erfordert. Die Sendeleistung beträgt zirka 40 W.

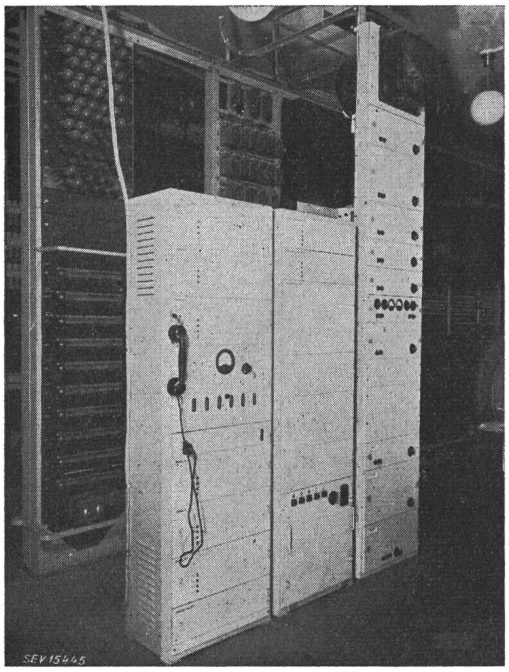

Fig. 3
Endstation der Einträger-Mehrkanalanlage im Fernamt Zürich-Selnau

links: Mehrkanal-Zusatzapparatur:
6 Kanalchassis mit Modulatoren, Kanal-Filtern und Kanal-Verstärkern, sowie Kontroll- und Überwachungs-Chassis

Mitte: Mehrkanal-Zusatzapparatur:
Sende- und Empfangs-Breitbandverstärker; Trägerfrequenz-Generator; Gleichrichter; Hilfsapparatur zur Erhöhung der Geheimhaltung und Pilotton-Einrichtung

rechts: Einträger-Sende-Empfangs-Apparatur:
FM-Oszillator; Frequenzvervielfacher und Sender-Endstufe; Empfangs-Verstärker mit Überlagerer; Zwischenfrequenzverstärker und Demodulator; quarzgesteuerter Oszillator und Vervielfacher für Überlagerungs-Hilfsfrequenzen; Kontroll- und Überwachungs-Einrichtung; Gleichrichter; Spannungsregler

Der frequenzmodulierte Sender-Oszillator arbeitet bei zirka 20 MHz. Die gewünschte Sendefrequenz wird daraus durch Überlagerung und Vervielfachung gewonnen. Die automatische Stabilisierung der Oszillatorfrequenz erfolgt durch Vergleich mit einer quarzgesteuerten Hilfsschwingung, indem die Differenzfrequenz beider Schwingungen mit einem Kontrolldiskriminator überwacht wird, dessen Ausgangsspannung die Oszillatorabstimmung beeinflusst.

Einige zusätzliche Einrichtungen werden aus betriebstechnischen Gründen benötigt. Ein besonderer Dienstkanal ist zur Übermittlung von Kontrollsignalen und Gesprächen des Betriebspersonals zwischen allen Stationen einer Relaiskette vorgesehen. Um diesen Kanal auch bei Störungen der Mehrkanal-Zusatzapparatur oder des Senderoszillators betreiben zu können, wurde eine Amplitudensteuerung des Hochfrequenzträgers mit den Dienstsignalen vorgesehen, wobei natürlich nur mit geringem Modulationsindex gearbeitet wird. Durch die empfangsseitigen Begrenzer wird diese Modulation vollständig unterdrückt, so dass keinerlei Beeinflussung der mit Frequenzmodulation übertragenen Signale erfolgt. Diese Unterdrückung der Modulation macht bei allen Relaissendern erneute Modulation mit den umgelenkten Dienstgesprächen erforderlich. Bei fehlendem Träger werden naturgemäss die Rauschspannungen bis zur Grenzamplitude des Begrenzers verstärkt. Es zeigt sich, dass auch diese Rauschsignale sich ohne weiteres zur Übertragung der Dienstgespräche eignen, so dass durch Ausfall eines Senders der Dienstbetrieb in einem verbleibenden Teil der Kette nicht unterbunden wird. Zur bessern Gewährleistung des Dienstverkehrs wurden einfache Hilfssender sehr kleiner Leistung vorgesehen, welche bei Störung in Betrieb treten.

Von grosser Bedeutung ist eine dauernde Überwachung des normalen Betriebes und automatische Meldung allfälliger Störungen. Als wichtiges Kriterium wird dabei der Hochfrequenzträger benützt, welcher bei ungestörter Übertragung die ganze Kette durchläuft. Zur Gewährleistung maximaler Betriebssicherheit können Reservestationen eingesetzt werden, welche bei Störung automatisch in Betrieb treten, so dass die Gesprächsübermittlung auch bei Röhrendefekten usw. keine nennenswerte Beeinträchtigung erfährt.

Beim Bau der Versuchsanlage und bei den folgenden Untersuchungen wurden verschiedene konstruktive Einzelprobleme sorgfältig studiert, welche für die Serie-Fabrikation und den spätern praktischen Einsatz solcher Anlagen bedeutungsvoll sind. So wurde z. B. eine zweckmässige Bauweise der Einzelchassis erprobt, welche gute Zugänglichkeit aller Einzelteile und Lötstellen bei günstiger Raumausnützung gewährleistet (Fig. 4).

Besonders wichtig erschien eine sorgfältige Konstruktion und Erprobung der Antennen im Hinblick auf die aussergewöhnlichen Witterungsverhältnisse, mit denen an exponierten Standorten der Relaisstationen zuweilen gerechnet werden muss (Fig. 5 und 6).

Die Versuchsanlage wurde inzwischen auf der Strecke Zürich–Genf eingesetzt, welche zurzeit stark überlastet ist. Die beiden Endstationen konnten di-

rekt in den Fernämtern dieser Städte montiert werden; je 1 Relaisstation wurde auf dem Ütliberg und Chasseral eingerichtet. Die beiden grössern Teilstrecken betragen 111 km (Ütliberg–Chasseral) und 124 km (Chasseral–Genf). Da die zweite Teilstrecke an der Grenze der optischen Sicht liegt, wurde bei der Projektierung eine weitere Relaisstation erwogen, namentlich im Hinblick auf die am Empfangsort in Genf zu erwartenden erheblichen Zündstörungen. Auf diese zusätzliche Massnahme konnte verzichtet werden. Bedeutend zweckmässiger erwies sich an diesem Empfangsort die Verwendung einer Chireix-Empfangsantenne, welche den praktischen Forderungen ebenfalls entspricht. Die bisherigen Versuchsergebnisse mit dieser ersten Anlage waren durchaus befriedigend, so dass sie dem praktischen Betrieb übergeben werden konnte [5] [2]).

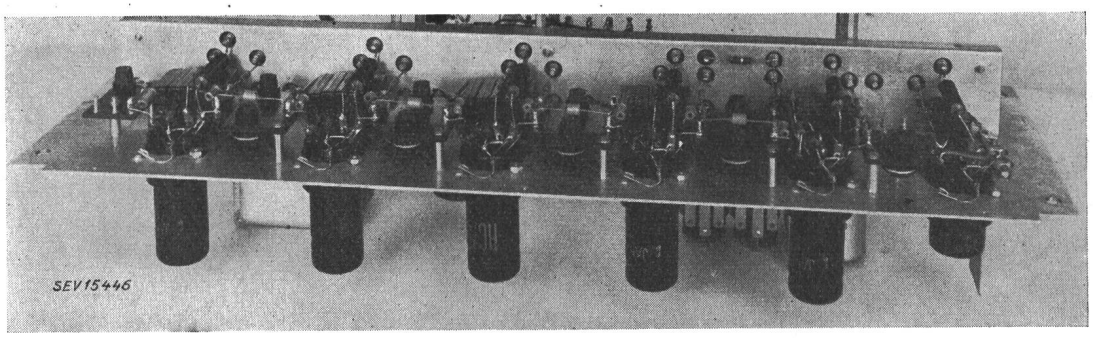

Fig. 4
Zwischenfrequenz-Verstärker der Einträger-Anlage
Die Gesamtverstärkung beträgt ca. 10^6. Durch zweckmässige Anordnung wird eine stabile Verstärkung des Breitbandsignales ohne zusätzliche Abschirmung zwischen den Stufen erzielt

Solche Anlagen mit frequenzmoduliertem Träger eignen sich natürlich nicht nur zur Übertragung von Breitbandsignalen der Mehrfachtelephonie. Sie kommen z. B. auch in Frage zur Übermittlung von musikalischen Programmen für Telephonrundspruch oder Rundfunk bis zum Sendezentrum.

Es wurden auch Mehrkanal-Zusatzapparaturen entwickelt zur Erzeugung des zwischenfrequenten Modulationssignales aus den verschiedenen niederfrequenten Kanalsignalen. Zur Erzielung eines möglichst geringen Aufwandes wird mit einstufiger Frequenztransponierung gearbeitet. Jedes Kanalsignal wird also durch einmalige Modulation mit einer Hilfsschwingung direkt an den vorgesehenen Platz im Breitbandmodulationssignal gebracht. Um bei diesem Verfahren mit Spulenfiltern üblicher Bauweise auszukommen, wurde für jeden Kanal ein Bereich von 5 kHz reserviert. Das 6 Kanalsignale enthaltende Zwischenfrequenzsignal umfasst dabei den Bereich von 30...60 kHz. Es wird also zunächst innerhalb der Oktave gearbeitet, wodurch die bei Verzerrung entstehenden besonders ungünstigen

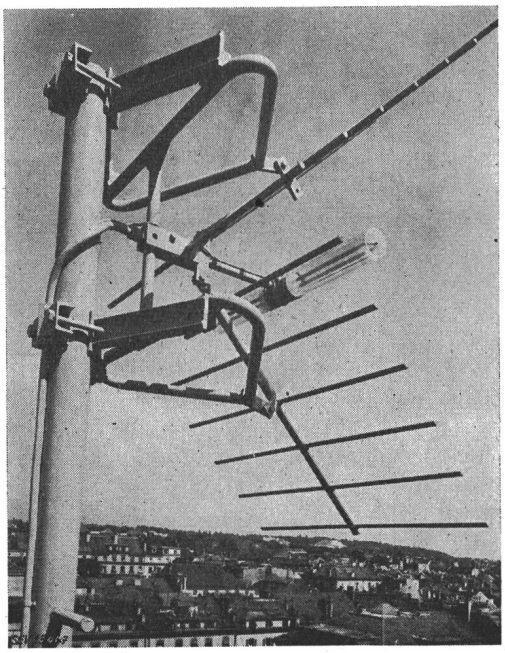

Fig. 5
Sende-Antenne auf Telephonzentrale Mont-Blanc in Genf
Der Sendedipol ist durch Schutzhaube gegen Witterungseinflüsse geschützt. Zur dauernden Überwachung der Sendespannung ist ein Kontrollgleichrichter eingebaut. Zur Energiebündelung sind Reflektorstäbe vorgesehen, welche eine Verstärkung von 10 db ergeben

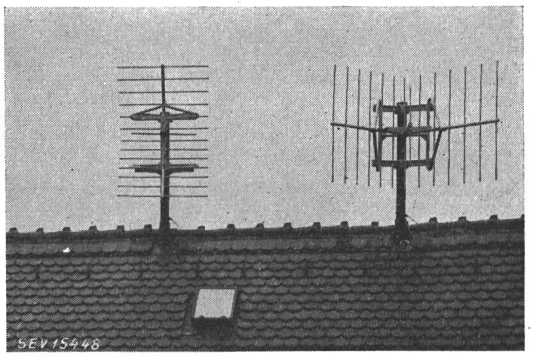

Fig. 6
Sende- und Empfangsantenne der Einträger-Mehrkanal-Anlage auf dem Fernamt Zürich-Selnau

[2]) Die Einträger-Versuchsanlage hat sich inzwischen im normalen Telephonieverkehr der PTT während eines Jahres gut bewährt und ist nun im Betrieb mit automatischer Fernwahl eingesetzt.

Summen- und Differenzfrequenzen unterdrückt werden können. Eine Erweiterung auf 12 Kanäle ist mit solchen Modulationsgeräten in Verbindung mit einem ersten Gruppenmodulator leicht möglich.

Die Entwicklungsarbeiten auf dem Gebiet der Mehrkanaltechnik reichen natürlich weit in die Kriegszeit zurück und waren durch Schwierigkeiten bei der Beschaffung gewisser Bauelemente, z. B. geeigneter Spulkerne, erschwert. Wir waren deshalb zum eingehenden Studium der Massekerntechnik und zur Einführung eines eigenen Fabrikationsverfahrens gezwungen [6]. Es ist uns damit möglich geworden, die erforderlichen Kerne und Spulenfilter in hoher Qualität selbst herzustellen.

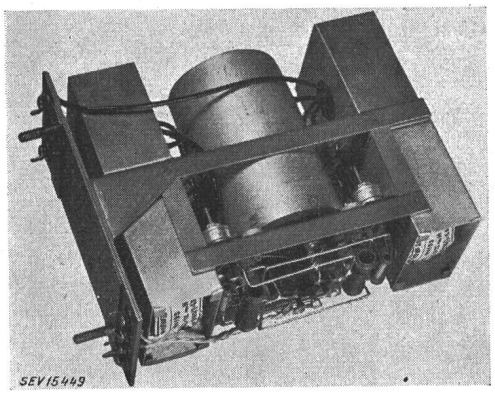

Fig. 7
Zweistufiges Kristallfilter
Die künstlich hergestellten Piezokristalle sind im Thermostat eingebaut, wodurch die Frequenzstabilität auch bei grössern Temperaturschwankungen gewahrt bleibt. Das Filter wird in luftdichter Blechhaube untergebracht

Um noch höhern Ansprüchen mit tragbarem Aufwand besser entsprechen zu können, wurden auch Kristallfilter entwickelt. Dabei kommen künstliche Kristalle zur Anwendung, welche wir unter Auswertung der am physikalischen Institut der ETH gewonnenen Erfahrungen selbst herstellen [7]. Mit solchen Kristallfiltern soll u. a. der erforderliche Frequenzumfang bei einmaliger Transponierung entsprechend der allgemeinen Norm auf 4 kHz pro Kanal reduziert werden (Fig. 7).

Es stellt sich nun die Frage, ob sich mit dem Einträgersystem auch sehr grosse Kanalzahlen übertragen lassen. Durch Gruppenmodulation ist zunächst eine weitere Erhöhung der Kanalzahl, z. B. auf 24 oder mehr Kanäle, leicht denkbar. Die Übertragung eines wesentlich erweiterten Zwischenfrequenzbandes führt jedoch heute noch auf verschiedene technische Schwierigkeiten, deren Überwindung eine Frage der Zeit ist. Eine brauchbare Lösung könnte auch in der Zusammenfassung mehrerer 12-Kanal-Einträgeranlagen der beschriebenen Art bestehen, welche über elektrische Weichen mit einer gemeinsamen Antenne arbeiten. In diesem Fall würde also ein Mehrträgersignal übertragen, welches etwa 50 oder auch mehr Kanäle umfassen könnte. In den Relaisstationen sind Aufteilung dieses Signales in die Einzelträger und deren getrennte Verstärkung beim heutigen Stand der Röhrentechnik wohl ratsam. Die am Institut für Hochfrequenztechnik der ETH durchgeführten Untersuchungen auf dem Gebiet der elektrischen Weichen dürften für die weitere Entwicklung in dieser Richtung wegleitend sein [8].

Für die Übertragung von 6 oder 12 Kanälen erscheinen Trägerfrequenzen im Gebiet von 200 MHz noch durchaus geeignet. Bei wesentlicher Erhöhung der Kanalzahl wird dagegen aus Gründen der Frequenzzuteilung Verlegung in ein verfügbares Band höherer Frequenz erforderlich. Für eine eigentliche Mikrowellenübertragung mit Frequenzen über 100 MHz wird aber aus röhrentechnischen Gründen zweimalige Frequenzmodulation oder Impulsmodulation nötig. Wir haben uns hier für das zweite Verfahren entschieden.

Tragbare Geräte

Auch für die tragbaren Richtstrahlgeräte hatten wir das Einträgersystem gewählt, welches gute Anpassungsmöglichkeit an die jeweiligen Übermittlungsbedürfnisse ergibt. Die Wellenlänge des frequenzmodulierten Hochfrequenzträgers liegt hier unter 1 m, so dass schon mit kleinen Antennengebilden genügende Bündelung erzielt wird. Die eigentliche Richtstrahlapparatur lässt sich auch ohne Mehrkanalzusatz zur Übertragung einer Nachricht verwenden. Mit dem tragbaren Zusatzgerät wird die Kanalzahl auf zwei Telphonie- und zwei Telegraphiekanäle erhöht (Fig. 8). Das gleiche Gerät kann aber auch in Verbindung mit einer fahrbaren 6-Kanal-Zusatzapparatur betrieben werden.

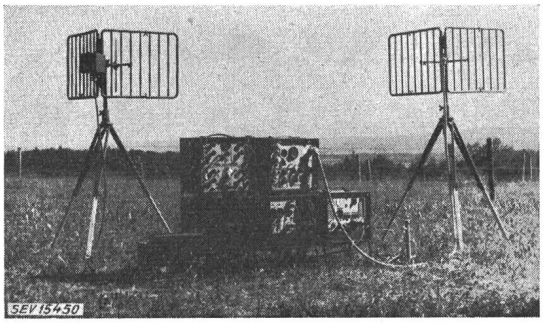

Fig. 8
Tragbares Dezimeterwellen-Gerät mit Mehrkanal-Zusatz
von links nach rechts: Antenne mit angebautem Sender; Armee-Telephon; Mehrkanal-Zusatz für 2 Telephonie- und 2 Telegraphie-Kanäle mit Leitungsnachbildungen; Dezimeterwellen-Gerät; Gleichrichter; Empfangsantenne

Bei der Entwicklung und Konstruktion dieser Geräte waren dem Verwendungszweck entsprechend besondere Gesichtspunkte zu berücksichtigen: bei minimalen Dimensionen und möglichst kleinem Gewicht wird universelle Verwendungsmöglichkeit bei einfacher Bedienung verlangt [9]. Dabei ergab sich naturgemäss eine Konstruktion, welche von den Anlagen mit Gestellaufbau für zivile Zwecke vollständig abweicht (Fig. 9 und 10).

Die Entwicklung dieser Geräte erfolgte in der Kriegszeit unter wesentlich erschwerten Bedingungen. Verschiedene wichtige Bestandteile und geeignete Röhren waren in unserm Lande nicht mehr erhältlich. Nach Schaffung der nötigen Fabrikationseinrichtungen stellten wir auch die Röhren selber her [10], während die Fabrikation einzelner Spezialteile z. T. andern Firmen übergeben werden

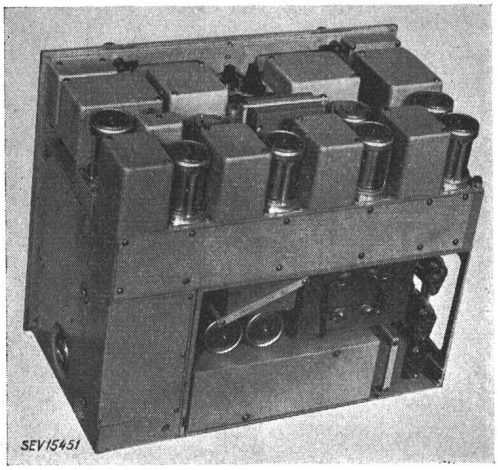

Fig. 9
Innenaufbau des tragbaren Dezimeterwellen-Gerätes
Die Bau-Einheiten wie Überlagerungsteil mit Hochfrequenz-Bandfilter, ZF-Verstärker usw. sind leicht auswechselbar

konnte. Wir kamen so zu einem Gerät, das praktisch keine ausländischen Teile mehr enthält. In dieser Apparatur verwendeten wir erstmals die am Institut für Hochfrequenztechnik der ETH entwickelten Schwingtopf-Resonatoren, welche sich als variable Abstimmelemente gut bewähren [11] (Fig. 11).

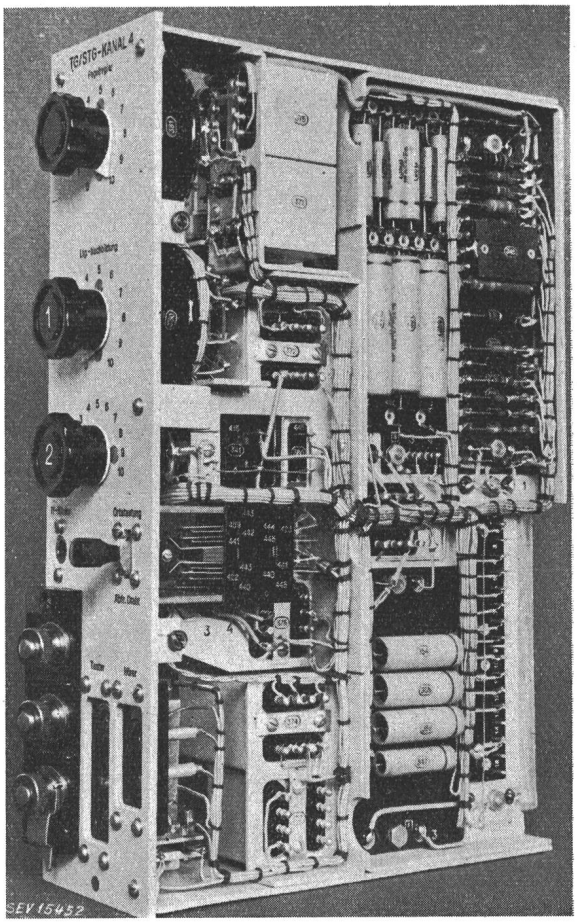

Fig. 10
Kanalchassis des tragbaren Mehrkanal-Zusatzgerätes
Auf gute Zugänglichkeit aller Einzelteile und Lötstellen wurde besonders Wert gelegt

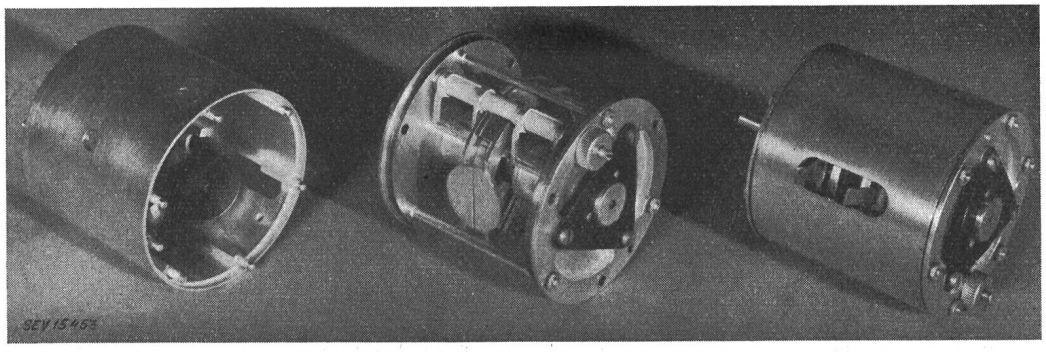

Fig. 11
Schwingtopf für Dezimeterwellen
Schwingtopf-Resonatoren dieser Art wurden am Institut für Hochfrequenztechnik der ETH entwickelt

Impuls-Anlagen

Unsere ersten Untersuchungen auf dem Gebiete der Impuls-Modulation gehen auf Studien zurück, welche am Institut für technische Physik der ETH bei der Entwicklung eines neuartigen Tonaufzeichnungssystems mit Rasterdruck entstanden. In der Folge konnten wir durch theoretische Untersuchung der Modulationsvorgänge ein Verfahren finden, bei dem die nach der Demodulation verbleibenden, störenden Kombinationstöne auf ein Minimum reduziert sind [12]. Bei diesem sogenannten «Stufenwertverfahren» ist die Lage der Impulskanten durch die in periodischen Zeitabständen festgestellten vorausgehenden Signalwerte charakterisiert, während die Lage der Kanten beim allgemein üblichen «Kantenwertverfahren» jeweils dem im Zeitpunkt der Kanten auftretenden Signalwert entspricht. Das neue Verfahren ermöglicht bereits bei Zeitmodulation eine erhebliche Verminderung der hörbaren Störamplituden (Fig. 12). Bei lagemodulierten Impulsen ist dagegen mit geeigneten Demodulationsverfahren eine theoretisch vollständige Unterdrückung hörbarer Kombinationstöne erreichbar. Dieses Modulationssystem erscheint deshalb besonders angebracht, wenn es sich um die Übertragung von Musik oder von Breitbandsignalen für Trägerfrequenz-Mehrkanal-Systeme handelt.

Ein besonderes Problem der Mehrkanalübertragung mit lagemodulierten Impulsen besteht in der Erzielung eines möglichst zweckmässigen zeitlichen Verlaufes dieser Impulse. Auf Grund theoretischer Untersuchungen wurden die Massnahmen zur Er-

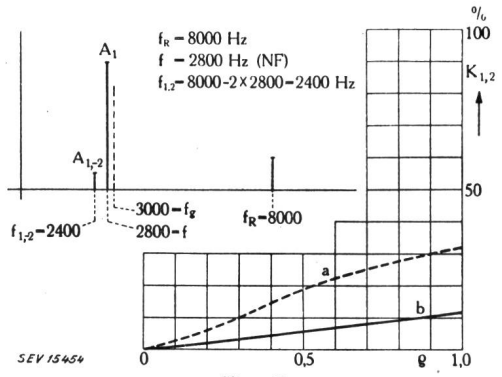

Fig. 12
Hörbare Verzerrungen bei Zeitmodulation
a Kantenwertverfahren b Stufenwertverfahren
f_R Impuls-Wiederholungsfrequenz = 8000 Hz
f Obere Frequenzgrenze des Niederfrequenzsignales = 2800 Hz
$f_{1,2}$ Hörbare Kombinationsfrequenz
K Klirrfaktor
ϱ Modulationsgrad

zeugung von Impulsen maximaler Steilheit und minimaler Dauer genau festgelegt. Bei der Dimensionierung aller Hochfrequenzkreise und des Empfangsverstärkers wurden diese Gesichtspunkte sorgfältig berücksichtigt, so dass eine optimale Ausnützung des verfügbaren Hochfrequenzkanals ohne Übersprechen infolge ungünstiger Impulsform gewährleistet wird [13].

Die zur Übertragung eines Kanals erforderliche Impuls-Wiederholungsfrequenz muss bekanntlich über der doppelten Maximal-Frequenz dieses Kanals liegen. Für die normale Telephonie mit einer oberen Frequenzgrenze von zirka 3,4 kHz werden deshalb 8000 Impulse pro Sekunde und Kanal verwendet. Um aber auch eine Musikübertragung bester Qualität zu ermöglichen, wurde die Zusammenfassung mehrerer Telephoniekanäle zu einem Musikkanal vorgesehen, wobei die obere Frequenzgrenze auf ein Mehrfaches erhöht ist. Die gruppenweise Zusammenfassung mehrerer Sprechkanäle bietet auch erhebliche schaltungstechnische Vorteile. So ist insbesondere eine saubere Kanaltrennung ohne übermässige Anforderungen hinsichtlich Stabilität massgebender Schaltungskreise erforderlich.

Es wurde zunächst eine Versuchsanlage für 6 Kanäle gebaut, welche eine Abklärung der grundlegenden schaltungstechnischen Probleme ermöglichte (Fig. 13). Auf Grund der Erfahrungen mit dieser Apparatur wurden grössere Anlagen für 24 Kanäle (inbegriffen ein Dienstkanal) projektiert, an denen gegenwärtig gearbeitet wird. Diese Anlagen sind als Normalausführung für unser Fabrikationsprogramm vorgesehen. Sie können auch in einfacher Weise für kleinere Kanalzahlen unter Weglassung einzelner Kanalchassis verwendet werden.

Der Aufwand für solche Anlagen ist im Vergleich zu jenem für andere Systeme verhältnismässig klein. Für die Kanal-Unterteilung werden normale Verstärkerröhren verwendet, deren Verstärkung im Takte der zugeordneten Kanalimpulse gesteuert ist. Es wurde auch ein Kathodenstrahlrohr besonderer Konstruktion zur sender- und empfangsseitigen Kanalumschaltung entwickelt, welches in neuartiger Weise die Modulation bzw. Demodulation der lagemodulierten Impulse, ebenso die Umschaltung auf die zugeordneten Kanäle bezweckt. Im Hinblick auf die guten Ergebnisse mit getrennt gesteuerten Normalröhren sehen wir jedoch vorläufig vom praktischen Einsatz dieses elektronischen Gerätes ab.

Von besonderer Bedeutung ist eine einwandfreie Synchronisierung, welche durch automatischen Phasenvergleich der empfangsseitig erzeugten Steuerwechselspannung mit den Synchronisierungsimpulsen und durch Frequenzbeeinflussung dieser Spannung mit einer phasenabhängigen Regelspannung erfolgt. Auch unter schwierigsten Betriebsbedingungen arbeitet diese Synchronisierung einwandfrei. Zur Übermittlung von Dienstgesprächen werden den Synchronisierungsimpulsen kleine Zusatzimpulse angelagert, welche auch in den Relaisstationen erzeugt und demoduliert werden können,

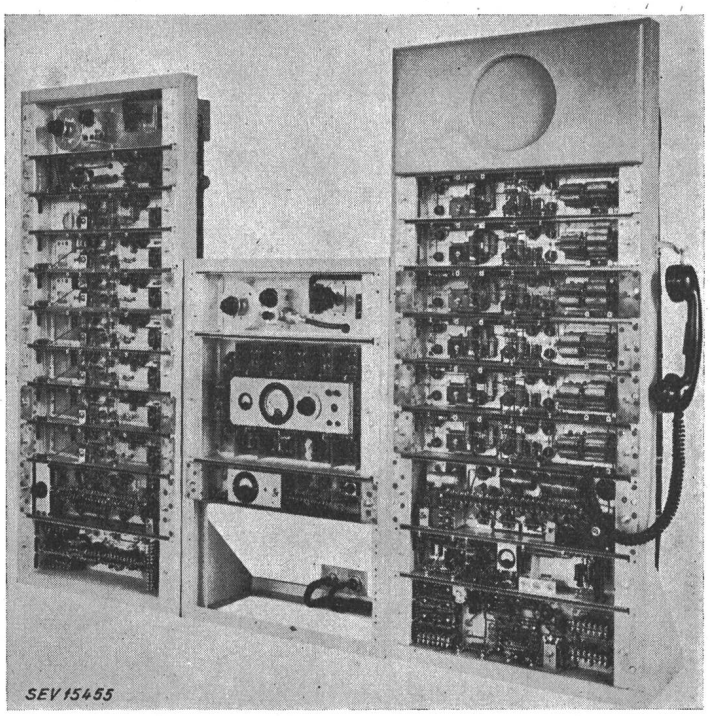

Fig. 13
6-Kanal-Versuchsanlage für Impulsmodulation
Frontplatten abgehoben

links: Sendeapparatur: Mikrowellensender; Taststufe; Taktimpuls-Einheit; 6 Kanal-Einheiten; Musikeinheit; Oszillator und Phasenverteiler

Mitte: Empfangsapparatur, Hochfrequenzteil: Mischstufe mit Überlagerungs-Hilfsoszillator; Zwischenfrequenzverstärker; Abstimmungs-Kontrolleinheit

rechts: Empfangsapparatur, Demodulations- und Niederfrequenzteil: Kontroll-Lautsprecher; 6 Kanal-Einheiten; Musikeinheit; Kanal-Synchronisierung; Oszillator-Phasenverteiler

so dass Dienstgespräche an allen Stellen ohne Rücksicht auf den übrigen Betrieb möglich sind.

Besondere Vorkehrungen sind vorgesehen zur automatischen Feststellung und Lokalisierung allfälliger Betriebsstörungen wie auch zur selbsttätigen Einschaltung von Reserveapparaturen. Die Übertragung von Ruf- und Wahlsignalen ist in einfacher Weise durch besondere Tastung der entsprechenden Kanalimpulse möglich.

Die Übertragung erfolgt mit Mikrowellen, deren Wellenlänge 14...16 cm beträgt. Zur Erzeugung der Sendeschwingung von zirka 2000 MHz und der Hilfsspannung für die empfangsseitige Überlagerung verwenden wir den Turbator. Der Mechanismus dieses Magnetfeldrohrs ist ähnlich dem eines Magnetrons; durch Eingliederung aller Anodensegmente in einen gemeinsamen Resonator ist jedoch die Neigung zur Bildung von Nebenwellen viel geringer. Dieses Rohr ist das Ergebnis einer vieljährigen Entwicklungsarbeit von *Lüdi* [14]. Es hat sich im Dauerbetrieb gut bewährt und gewährleistet eine beachtliche Nutzleistung mit auffallender Frequenzkonstanz bei einfachster Konstruktion.

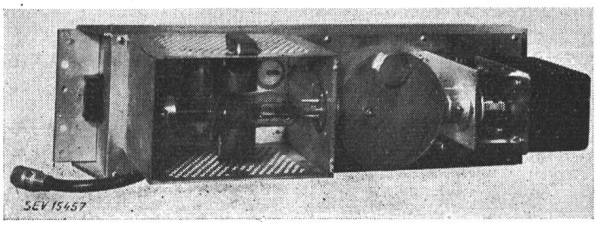

Fig. 14
Mikrowellen-Generator für Impuls-Mehrkanalanlage
mit Turbator, einstellbarem Resonator und automatischer Abstimmungsregulierung für Frequenzen von ca. 2000 MHz

Das Rohr wird in Verbindung mit einem äussern Resonator verwendet, dessen Abstimmung entsprechend der gewünschten Sendefrequenz einstellbar ist. Ein besonderer Resonator ist zur automatischen Frequenzkontrolle des Senders vorgesehen (Fig. 14). Bei jeder Frequenzabweichung entsteht eine entsprechende Regelspannung, welche eine selbsttätige Frequenzkorrektur auslöst. Beim Überlagerungsempfänger ist dagegen zur automatischen Frequenzstabilisierung ein Diskriminator am Ausgang des Zwischenfrequenzverstärkers vorgesehen, dessen Ausgangsspannung eine Frequenzsteuerung des Überlagerungs-Hilfsoszillators bewirkt.

Bei unsern Anlagen für 24 Kanäle wird mit rund 200 000 Impulsen pro Sekunde gearbeitet, deren Breite 1 μs beträgt. Dies ergibt ein Verhältnis von etwa 1 : 5 zwischen Impulslänge und mittlerer Pausenlänge, wobei die Intervalle natürlich fast vollständig durch die modulationsbedingten Lageverschiebungen ausgenützt sind. Dieses Verhältnis hat sich bewährt. Eine nennenswerte Vergrösserung der Impulszahl wäre ohne gleichzeitige Einbusse der Modulationsfähigkeit nur möglich bei gleichzeitiger Verkürzung der Impulse. Da dies aus schaltungstechnischen Gründen zu erheblichen Schwierigkeiten führen würde, ist eine wesentliche Vergrösserung der Kanalzahl bei einer solchen Impulsfolge jedenfalls nicht ratsam.

Zur Erzielung grösserer Kanalzahlen empfiehlt sich die Zusammenschaltung mehrerer Impulsanlagen, welche über elektrische Weichen mit einer gemeinsamen Antenne arbeiten [15]. Auch bei den Relaisstationen wird Anwendung solcher Weichen und getrennte Tastung der auf ungleicher Frequenz arbeitenden Impulssender zweckmässig sein. Diese Lösung bietet den besondern Vorteil, dass nicht für alle Apparaturen eine getrennte Reserveausführung bereitgestellt werden muss, weil im Falle einer Störung im allgemeinen nur einer der impulsgetasteten Träger ausfällt.

Die Übertragung mit lagemodulierten Impulsen ermöglicht, ähnlich wie die Frequenzmodulation, eine Verbesserung des Rauschabstandes, welche der vergrösserten Bandbreite entspricht. Die normalen Forderungen hinsichtlich Rauschabstand werden deshalb im allgemeinen auch bei längern Ketten mit mehreren Relaisstationen erfüllt. Erst bei sehr grossen Gesamt-Übertragungsstrecken, die unter Umständen bei internationalen Verbindungen auftreten können, empfiehlt sich die Anwendung der Code-Modulation, welche bekanntlich eine praktisch beliebige Zahl von Relaisstellen ohne Verschlechterung der Übertragungsqualität zulässt. Die Hochfrequenz-Apparaturen der normalen Impulsanlagen sind auch zur Übertragung der Code-Signale geeignet. Die Anwendung des Impuls-Code-Verfahrens wird deshalb mit entsprechenden Zusatzapparaturen möglich sein.

Messtechnik

Bei allen Entwicklungsarbeiten auf dem Gebiet der Richtstrahl-Übertragung spielt die Messtechnik eine grosse Rolle. Zahlreiche Geräte mussten gebaut werden zur Durchführung der notwendigen Laboratoriumsmessungen. So entstanden z. B. Messgeneratoren, Frequenzmesser, Messleitungen, Leistungsmesser, einstellbare Dämpfungsstrecken usw. für das Frequenzgebiet von zirka 2000 MHz (Fig. 15).

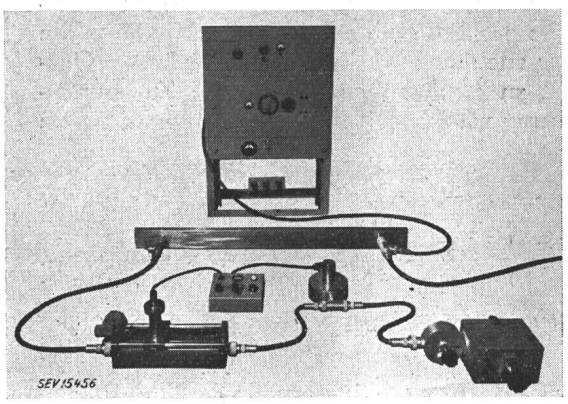

Fig. 15
Mikrowellen-Messplatz zur Bestimmung von Filter- und Leitungsdämpfungen
Turbator-Oszillator; Hohlraumwellenmesser; automatisch gesteuerte Messleitung; Indikator; Wellenleiter als Messobjekt; Überlagerer und geeichter Anzeigeverstärker für Frequenzen von ca. 2000 MHz

Im Auftrag der PTT wurde eine Sende-Empfangs-Apparatur für Frequenzen von zirka 300 MHz gebaut, welche für Ausbreitungs-Messungen über längere Zeitabschnitte mit fortlaufender Registrierung eingesetzt ist. Zum Studium der Ausbreitung von impulsgetasteten Mikrowellen wurden besondere tragbare Geräte erstellt. Mie diesen Apparaturen war zunächst eine genaue Überprüfung der theoretisch bestimmten Empfangsverhältnisse bei verschiedenen charakteristischen Übertragungsstrecken möglich, wobei sich im allgemeinen eine recht gute Übereinstimmung mit den erwarteten Daten ergab. Von besonderem Interesse war die Feststellung, dass bei normalen Übertragungsverhältnissen unzulässige Verzerrungen infolge Mehrwegausbreitung nicht auftreten. Die transportablen Geräte werden auch bei der Projektierung ganzer Anlagen zur Erprobung einzelner Teilstrecken eingesetzt (Fig. 16 und 17).

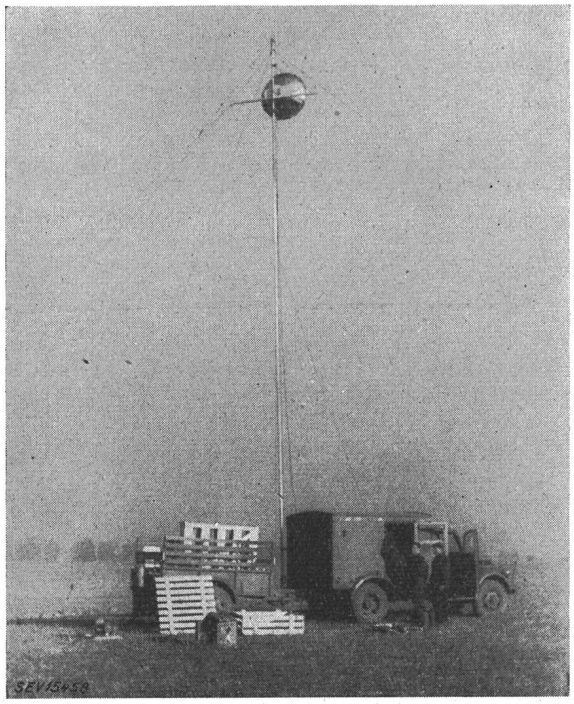

Fig. 16
Fahrbare Anlage für Ausbreitungsmessungen mit 200 MHz und 2000 MHz
Die Richtstrahlantennen werden an einem demontierbaren Mast hochgezogen

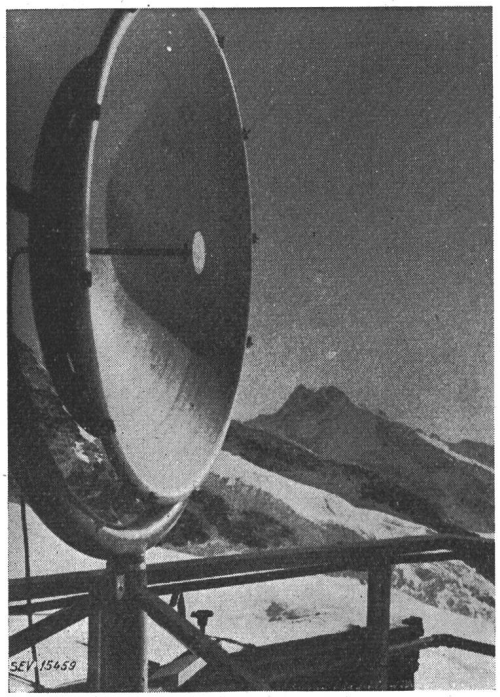

Fig. 17
Richtstrahlantenne mit Reflektor für Ausbreitungsmessungen auf Jungfraujoch

Praktische Aussichten der Richtstrahl-Technik

Um einen Einblick in den Stand der Entwicklungsarbeiten zu vermitteln, wurden die beschriebenen Mehrträger-, Einträger- und Impuls-Versuchsapparaturen, wie auch das tragbare Dezimeterwellengerät mit Mehrkanalzusatz im Anschluss an die 11. Hochfrequenz-Tagung auf dem Chasseral im Betrieb vorgeführt.

Die Auswertung aller Übertragungsversuche ermöglicht eine klare Beurteilung der Leistungsfähigkeit dieser Systeme. Trotz den bereits erzielten erfreulichen Ergebnissen ist zu beachten, dass es sich bei den gezeigten Anlagen für ortsfesten Einsatz erst um Versuchsapparaturen handelt. Die endgültige konstruktive Durchbildung ist gegenwärtig im Gange. Dabei werden die im Versuchsbetrieb gewonnenen Erfahrungen, wie auch die wesentlichen fabrikations- und betriebstechnischen Gesichtspunkte berücksichtigt. Es sollen Einheitsgeräte nach dem Einträger- und Impulsverfahren geschaffen werden, welche den Bedürfnissen des praktischen Betriebes möglichst weitgehend entsprechen. Nach Prüfung der Prototypen ist Serienfabrikation vorgesehen.

Bei der Systemwahl wie auch bei der Entwicklung und konstruktiven Durchbildung aller Geräte verzichteten wir absichtlich auf jede Spekulation mit noch unerprobten Bauelementen und Röhren. Verschiedene an sich verlockende Lösungen wurden bei der Projektierung wegen grundlegender technischer Bedenken ausgeschieden. Aus diesem Grunde wurde z. B. auch vorläufig auf Systeme mit sehr grosser Kanalzahl verzichtet, deren Realisierung mit ungewohnten und z. T. kaum erfüllbaren Forderungen an die Röhrentechnik verbunden ist. Auf diese Weise hoffen wir, unerwartete Verzögerungen und Schwierigkeiten bei der Fabrikation und im Betrieb der Geräte am besten vermeiden zu können.

Nachdem sich die praktischen Möglichkeiten der Richtstrahlsysteme einigermassen überblicken lassen, drängt sich ein Vergleich mit Kabel-Übertragungssystemen auf, welche bekanntlich in den letzten Jahren ebenfalls eine beachtliche technische Weiterentwicklung erfahren haben. Von besonderem Interesse ist der Aufwand pro Übertragungskanal, wobei nicht nur die Investierungskosten, sondern auch der Raumbedarf, die Röhrenzahl und die Betriebskosten der End- und Zwischenstationen eine

wesentliche Rolle spielen. Der Verletzbarkeit des Kabels und den verhältnismässig grossen Aufwendungen für jede Kabelreparatur steht ein komplizierterer Aufbau der Richtstrahlapparaturen mit zusätzlichen Störungsmöglichkeiten gegenüber. Die Geheimhaltung der Übertragung ist beim Einträger- und Impulssystem wohl in genügendem Masse gewährleistet, da ein verständlicher Empfang mit einfachen Mitteln nicht ohne weiteres möglich ist, besonders dann, wenn für dauernde Belegung aller Kanäle gesorgt wird.

Eine allgemein gültige Entscheidung ist im bevorstehenden Konkurrenzkampf zwischen drahtgebundener und drahtloser Übertragung wohl kaum möglich. Von Fall zu Fall werden u. a. bereits bestehende Einrichtungen und Kabelkanäle wie auch die geographischen Bedingungen eine entscheidende Rolle spielen. Wahrscheinlich wird sich die Richtstrahl-Übertragung in vielen Fällen auch als wirksame Ergänzung der bestehenden Kabelanlagen bewähren.

Literatur

(Es werden nur Publikationen, die bei Brown Boveri oder an der ETH entstanden sind, zitiert.)

[1] *Braun, A.:* Der frequenzstabile Schwingtopf-Generator. — Zürich, 1946.

Weber, G.: Über Frequenzmodulatoren für Ultrahochfrequenz. — Zürich, 1946.

[2] *Guanella, G.:* Die Trägerstabilisierung bei frequenzmodulierten Sendern. Brown Boveri Mitt". Bd. 33(1946), Nr. 8, S. 193...197.

[3] *Guanella, G.,* u. *J. Schwartz:* Frequenzmodulation. Brown Boveri Mitt". Bd. 28(1941), Nr. 12, S. 417...422.

Güttinger, G.: Frequenzmodulation. — Zürich, 1947.

[4] *Güttinger, G.:* Die Verzerrungen frequenzmodulierter Signale bei der Bandfilter-Übertragung. Brown Boveri Mitt". Bd. 33(1946), Nr. 8, S. 185...187.

Güttinger, G.: Der Einfluss von Dämpfungs- und Phasen-Verzerrungen auf frequenzmodulierte Wellen. Bull. SEV Bd. 36(1945), Nr. 8, S. 261...268.

[5] *Steinmann, W.,* u. *E. Huber:* Die erste Versuchsanlage einer drahtlosen Mehrkanal-Verbindung Zürich—Genf im Dienste der Öffentlichkeit. Brown Boveri Mitt". Bd. 35(1948), Nr. 3/4, S. 111...115.

[6] *Ganz, E.:* Massen- und Ringkernspulen und ihre Verwendungsmöglichkeiten. Brown Boveri Mitt". Bd. 33 (1946), Nr. 8, S. 219...221.

Ganz, E.: Brown Boveri Massekerne für Filter- und Resonanzspulen der Nachrichtentechnik. Brown Boveri Mitt". Bd. 31(1944), Nr. 9, S. 331.

[7] *Scherrer, P.:* Über Piezoelektrische Kristalle und deren Anwendung für elektrische Wellen-Filter. Brown Boveri Mitt". Bd. 31(1944), Nr. 9, S. 316...322.

Biefer, H., u. a.: Fortschritte im Bau von Kristallfiltern. Brown Boveri Mitt". Bd. 33(1946), Nr. 8, S. 214...218.

[8] *Staub, F.:* Kettenförmige Ultrakurzwellen-Bandfilter aus quasi-stationären Schwingtöpfen. — Zürich, 1947.

[9] *Schüpbach, R.:* Von den vielseitigen Anwendungsmöglichkeiten der Richtstrahlübertragung. Brown Boveri Mitt". Bd. 31(1944), Nr. 9, S. 288...291.

Schüpbach, R.: Interessante Anwendungen von Dezimeterwellen in der Nachrichtentechnik. Brown Boveri Mitt". Bd. 32(1945), Nr. 12, S. 453...456.

Schüpbach, R.: Das tragbar-leichte Dezimeter-Gerät für Militär-Richtstrahlverbindungen. Brown Boveri Mitt". Bd. 33(1946), Nr. 8, S. 178...181.

Huber, E.: Entwicklung und heutiger Stand unserer Mehrkanal-Richtstrahltechnik. Brown Boveri Mitt". (1946), Nr. 8, S. 182...185.

[10] *Bertschinger, A.:* Einige Orientierungen über den Bau unserer Kleinröhren. Brown Boveri Mitt". Bd. 31(1944), Nr. 9, S. 313...315.

[11] *Schüpbach, R.:* Studien über die Technik der Ultrakurzwellen im Bereiche von 1 Meter Wellenlänge. — Zürich, 1942.

Quervain, A. de: Elektrische Schwingtöpfe und ihre Anwendung in der Ultrakurzwellen-Verstärkertechnik. — Zürich, 1944.

[12] *Güttinger, P.:* Zeitmodulation. Brown Boveri Mitt". Bd. 33(1946), Nr. 8, S. 188...192.

[13] *Baeyer, H. J. von:* Die Grundlagen der Mehrkanalübertragung mit modulierten Impulsen. Brown Boveri Mitt". Bd. 33(1946), Nr. 3, S. 65...69.

Baeyer, H. J. von: Probleme der Nachrichtenübertragung auf Mikrowellen. Brown Boveri Mitt". Bd. 33 (1946), Nr. 8, S. 198...203.

[14] *Lüdi, F.:* Zur Theorie der geschlitzten Magnetfeldröhre. Helv. Phys. Acta Bd. 16(1943), Fasc. prim., S. 59...82.

Lüdi, F.: Eigenfrequenzen des *E*-Typus eines kapazitätsbelasteten zylindrischen Hohlraumes. Helv. Phys. Acta Bd. 17(1944), Fasc. sext., S. 429...436.

Lüdi, F.: Zur Theorie des Magnetfeldgenerators für Mikrowellen. Helv. Phys. Acta Bd. 19(1946), Fasc. prim., S. 3...20.

Lüdi, F.: Der «Turbator». Brown Boveri Mitt". Bd. 28 (1941), Nr. 12, S. 396.

[15] *Käch, A.:* Die Ausbreitung der gedämpften H_{0m}-Welle in der Umgebung der Grenzfrequenz. Helv. Phys. Acta Bd. 20(1947), Fasc. tert., S. 341...356.

Adresse des Autors:
G. Guanella, dipl. Ingenieur, Hinterbergstrasse 53, Zürich 44.

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Die Weitspannfelder der 110-kV-Übertragungsleitung über den Pass Lueg

[Nach Karl Riedlinger: Elektrotechn. u. Maschinenbau Bd. 65(1948), Nr. 3/4, S. 33...43.]

621.315.1(436)

Eine der wichtigsten Bahnstrecken der Österr. Bundesbahnen ist die Westbahnlinie Innsbruck—Salzburg—Linz—Wien, die vor dem Beginn des zweiten Weltkrieges auf dem Abschnitte von Innsbruck bis Salzburg bereits elektrisch betrieben wurde. Der hiefür benötigte Einphasenstrom von 16 ⅔ Hz wurde aus den westlich von Salzburg gelegenen bahneigenen Kraftwerken mit einer Übertragungsspannung von 55 kV geliefert. Das letzte Unterwerk vor Salzburg, in dem die Übertragungsspannung auf die Fahrdrahtspannung von 16 kV transformiert wurde, befand sich in Golling. Bei der Trassenführung der 55-kV-Leitung war bereits auf die künftige Errichtung einer parallel laufenden 110-kV-Übertragungsleitung der ÖBB Rücksicht genommen worden, da bei Fortsetzung der Bahnelektrifizierung und der zu erwartenden Intensivierung des Verkehres 55 kV nicht mehr ausreichen konnten, um die erforderliche Energie aus dem nächstgelegenen Bahnkraftwerk bei Vorderstubach heranzubringen. Das grösste Hindernis für die Führung der beiden Leitungen bildete die Salzachenge des bekannten Passes Lueg südlich Golling, wo die Steilhänge des Hagen- und Tennen-Gebirges so nahe zusammenrücken, dass dazwischen neben der Salzach, der Bundesstrasse und der Bahnlinie, die übrigens die eigentliche Paßstrecke in einem Tunnel unter-