

<b>Zeitschrift:</b>	Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
<b>Band:</b>	27 (1936)
<b>Heft:</b>	20
<b>Artikel:</b>	Die technische Entwicklung des Fernsprechens über Kabelleitungen auf grosse Entfernnungen
<b>Autor:</b>	Forrer, J.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-1061514">https://doi.org/10.5169/seals-1061514</a>

### 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:** 22.01.2026

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

# SCHWEIZERISCHER ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

# BULLETIN

REDAKTION:

Generalsekretariat des Schweiz. Elektrotechn. Vereins und des Verbandes Schweiz. Elektrizitätswerke, Zürich 8, Seefeldstr. 301

VERLAG UND ADMINISTRATION:

A.-G. Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei, Zürich 4  
Stauffacherquai 36/40

Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet

XXVII. Jahrgang

Nº 20

Mittwoch, 30. September 1936

## Die technische Entwicklung des Fernsprechens über Kabelleitungen auf grosse Entfernung.

Referat, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV vom 23. November 1935 in Olten,  
von J. Forrer, Zürich.

621.395.5

Der Vortrag, den Herr Professor Dr. J. Forrer von der Eidgenössischen Technischen Hochschule vor dem SEV über die Entwicklung der Kabel-Fernsprechtechnik gehalten hat, bezwecke vor allem, den Starkstromtechnikern einen Ueberblick zu geben über die grossen Erfolge, welche die FernmeldeTechniker auf diesem Gebiet in den letzten Jahren erzielten und über die Tendenzen, die sich heute abzeichnen. Er bezwecke in höherem Sinn, der gegenseitigen Zusammenarbeit und gegenseitigen Förderung der Starkstrom- und Schwachstrom-Techniker zu dienen. Deshalb wird dem Spezialisten vieles von dem bekannt sein, was der Referent im folgenden zuhanden der Starkstromtechniker ausführt. (Die Redaktion.)

Die Anfänge des Fernsprechens auf grosse Entfernung im öffentlichen Verkehr gehen in Europa etwa auf das Jahr 1920 zurück. Bis dahin konnte man mit wenigen Ausnahmen lediglich die Freileitung als Mittel zur Ueberbrückung von Distanzen bis zu etwa 1000 Kilometern. Bedingt durch das Bedürfnis nach besseren und zahlreicherer Verbindungs möglichkeiten, in der Schweiz vielfach auch unter dem Druck des Ueberganges zur elektrischen Zugförderung, wurden die Freileitungen durch Kabelleitungen ersetzt, nachdem praktische Mittel zur Verbesserung ihrer Uebertragungseigenschaften gefunden und als brauchbar erkannt waren.

Im Jahre 1893 erkannte Heaviside, dass die Dämpfung einer Leitung durch Erhöhen ihrer Induktivität herabgemindert werden kann. Um das Jahr 1900 wurden dann von Pupin die ersten Regeln zu deren künstlichen Vergrösserung gegeben. Er schaltete in regelmässigen Abständen zusätzliche Induktivitäten (Pupinspulen) in Reihe mit der Leitung (Pupinisierung). Dieses Verfahren wurde zuerst mit mehr oder weniger Erfolg auf Freileitungen angewendet. In Amerika, Deutschland und England wurden unmittelbar vor dem Krieg die ersten mit Pupinspulen ausgerüsteten Kabel verlegt: Berlin—Hannover, Bodensee usw. Ein weiteres, außerordentlich weittragendes Hilfsmittel für die Entwicklung des Fernsprechens über Pupinleitungen entstand mit dem Elektronenrohr. Eine seiner ersten praktischen Anwendungen war der Fernsprechverstärker.

La conférence que Monsieur J. Forrer, professeur à l'Ecole Polytechnique Fédérale a tenue devant l'ASE sur le développement technique de la téléphonie par câbles, avait en premier lieu pour but de donner aux techniciens du courant fort un aperçu des progrès énormes réalisés ces dernières années dans ce domaine et d'esquisser les tendances qui se dessinent aujourd'hui. Elle devait en outre servir à resserrer la collaboration et les échanges d'expériences entre techniciens du courant fort et du courant faible. Pour cette raison, le spécialiste y trouvera probablement peu de choses qu'il ne connaisse déjà. (La rédaction.)

Die Dämpfung der mit Widerstand ( $R$ ), Induktivität ( $L$ ), Kapazität ( $C$ ) und Ableitung ( $G$ ) behafteten Längeneinheit eines homogenen Kabels ist näherungsweise bestimmt in der Form

$$\beta \sim \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

unter der Voraussetzung, dass  $R$  gegenüber  $\omega L$  vernachlässigbar ist. Der Widerstand der Zusatzinduktivitäten vergrössert  $R$  und damit die Dämpfung. Der Widerstand ist also nach Möglichkeit klein zu halten, d. h. von Anfang an wurden als Pupinspulen bewickelte Eisenkerne (Toroide) verwendet mit dem Vorteil, dass relativ wenige und kurze Windungen nötig wurden, eine weitgehende Symmetrie erreicht werden konnte und geringe Streufelder auftraten. Auf einem Kern werden die Windungen induktiv in Reihe gelegt und beiden Leitungsdrähten in gleicher Zahl zugeteilt. Die Induktivitäten sollen für ein abgeschlossenes Leitungsstück alle gleich sein, dürfen sich demnach auch mit der Zeit und unter dem Einfluss von benachbarten Starkstromanlagen nicht ändern. Sie sollen möglichst geringe Verluste aufweisen und der Absolutbetrag der Induktivität soll wenig frequenzabhängig sein, um auch Änderungen in den Eigenschaften der Pupinleitung mit der Frequenz so weit als möglich zu vermeiden. Bei den geringen magnetisierenden Kräften — einige Milliampère Magnetisierungsstrom — kommt fast nur die Anfangspermeabilität in Frage. Man fand im Lauf der Jahre durch lange

und eingehende Untersuchungen magnetische Materialien, deren Remanenz ausreichend klein (geringe Aenderung mit der Vormagnetisierung durch Starkstromeinflüsse) und deren Permeabilität von der Grösse der magnetisierenden Kraft weitgehend unabhängig ist. Während man ursprünglich mit Kernen arbeitete, die aus weichem Eisendraht gewickelt oder aus verlustarmen Spezialblechen aufgebaut wa-

der homogene Charakter der unbelasteten Leitung und das neue Gebilde wird zu einer mit Verlusten behafteten Drosselkette mit ganz anderen Uebertragungseigenschaften. Dieser Umstand hat dazu geführt, dass man sich mit der Einführung der Pupinleitung ganz neuen Problemen gegenüberstellt, die zu ihrer Abklärung jahrelange Entwicklungsarbeit erforderten (Fig. 3).

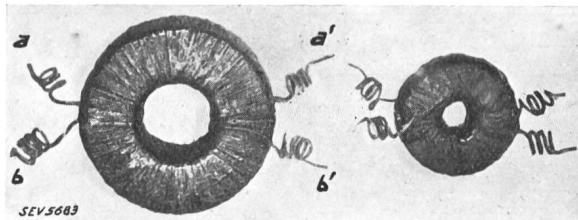


Fig. 1.

Normale Pupin spule mit einer Induktivität von 177 m H, links im Jahre 1925, rechts im Jahre 1934.

ren, musste man mit der Einführung des Zweidrahtverstärkers nach magnetisch beständigeren Materialien suchen. Heute sind es Kerne aus pulverisierten Spezial-Eisenlegierungen, mit einem Bindemittel zusammengepresst, oder aus besonders präparierten Eisenblechen gewickelt, die den praktischen Forderungen in weitgehendem Masse entsprechen. Mit der Verfeinerung des Materials sind die Kerne kleiner geworden und damit auch Gewicht und Grösse der Spulenkästen. Fig. 1, bzw. Fig. 2 zeigen eine normale Spule mit einer Induktivität von 177 mH, bzw. einen Kasten mit 200 Spulen aus den Jahren 1925 (links) und 1934 (rechts).

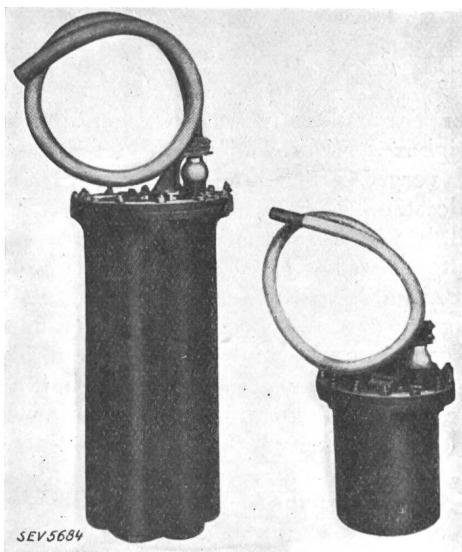
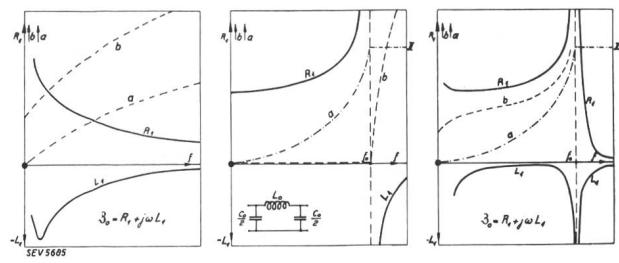


Fig. 2.

Kasten mit 200 Pupinspulen, links im Jahre 1925, rechts im Jahre 1934.

Die Pupinspulen werden in gleichen Abständen in die homogene Leitung eingesetzt, d. h. so, dass die zwischen zwei aufeinander folgenden Spulen liegende Kabelkapazität über die ganze Leitung hinweg möglichst gleich bleibt. Damit verschwindet



Homogenes Kabel

Drosselkette

Pupinleitung (1 Glied)

Übertragungsscharakteristiken.  
a Phasenmass b Dämpfung.

Um in den Fernkabelanlagen die vorgesehene Leiter nach Möglichkeit ausnutzen zu können, ging man daran, diese in Vierergruppen zu verseilen, um auch die Phantomstromkreise als Verkehrskanäle verwenden zu können (Dieselhorst-Martinvierer, Sternvierer usw.). Eine solche Vierergruppe muss, um die drei Kanäle voneinander nebенstprechfrei zu bekommen, entsprechend symmetrisch sein, d. h. die gegenseitigen Kopplungen, inbegriffen diejenigen mit den benachbarten Gruppen und dem Bleimantel, sollen gleich sein, insbesondere dann, wenn es sich um relativ grosse Zusatzinduktivitäten handelt, und mit grossen Induktivitäten hat man angefangen. Diese Forderung musste zu einer weitgehenden Verfeinerung der Kabelfabrikation führen, die sich bemühen musste, Kabel mit kleinen Nebensprechkopplungen zu fabrizieren. Es wurden sogar Verfahren ausgearbeitet, die die Koppelungsunsymmetrien in der Fabrikation vollständig beseitigen sollen; sie führten aber nicht zu einem vollen Erfolg, weil bei der Verlegung der Kabel infolge mechanischer Beanspruchung immer wieder Aenderungen eintreten. Es zeigte sich, dass es für den nebensehfreien Aufbau einer Pupinkabelanlage ausreichend ist, wenn die einzelnen Spulenfelder und Spulensätze als solche ausgeglichen sind, d. h. wenn vorwiegend die kapazitiven Unsymmetrien der Felder und die induktiven der Spulensätze beseitigt werden können. So ist im allgemeinen bis heute die Notwendigkeit geblieben, die Kabel bei der Verlegung auf ihre Koppelungsunsymmetrien zu prüfen und unzulässig grosse Beträge zu beseitigen. Die beiden gebräuchlichsten Methoden sind der Ausgleich durch kleine zusätzliche Kondensatoren und das Kreuzungsverfahren, das die natürlichen Verschiedenheiten nach Möglichkeit so schaltet, dass sie sich gegenseitig aufheben. Die Unsymmetrien der Spulensätze lassen sich heute bei der Fabrikation weitgehend vermeiden. Die Abklärung all dieser Fragen hat Jahre in Anspruch genommen.

Die Pupinleitung als verlustbehaftete Drosselkette hat Eigenschaften, die sie nicht unter allen Umständen als Uebertragungskanal für die Sprache geeignet machen (Fig. 3). Sie ist nur für den beschränkten Frequenzbereich

$$0 \text{ bis } f_0 \sim \frac{1}{\pi \sqrt{L_0 C_0}} \text{ Per./s}$$

durchlässig, wobei  $L_0$  die Induktivität einer Spule und  $C_0$  die Kapazität eines Spulenfeldes (Distanz von einer Spule zur andern) darstellen. Oberhalb  $f_0$  nimmt die Dämpfung rasch bis zur vollkommenen Undurchlässigkeit zu. Man erkennt, dass  $f_0$  bei gegebenem Kabel sowohl durch Änderung von  $L_0$  als auch durch die Wahl der Spulendistanz beeinflusst werden kann. Für die gute Uebertragung der Sprache im Fernsprechverkehr ist das Frequenzband 250 bis 2500 Per./s nötig und ausreichend. Man wird demnach durch passende Wahl von  $L_0$  und  $C_0$  in erster Linie dafür sorgen, dass die Pupinleitung für den angegebenen Frequenzbereich durchlässig bleibt. Betrachtet man den Ausdruck für die Dämpfung  $\beta$ , der auch für die Pupinleitung angenähert gültig ist für Frequenzen, die nicht zu nahe an der Grenzfrequenz liegen, so ist zu erkennen, dass bei gegebenen Eigenschaften des Kabels einem grossen  $L_0$  kleine Dämpfung und niedere Grenzfrequenz, einem kleinen  $L_0$  aber grosse Dämpfung und hohe Grenzfrequenz entsprechen wird. Die Kapazität des Kabels hängt fast nur ab von der Drahtdicke, da bei rationeller Fabrikation die Kapazität nur in verhältnismässig engen Grenzen beeinflusst werden kann. Von dem angedeuteten Standpunkt ausgehend hat man der Pupinkabelleitung unter Verwendung von 0,9 bis 1,5 mm dicken Drähten eine Grenzfrequenz von 2800 bis 3600 Per./s (Stammleitung, bzw. Phantomleitung) gegeben, bei Spulenfeldlängen von 1800 bis 2000 Meter und Induktivitäten von 150 bis 200 Millihenry für die Stammleitungen und 70 bis 110 Millihenry für die Phantomleitungen. Die Art der Belastung wurde in den einzelnen Ländern schon vor der Bildung des CCIF (Comité Consultatif International des communications téléphoniques à grande distance)<sup>1)</sup> normalisiert, glücklicherweise so, dass grosse Unterschiede in den Eigenschaften von Land zu Land nicht bestanden. Die genannten Pupinkabeltypen erlaubten ohne weitere Hilfsmittel, gegenüber den vorhandenen dickdrähtigen unbelasteten Kabeln eine Ausdehnung der Reichweite von 25 auf 80 km für die dünnen und von 50 auf 160 km für die dickeren Drähte bei wesentlich geringeren Verzerrungen gegenüber diesen und fast vollständiger Beseitigung der Störgeräusche, die das Fernsprechen auf Freileitungen ausserordentlich erschwerten.

In diese Pupinkabelleitungen wurden dann auch die ersten Fernsprechverstärker in der Form des Einrohrverstärkers eingebaut und auch die ersten Enttäuschungen erlebt, indem sich dieser Verstärkertyp als ungeeignet erwies. Un-

homogenitäten im Scheinwiderstand, herrührend von ungleichen oder durch äussere Einflüsse geänderten Spulen oder ungleiche Spulenfelder ergaben Rückkoppelungen — Pfeifen — am einzelnen Verstärker und beschränkten damit den möglichen Verstärkungsgrad. Rückkoppelungen zwischen mehreren auf einer Leitung in Reihe geschalteten Verstärkern machten eine namhafte Ausdehnung der Reichweite fast unmöglich. Aus dieser Erkenntnis heraus wurde der Einrohrverstärker ersetzt durch den Zweirohrverstärker, der, unter Verwendung eines Differentialtransformators auf der Ein- und Ausgangsseite und der künstlichen Nachbildung der Scheinwiderstände der angeschlossenen Leitungen, für jede Sprechrichtung ein Rohr, d. h. ein gesondertes Verstärkerelement benutzt. Es ist dies eine Anordnung, die für kürzere Entfernungen, bis ca. 800 km, abgesehen von wesentlichen Verbesserungen im Material, bis heute geblieben ist und wohl auch noch weiter bleiben wird, trotzdem viele Anstrengungen unternommen wurden, einfache Schaltungen zu finden, die die Leitungsnachbildung überflüssig machen sollten (Fig. 4). Unter dem Drucke dieser nicht zu umgehenden Leitungsnachbildungen entstanden dann in der Folge die weitgehenden Verbesserungen an den Bauelementen der Pupinleitung, vor allem an den Spulen und dem Gesamtaufbau der Kabelanlagen.

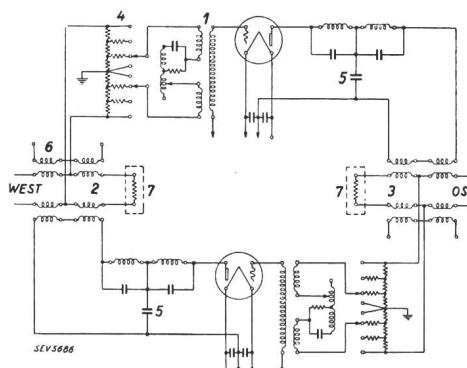


Fig. 4.  
Verstärker 22-A-1. Vereinfachtes Schema.

- 1 West-Ost-Eingangstransformator.
- 2 Ost-Ausgangstransformator.
- 3 West- » »
- 4 Potentiometer.
- 5 Siebkette.
- 6 Ueberwachung.
- 7 Leitungsnachbildung.

Der Scheinwiderstand der ersten Pupinleitungen — auf den Freileitungen wurden die Spulen wieder entfernt, um homogener Verhältnisse zu bekommen — war derart frequenzabhängig, dass eine auch nur einigermassen wahrheitsgetreue Nachbildung desselben nicht zu erzielen war. Der erreichbare Verstärkungsgrad der Verstärkerschaltung, d. h. ihre Rückkoppelungsanfälligkeit, ist aber direkt von der Güte der Nachbildung abhängig. Fig. 5 zeigt den Verlauf des reellen und imaginären Teils des Scheinwiderstandes einer Pupinleitung mit einer Unhomogenität im Abstande  $d = 16,5$  Spulenfeldlängen vom einen Ende mit der Frequenz.

<sup>1)</sup> Siehe Bull. SEV 1928, Nr. 10, S. 329.

Anfangs war man zufrieden, wenn zwei dieser Verstärker auf einer Leitung in Reihe geschaltet einen einwandfreien Verkehr gestatteten. Bei Verwendung von 1,4 bis 1,5 mm dicken Drähten konnte damit die Reichweite bis ca. 300 km ausgedehnt werden. Im Lauf der letzten zehn Jahre schuf man dann durch fortwährende Verbesserung der Spulen und Kabel und äusserste Sorgfalt im Zusammenbau

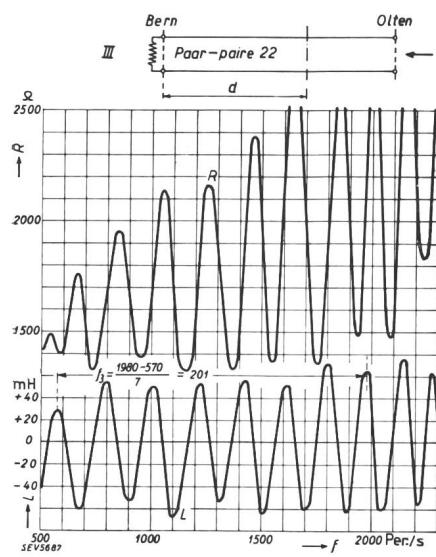


Fig. 5.

homogene und in ihren Eigenschaften beständige Pupinleitungen, die die Verwendung von 8 Zweidrahtverstärkern auf einer Leitung ohne Schwierigkeiten erlauben. Versuchsmässige Schaltungen konnten wesentlich weiter ausgedehnt werden. Infolge von Schwierigkeiten anderer Natur kam man aber trotzdem ohne relativ grossen Aufwand nicht wesentlich über eine Reichweite von ca. 800 km heraus. Die Rückkopplungsanfälligkeit nimmt mit der Zahl der Verstärker zu; der Verstärkungsgrad für den einzelnen Verstärker muss reduziert werden und schliesslich gelangt man zu einem Zustand, wo eine weitere Vermehrung der Zahl der Verstärker keinen Vorteil mehr bringen kann.

Mit dem Zweidrahtverstärker wurden andere Schaltungen angegeben, die unter Verwendung von vier Drähten im Lauf der Jahre zur Ueberbrückung grösster Entfernung führten. Der Aufbau einer solchen Vierdrahtschaltung leitet sich ab aus dem Zweidrahtverstärker. Die Zahl der Verstärker-Elemente wird für jede Sprechrichtung getrennt, in gleicher Weise vermehrt und diese längs zweier Leitungen so verteilt, dass jeweilen zwischen zwei Elementen ein Stück Leitung zu liegen kommt. Die beiden Differentialtransformatoren kommen dann an den Anfang und das Ende der zu überbrückenden Entfernung zu liegen. Auf diese beiden Punkte bleibt dann auch die Rückkopplungsanfälligkeit beschränkt, sofern man auf der Strecke dafür sorgt, dass Hin- und Rückleitung einander nicht beeinflussen — geringes Nebensprechen der beiden Leitungen. Das ganze Uebertragungssystem wird damit ein einziger grosser Zweidrahtverstärker (Fig. 6).

Diese auf den ersten Blick recht kostspielige Anordnung stellt prinzipiell auch heute noch die einzige Möglichkeit zur Ueberbrückung grösster Entfernung dar. Sie bringt gegenüber der Zweidrahtschaltung wesentliche Vorteile; an den einzelnen Verstärkern, die nur noch in einer Richtung arbeiten müssen, kann der Verstärkungsgrad erhöht werden, soweit es der Geräuschpegel und die Nebensprechkopplungen erlauben. Es können also bei gleichem Verstärkerabstand dünnerne Drähte verwendet werden oder bei Verwendung dicker Leiter die Verstärker weiter auseinander gesetzt werden. Die Verstärker werden in ihrem Aufbau einfach. Mit der Einführung der Vierdrahtschaltung konnte man die Reichweite unter Verwendung von Pupinkabelleitungen mit einer Grenzfrequenz von 2800 Per./s und 0,9-mm-Leitern (mittelstarke Pupinisierung) auf 1000 km ausdehnen. Dabei haben sich nun neue Schwierigkeiten eingestellt, und deren Beseitigung brachte neue Aufgaben.

Da in den beiden Endämtern in den meisten Fällen die Teilnehmer über ihre Amtsleitungen, direkt an die Vierdrahtschaltung angehängt werden und der Scheinwiderstand dieser Teilnehmeranschlüsse außerordentlich stark variiert, wird die Nachbildung unsicher, d. h. man kann diese nur einem mittleren Zustand anpassen. Es wird demnach immer ein mehr oder weniger grosser Teil der am Ende an kommenden Energie wieder in die abgehende Sprechrichtung hinein und zum Sendeende zurückfliessen. Ist die Leitung ausreichend lang und die Laufzeit  $t_0$  genügend gross, so wird der sprechende Teilnehmer z. B. nach  $2t_0$  s seine eigenen Worte ähnlich einem Echo wieder hören. Von diesem ersten Echo bildet sich ein zweites, wieder etwas weniger lautes, usw. Diese Echowirkung wirkt, wenn sie ausgeprägt auftritt, störend auf die Verständigung. Der äusserste Grenzfall ist die vollständige

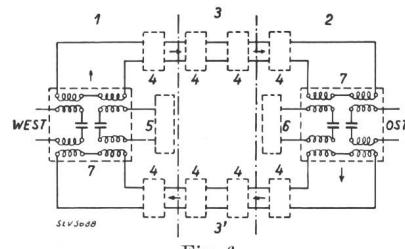


Fig. 6. Vierdraht-Verstärkeranlage, Zwischen- und Endverstärker.

- 1 West-Fernleitungs-Endausrüstung.
- 2 Ost- » »
- 3 Zwischenverstärkeramt West-Ost.
- 3' » » Ost-West.
- 4 Vierdrahtverstärker.
- 5 Leitungsnahbildung West.
- 6 » » Ost.

dige Rückkopplung. Um diese auf alle Fälle zu unterdrücken und das Echo auf ein Mindestmass herabzubringen, muss an den Enden entweder gut nachgebildet werden, z. B. durch künstliche Verlängerung des Teilnehmers, oder man richtet die ganze Anordnung so ein, dass das Ausgangsniveau (Ausgangsspannung) möglichst tief liegt. Zur vollständigen Unterdrückung des Echos können auf die Lei-

tung Echosperren geschaltet werden, die beim Sprechen in einer Richtung die andere Sprechrichtung vollständig sperren. Von der Sprechleitung wird ein kleiner Teil der Leistung weggenommen, verstärkt, gleichgerichtet und verwendet entweder zur Betätigung eines Relais, das die andere Sprechrichtung kurz schliesst, oder zum Unwirksammachen eines Verstärkers derselben (Verlagern der Gittervorspannung).

Die Gruppenlaufzeit — Zeit, die ein infinitesimal schmales Frequenzband  $\omega$  zum Durchlaufen einer Leitung mit der Winkelkonstanten  $a$  braucht —

$$t_0 = \frac{da}{d\omega} = \frac{2l}{s\omega_0 \sqrt{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}}$$

ist proportional zur Länge und umgekehrt proportional zur Grenzfrequenz. Sie wirkt bei einer bestimmten Länge störend auf den Sprechverkehr, auch ohne das Echo, weil dann die Zeit vom Sprechen an einem Ende zum Hören am andern zu gross wird. Mehr als 300 ms soll die Gruppenlaufzeit für eine fertige öffentliche Fernsprechverbindung nicht betragen. Sie beträgt z. B. 66 ms für die Frequenz 800 Per./s bei 1000 km Länge, 1,8 km Spulendistanz und einer Grenzfrequenz von 2800 Per./s (mittelstarke Pupinisierung). Für die Frequenz 2400 Per./s beträgt sie unter gleichen Bedingungen 122 ms. Man erkennt, dass ein Mittel zur Herabminderung der Gruppenlaufzeit in der Vergrösserung der Grenzfrequenz zu finden ist.

Aus dem Ausdruck für die Gruppenlaufzeit der Pupinleitung ergibt sich, dass sie stark frequenzabhängig ist und für die Grenzfrequenz unendlich gross wird. Die höheren Frequenzen kommen am Leitungsende später an als die tiefen. Die Folge wird sein, dass bei langen Leitungen mit grosser Laufzeit die einzelnen Laute vollständig in Teilschwingungen zerlegt am Empfangsende eintreffen und eventuell gar nicht mehr verstanden werden. Soll ein Laut noch einigermassen verständlich erscheinen, so muss die oberste seiner Teilstufen sich noch in der Zeit ausbilden können, die er überhaupt dauert. Aus praktischen Betrachtungen heraus hat man diese Zeit zu 30 ms festgestellt. Die Aufbauzeit der obersten Frequenz (2400 Per./s) darf also nicht grösser sein. Als Einschwingzeit einer Frequenz soll verstanden werden der Unterschied der Gruppenlaufzeiten für die tiefste Frequenz (0) und der zu übertragenden Frequenz ( $\omega$ ), die das Frequenzband bestimmen, aus dem die am Aufbau (Einschwingvorgang) in der Hauptsache beteiligten Frequenzen entnommen sind. Die Einschwingzeit ist dann

$$\tau = t_0 \left( 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2} \right),$$

also für die Grenzfrequenz wieder unendlich gross. Es beträgt z. B.  $\tau = 27$  ms für 2000 Per./s bei 1000 km Länge und mittelstarker Belastung ( $f_0 = 2800$  Per./s); bei 800 Per./s sind es 2,8 ms, bei 2400 Per./s 60 ms.

Man wird darnach trachten müssen, zu erreichen, dass die Gruppenlaufzeit und damit auch die Einschwingzeit für alle Frequenzen des Sprachbandes möglichst gleich werden. Dazu sind zwei Mittel zugänglich. Durch zusätzliche Netzwerke (Phasenkorrektoren), die so dimensioniert sind, dass die Laufzeit für die unteren Frequenzen am grössten wird, kann erreicht werden, dass die Gruppenlaufzeit für das Kabel mit den Korrektoren zusammen annähernd gleich wird, wenigstens für das zu übertragende Frequenzband. Sie wird dann aber immer mindestens so gross wie die Laufzeit der obersten Frequenz. Diese, von Küpfmüller angegebenen Korrektoren haben konstanten Scheinwiderstand und keine Dämpfung. Man erkennt, dass mit der angegebenen Schaltung wohl eine Verbesserung mit Bezug auf den Einschwingvorgang erreicht wird, nicht aber im Sinne einer Herabminderung der Gruppenlaufzeit. Aus den Ausdrücken für  $t_0$  und  $\tau$  geht hervor, dass eine Vergrösserung der Grenzfrequenz auch helfen kann; dieser Weg wurde in den vergangenen Jahren eingeschlagen. Für die ganz langen Verbindungen werden Leitungen mit relativ hoher Grenzfrequenz verwendet, die in den verschiedenen Ländern zwischen 6500 und 16 000 Per./s liegt. Das Frequenzband, das dabei für die Übertragung der Sprache benutzt wird, bleibt immer das gleiche. Man sorgt sogar durch Einschalten passender Tiefpassfilter an den Endverstärkern dafür, dass Frequenzen über 2500 Per./s nicht mehr durchgelassen werden, auch dann, wenn man die Leitungen weiter nicht mehr ausnutzen will. Für die extra-leichte Belastung — 1,8 km Spulendistanz und 7000 Per./s als Grenzfrequenz — wird die Gruppenlaufzeit bei 5000 km Länge 152 ms und die Einschwingzeit 24 ms (Fig. 7).

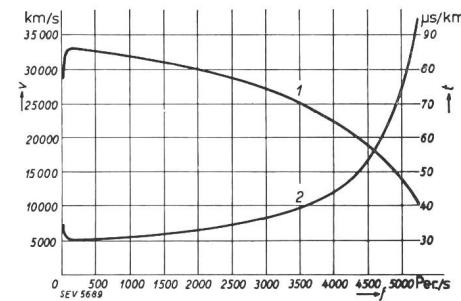


Fig. 7.  
Geschwindigkeit und Zeit der Übertragung für Stammleitungen belastet mit Spulen für 44 m H in Abständen von 1830 m.

1 Geschwindigkeit der Übertragung.  
2 Zeit der Übertragung.

Aus den Gleichungen für die Grenzfrequenz und die Dämpfung ergibt sich, dass die Dämpfung bei sonst gleichbleibenden Verhältnissen (gleiche Spulenabstände) mit der Grenzfrequenz zunimmt; d. h. auf den für grösste Distanzen geeigneten Leitungen müssen die Verstärker am nächsten beisammenliegen. Die Verbindungen über weite Entfernungen werden demnach kostspieliger als die kurzen, bezogen auf die Längeneinheit. In Deutschland schuf man in der letzten Zeit für Rundfunk

und Bildübertragungen und zum Zwecke der Ueberlagerung dreier Gespräche auf die gleiche Leitung Stromkreise mit einer Grenzfrequenz von 16 000 Per./s, die durchaus brauchbar wären für eine Fernsprechverbindung rund um die Erde. Es würde für eine Distanz von 40 000 km und die Frequenz 2000 Per./s die Laufzeit 444 ms und die Einschwingzeit 4,5 ms.

Eine weitere unangenehme Erscheinung bei der Uebertragung der Sprache über grössere Distanzen ist die Dämpfungsverzerrung, vor allem bei Leitungen mit niedriger Grenzfrequenz. Die Dämpfung steigt vor der Grenzfrequenz stark an; die höheren Frequenzen kommen dementsprechend am Empfangsende relativ schwächer an als die tieferen. Das hätte zur Folge, dass die oberen Frequenzen mit zunehmender Leitungslänge schliesslich vollständig verschwinden. Diesem Nachteil wird in der Weise begegnet, dass die Verstärker (Zweidraht und Vierdraht) mit Hilfe geeigneter Entzerrerschaltungen so ausgerüstet werden, dass sie die oberen Frequenzen mehr verstärken; an jedem Verstärkerausgang werden dann alle Frequenzen mit relativ gleicher Amplitude wieder erhalten.

Bei den Leitungen mit hoher Grenzfrequenz können diese Vorkehren wegfallen; hingegen ist darauf Rücksicht zu nehmen, dass die Dämpfung bei den untern Frequenzen mit der Frequenz relativ rasch abnimmt; die tiefen Töne werden also von der Leitung stark bevorzugt. Man legt dann in Serie mit der Leitung geeignete Netzwerke als Entzerrer, die die tiefen Frequenzen am meisten dämpfen. Es können einfache Zweipole, symmetrische Brücken, T-Glieder usw. sein. Phasen- und Amplitudenverzerrung lassen sich in der angedeuteten Weise immer im praktisch nötigen Umfang unterdrücken. Dazu kommen nun noch andere, nichtlineare Verzerrungen, herrührend von den Verstärkern und Pupinspulen. Sie können nicht vollständig unterdrückt, aber durch geeignete Wahl des Materials

so weit reduziert werden, dass sie sich praktisch wenig störend auf den Sprechverkehr auswirken.

Auf dem angedeuteten Wege kam man im Laufe der letzten zehn Jahre dazu, mit Hilfe geeigneter Pupinkabelleitungen Fernsprechkanäle zu schaffen, die auf grosse Entfernung den Anforderungen des Verkehrs vollständig genügen können. Durch Mitverwendung von drahtlosen Kanälen an den Stellen, wo das Anlegen von Kabelverbindungen mit zu

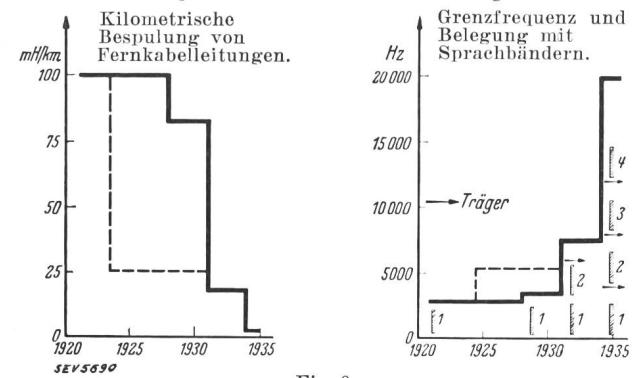


Fig. 8.  
Entwicklung des deutschen Fernkabelnetzes.  
--- leichte Pupinierung für den Weltverkehr.  
Die senkrechten Linienstücke mit seitlicher Schraffur im  
rechten Bild deuten Lage und Breite der einzelnen  
Frequenzbänder an.

grossen Schwierigkeiten und Kosten verbunden ist, ist es gelungen, die ganze Erde mit einem mehr oder weniger dichten Fernsprechnetz zu umspannen. Es muss festgehalten werden, dass gerade die drahtlosen Wege, die mit drahtgebundenen Wegen zusammengeschaltet werden, die kostspieligsten und unbeständigsten dieses Netzes darstellen. Es wird die Aufgabe der nahen Zukunft sein, Mittel und Wege zu finden, um sie durch bessere zu ersetzen. Ein Weg, der durchaus gangbar erscheint, ist die Verwendung einfachster Kabelstromkreise, die die Uebertragung sehr hoher Frequenzen gestatten ( $10^6$  und höher) als Träger der Sprachfrequenzen. Solche Möglichkeiten wurden bereits über das Versuchsstadium hinaus entwickelt.

### Diskussion.

**Der Vorsitzende**, Herr Direktor M. Schiesser, Präsident des SEV, dankt Herrn Professor Dr. J. Forrer den Vortrag bestens. Der Referent hat gezeigt, dass das Fernsprechen auf langen Leitungen eine ganz grosse Wissenschaft geworden ist. In der heutigen Fernsprechtechnik ist eine gewaltige Forschungsarbeit verwirklicht, an der alle Gebiete der physikalischen Forschung teilnahmen. Der Vorsitzende eröffnet die Diskussion.

Herr P. E. Schneeberger, Kabelwerke Brugg A.-G.: Herr Professor Dr. Forrer hat in ausserordentlich glücklicher Weise die Entwicklung des Fernsprechens über Kabelleitungen auf grosse Entfernung dargestellt und es ist der Leitung des SEV zu danken, dass sie in unserm Kreise nun auch den bis heute etwas stiefmütterlich behandelten Schwachstrom zu Worte kommen lässt. Gerade die Entwicklung der Telephonie ist in den letzten Jahren zu einem volkswirtschaftlichen Faktor gewachsen, der nicht nur für den Staat, sondern für die Elektroindustrie im speziellen von grösster Bedeutung ist.

Zum Vortrag selber möchte ich nur kurz einige Worte sagen und den Herrn Referenten bitten, gegebenenfalls die gewünschte Auskunft zu erteilen.

Die Grössenordnung der zu Beginn des Vortrages angeführten Kopplungswerte zwischen den einzelnen Bauelementen darf zwischen

Stamm/Stamm	im Mittel	$30 \mu\mu F$	max. $100 \mu\mu F$
Stamm/Vierer	»	$75 \mu\mu F$	max. $250 \mu\mu F$
Vierer/Vierer	»	$50 \mu\mu F$	max. $100 \mu\mu F$

nicht überschreiten. Diese Werte verbürgen eine leichte Durchführung des Ausgleiches der Kopplungsunsymmetrien, insbesondere durch das Kreuzungsverfahren. Die vom Herrn Vortragenden bezeichneten Kopplungen zwischen den Adern und dem Bleimantel haben schon oft zu Diskussionen Anlass gegeben und ich möchte fragen, ob in letzter Zeit dieses Problem abgeklärt worden ist. Es bestehen grundsätzlich zwei Anschauungen: Hat der Ausgleich der Erdunsymmetrien eine praktische Bedeutung für die Uebersprechverhältnisse oder nicht?

Eine weitere Frage, die vielleicht mehr allgemeines Interesse hat, betrifft die Verstärkeranlagen. Es würde mich sehr interessieren, etwas über die Organisation der Kontrolle der Verstärker zu hören. Die absolute Stabilität der Röhrenkonstanten ist eine Notwendigkeit für die klare Sprachübertragung. Es sind ganz gewiss spezielle Vorkehren für eine sorgfältige Betriebsüberwachung getroffen worden.

Zum Schluss deutete Herr Professor Forrer noch den Weg in die Zukunft, indem er auf die sog. Breitbandkabel hincwies.

Die Uebertragung hoher und höchster Frequenzen auf Kabelanlagen bedingt grundsätzliche Konstruktionsänderungen. Die Hauptgründe sind die Zunahme der Widerstands- und Ableitungsdämpfungen, welche bei den jetzigen Baustoffen Werte annehmen würden, die eine Uebertragung unmöglich machen. Eine Reihe von Isolationsstoffen mit sehr geringen dielektrischen Verlustwinkeln bei hohen Frequenzen liegen bereits vor. Glaubt Herr Professor Forrer an eine starke Verbreitung des zukünftigen Fernsehens und sind gegebenenfalls die Aussichten für Verteilungsanlagen auf dem Kabelprinzip gegenüber der drahtlosen Uebertragung günstig?

Herr Professor Dr. F. Tank, Eidg. Tecan. Hochschule, Zürich: Seit mehr als einem Dezennium stehen sich die Telephonie auf dem Drahtwege, bzw. Kabel, und die drahtlose Telephonie durch den freien Luftraum hindurch als Rivalen gegenüber. Es ist von hohem Interesse, die beiden Uebertragungsmethoden hinsichtlich ihrer besonderen Eigenart und Eignung zu vergleichen. Es ist unschwer zu erkennen, dass gerade dort, wo die Vorzüge der einen Methode liegen, die andere Methode Schwächen aufweist und umgekehrt. Die Kabeltelephonie ist gerichtet, d. h. schlägt einen bestimmten vorgeschrivenen Weg ein, und ist weitgehend störungsfrei, dagegen bereiten die Dämpfung, das Bestehen einer Grenzfrequenz und die im Zusammenhang damit stehenden Phasenverschiebungen dem Durchgang hoher Frequenzen grosse Schwierigkeiten; auch ist das Kabel sehr kostspielig. Die drahtlose Telegraphie besitzt den Vorteil eines absolut trägeheitsfreien und in der Kostenfrage überhaupt keine Rolle spielenden Uebertragungsmediums, wogegen sie aber Störungen stark ausgesetzt ist und die Richtmöglichkeiten beschränkt sind. Es ergibt sich daher von selbst der Wunsch, die beiden Methoden irgendwie so zu kombinieren, dass ihre Vorzüge vereinigt sind, ohne dass ihre Nachteile entsprechend gesteigert werden. Eine dahin ziellende Lösung stellt ohne Zweifel das Hochfrequenzkabel dar. Die Verwirklichung eines technisch verwendungsfähigen Hochfrequenzkabels bietet eine Reihe grundsätzlicher Schwierigkeiten, vor allem hinsichtlich der Dämpfung. Durch Verwendung der neuen verlustarmen Isolierstoffe sind aber schon erhebliche Fortschritte erzielt worden. Das Hochfrequenzkabel ist zunächst in der Hochfrequenztechnik als Energieleitung vom Sender zur Antenne verwendet worden. Es würde aber bei weiterer Durchbildung ganz allgemein ein ideales Kabel darstellen. Nicht nur wäre es möglich, eine grosse Anzahl von Gesprächen in einwandfreier Qualität gleichzeitig auf einer Leitung zu übertragen, sondern das Hochfrequenzkabel ist vor allem das befürigte Kabel für das Fernsehen. Von der Lösung der Kabelfrage wird ganz wesentlich die Entwicklung des zukünftigen Fernsehens abhängen. Wenn auch die Schwierigkeiten gross sind, die sich der Entwicklung eines Hochfrequenzkabels entgegenstellen, so wird zweifellos dafür auch Grosses erreicht sein, wenn seine Verwirklichung gelingt<sup>1)</sup>.

Herr P. E. Erikson, Int. Standard Electric Corporation, London: Herr Professor Dr. Forrer hat uns ein so klares und vollständiges Bild der Entwicklung der Fernkabeltechnik gegeben, dass es fast unmöglich ist, etwas beizufügen. Selbst für uns ältere Ingenieure, die diese Entwicklung über eine Spanne von etwa 30 Jahren verfolgt haben, gab es nichtsdestoweniger etwas Neues zu lernen. Der Schwachstromtechniker muss stets nach besserer Ausnutzung der Werkstoffe streben, und dies gilt im besondern für Kupferdraht. Bei Freileitungen von — sagen wir — 4 bis 5 mm Drahtstärke waren wir nicht zufrieden, durch Fantomasnutzung drei Sprechkreise aus vier Drähten herauszuholen. Es wurde ein Verfahren entwickelt, das durch die Verwendung von hochfrequenten Trägerströmen die Ueberlagerung von drei bis vier Kreisen auf jeder Freileitung ermöglichte.

Wir sind nun daran, dieses selbe hochfrequente Verfahren auf Kabel anzuwenden. Der Herr Referent erwähnte die Verwendung von ein bis drei Trägerkanälen auf besonders

<sup>1)</sup> Es mag erwähnt werden, dass für die Zwecke des Fernsehens ein Hochfrequenzkabel vom koaxialen Typ von New York nach Philadelphia verlegt wurde. Ein ebensolches soll zwischen London und Birmingham erstellt werden; man rechnet, auf demselben 200 bis 300 Telephongespräche gleichzeitig führen zu können.

pupinisierten Leitungen, die so bespult sind, dass sich eine Grenzfrequenz von der Grössenordnung 20 000 Per./s ergibt. In der Diskussion wurden auch die Breitbandkabel koaxialer Konstruktion erwähnt, die entweder zur Fernsehübertragung oder zum Gewinn einer sehr grossen Zahl von tonfrequenten Kanälen verwendet werden können.

Es gibt jedoch noch einen Zwischenschritt zwischen den besonders pupinisierten Kabeln mit drei Trägerkanälen und den koaxialen Kabeln, der von Wichtigkeit ist. Versuche wurden kürzlich in Amerika und in Grossbritannien unternommen, die gezeigt haben, dass es bei einem unbespulten (d. h. einem homogenen) Kabel von vielpaarigem Aufbau möglich ist, neun bis zwölf trägerfrequente Telephonkanäle auf Paaren von geeigneter Konstruktion zu bekommen.

Die Hauptaufgabe bei der praktischen Entwicklung der Trägertelephonie auf Kabeln ist jedenfalls: 1. die Auseinanderhaltung der verschiedenen Kanäle in befriedigendem Ausmaasse und 2. die Verstärkung der Gesprächsröme ohne Verzerrung.

Zum Schluss möchte ich noch darauf aufmerksam machen, dass Sie heute in der Schweiz eines der besten und einheitlichsten Fernkabelnetze Europas haben und, was von besonderem Interesse ist, dass die Kabel ausschliesslich in der Schweiz hergestellt worden sind.

Herr H. Weber, Telegraphen- und Telephonabteilung der PTT, Bern: Es wurde auf den Einfluss der Temperatur (Wechsel der Jahreszeiten) auf die Eigenschaften des Kabels hingewiesen, insbesondere auf die Veränderung der Dämpfungscharakteristik. Diese Veränderung ist bei langen Leitungen so gross, dass die Entzerrungseinrichtungen in den Verstärkern hauptsächlich während den Übergangszeiten Frühling und Herbst neu eingestellt werden müssen. M. W. sind dafür auch schon automatisch arbeitende Entzerrungsvorrichtungen angewandt worden; in der Schweiz wird diese Änderung von Hand ausgeführt. Besonders störend sind diese Temperatureinflüsse auf lange Rundfunkübertragungsleitungen, z. B. Wien—Zürich, weshalb diese einer besonders sorgfältigen periodischen Ueberwachung über das ganze Frequenzband bedürfen.

M. H. Jacot, Division des Télégraphes et des Téléphones des PTT, Berne: Monsieur le professeur Forrer a parlé dans son exposé de deux faits importants au sujet desquels l'administration suisse des téléphones a procédé à toute une série d'essais spéciaux. Il s'agit

- 1<sup>o</sup> de la distorsion linéaire des lignes répétées à 2 fils et de la manière de la compenser au moyen du circuit de contre-distorsion (Entzerrerschaltung) de chaque répéteur,
- 2<sup>o</sup> du nombre maximum de répéteurs à 2 fils pouvant être branchés en série.

Monsieur le professeur Forrer a cité comme maximum 8 répéteurs à 2 fils en série. Or on se heurte ici à une opposition de ces 2 facteurs. Ou bien on cherche en effet à compenser la distorsion linéaire des lignes en augmentant le gain des répéteurs à 2 fils pour les fréquences supérieures de 1000 pér./s à 2400 pér./s. Mais pour les fréquences proches de la fréquence de coupure du câble il est difficile d'adapter exactement l'équilibrage à l'impédance de la ligne, c'est-à-dire que pour ces fréquences il y aura risque de couplage plus grand, la ligne aura une plus forte tendance à siffler. Il faut donc trouver un réglage moyen de la contre-distorsion qui compense malgré tout le mieux possible la distorsion linéaire de la ligne, tout en gardant une stabilité suffisante pour un grand nombre de répéteurs à 2 fils en série. Dans cet ordre d'idée l'administration a fait des essais sur une ligne de 624 km de Brigue à Schuls avec 7 répéteurs intermédiaires à Martigny, Lausanne, Berne, Olten, Zurich, Coire et St-Moritz. On vit que si sur une pareille ligne on exagère la contre-distorsion, c'est-à-dire si on veut trop compenser la distorsion linéaire de la ligne elle aura une tendance beaucoup plus forte à siffler. Un circuit fantôme de pupinisation H—63 sera meilleur du fait de sa plus haute fréquence de coupure (3600 pér./s) qui permettra de bien adapter l'équilibrage jusqu'à près de la fréquence de coupure du répéteur (2400 pér./s dans notre cas). Il est vrai que dans certains cas on peut brancher 10 répéteurs à 2 fils en série et même

plus sans que la ligne ne se mette à siffler, mais ces répéteurs ont une fréquence de coupure plus basse (2000 pér./s). Ces répéteurs appelés répéteurs sur cordon sont utilisés lorsque dans certains cas la téléphoniste doit connecter ensemble deux lignes interurbaines. Par ex. il n'existera pas de circuit direct Genève—Schuls; on établira la communication en connectant ensemble à Zurich les 2 circuits Genève—Zurich et Zurich—Schuls. Le répéteur sur cordon de Zurich compensera partiellement les affaiblissements des 2 circuits de sorte que l'affaiblissement de la liaison Genève—Schuls sera ramenée à celle d'une ligne directe. Comme il est nécessaire de connecter ensemble toutes sortes de circuits qu'il n'est pas toujours possible de bien équilibrer, et qu'il faut éviter que la liaison ne siffle, on a choisi une fréquence de coupure plus basse pour ces répéteurs. Mais il est évident qu'en connectant un grand nombre de ces répéteurs en série la bande de fréquence effectivement transmise en sera fortement réduite et la qualité de la parole transmise en souffrira.

Monsieur Schneeberger a demandé quelles mesures de maintenance on effectuait sur les circuits et les répéteurs. Monsieur le professeur Forrer a déjà dit que pour les circuits internationaux un règlement international établi par le CCIF était intervenu. Pour chaque ligne une station directrice responsable de la qualité du circuit complet est désignée, ainsi que pour chaque pays traversé une station sous-directrice qui sera responsable du tronçon de frontière à frontière. Ainsi chaque directrice ou sous-directrice sera chargée de localiser et le cas échéant de lever les dérangements dans la section dont elles ont la responsabilité. Ainsi pour la ligne Paris—Vienne, Zurich sera choisie comme sous-directrice pour la Suisse et sera responsable du tronçon Bâle—St-Gall. Comme les lignes à 4 fils sont plus coûteuses que les lignes à 2 fils au point de vue du capital investi, il faut que ces lignes rendent aussi davantage et qu'elles soient par conséquent toujours en parfait état de fonctionnement. Pour cette raison les circuits à 4 fils seront mesurés régulièrement une fois par semaine ou une fois par mois suivant leur longueur. À époques régulières on contrôlera la bande de fréquences transmise de 300 à 2400 pér./s. La stabilité du gain des répéteurs dépend des triodes et particulièrement des variations de leur courant de chauffage. Ces courants sont donc contrôlés une fois par semaine. Le gain des répéteurs est vérifié une fois par mois.

Pour les amplificateurs radiophoniques qui doivent assurer une transmission parfaite de la musique pour une bande de 35 à 7000 pér./s le contrôle est encore plus serré. Le gain de ces amplificateurs qui doit être particulièrement stable est contrôlé toutes les semaines. Chaque samedi les circuits radiophoniques sont mesurés et cela pour les 4 réseaux (Beromünster, Sottens, Europe I et Europe II). Régulièrement le gain est contrôlé pour toute la bande de fréquences de 35 à 10 000 pér./s de manière à s'assurer de l'uniformité des caractéristiques des amplificateurs.

Ces quelques explications supplémentaires donneront un bref aperçu des mesures de maintenance nécessaire à maintenir les réseaux téléphoniques et radiophoniques en parfait état de fonctionnement.

Herr Prof. Dr. J. Forrer, Referent: Zu der von Herrn Schneeberger gestellten Frage nach der Bedeutung der Erdunsymmetrien in den Fernkabeln ist zu sagen, dass sie in den Messwerten, die dem Nebensprechausgleich zugrunde gelegt werden, inbegriffen sind und in ihrer Wirkung auf das Nebensprechen durch den Ausgleich beseitigt werden. Bei Kabeln, die dem Einfluss von Starkstromanlagen ausgesetzt sind, wo also auf den einzelnen Drähten Längsspannungen induziert werden, führen Erdkopplungsunsymmetrien zu Störungsgeräuschen. Der Zusammenhang zwischen Geräuschspannung und Unsymmetrie ist vielfach, auch theoretisch, erörtert worden. Die Erfahrung hat gezeigt, dass grosse Erdunsymmetrien zu unzulässig starken Geräuschen führen, die bei sonst symmetrischen Verhältnissen durch Ausgleich beseitigt werden können. Dieser hat sich dann nur auf die Erdunsymmetrien zu beziehen, in denen dann auch die Gesamtheit der Kopplungen gegen alle übrigen Drähte im Aderbündel inbegriffen ist. Es hat sich aber gezeigt, dass beispielsweise bei Erdkapazitätsunsymmetrien die unterhalb

eines Minimalbetrages liegen (ca. 500  $\mu\mu$ F pro Spulenfeld für Stamm- und ca. 1000  $\mu\mu$ F für Viererleitungen) der für eine weitere Reduktion nötige Aufwand (vermehrter Ausschuss in der Fabrikation und umfangreichere Ausgleichsarbeiten) keinen namhaften praktischen Erfolg mehr verspricht. Die Schweizerische Telephonverwaltung hat sich immer mit den angegebenen Grenzen für die Erdkapazitätsunsymmetrien begnügt; irgendwelche störenden Geräusche finden sich auf ihren Fernkabelanlagen nicht, trotz des teilweise außerordentlich grossen Einflusses der elektrischen Bahnanlagen.

Im Fernsprechverstärkerbetrieb hat man von Anfang an nur mit den besten Verstärkerrohren gearbeitet, um weitgehende Stabilität der Einrichtungen zu erreichen. Zeitlich stark veränderliche Eigenschaften der diesbezüglichen Einrichtungen würden einen geordneten Betrieb auf langen Kabelleitungen mit verhältnismässig vielen Verstärkern geradezu unmöglich machen. Die Betriebsvorschriften für die Verstärkerämter verlangen vom Ueberwachungspersonal unter andern auch die in regelmässigen Zeitabständen durchzuführende Kontrolle der Rohre, Nachbildungen, Leitungsabschnitte, usw., über die eingehend Buch zu führen ist.

Das Hochfrequenzkabel wird bestimmt kommen; die ganze Entwicklung der Mittel für die Nachrichtenübermittlung über grössere Entfernung geht in diesem Sinne. Der Durchlassbereich der Kabelstromkreise wurde im Lauf der vergangenen Jahre über das nur für die Uebertragung der Sprachfrequenzen nötige Mass hinaus erweitert, um weitere Uebertragungskanäle zu schaffen (siehe Fig. 8 des Referates). Der Vorschlag zur konzentrischen Anordnung von Hin- und Rückleitung ist schon Jahrzehnte alt. Ein Vorläufer des heute in Aussicht genommenen konzentrischen Breitbandkabels ist das im Jahre 1930 ausgelegte Seekabel von Key-West nach Habanna, wo auch bereits ein guttaperchaähnliches Isoliermaterial (Paragutta) verwendet wurde, das ein Mittelding darstellt zwischen den bis vor kurzem gebräuchlichen und den neuesten Hochfrequenzisolierstoffen. Das Hochfrequenzkabel an und für sich ist lediglich eine Frage des Isoliermaterials; möglichst geringe dielektrische Verluste bei hohen und höchsten Frequenzen und geeignete mechanische Eigenschaften sind nötig. Verschiedene Materialien dieser Art sind schon entwickelt. In Amerika sind grössere Kabelstrecken bereits verlegt worden und in England und Deutschland ist man im Begriff, das Breitbandkabel in den Dienst der Nachrichtenübermittlung zu stellen. 200 Fernsprechkanäle, d. h. die entsprechenden Trägerwellen werden als Minimum der Ausnutzung genannt, und es lässt sich übersehen, dass für grössere Entfernung ein durchaus wirtschaftlicher Betrieb möglich wird. Bestimmte Fragen, wie die Weiterentwicklung der Linienverstärker und die Vereinfachung der Endschaltungen, bedürfen noch des weiteren Studiums.

Es lässt sich voraussehen, dass das Breitbandkabel auch auf dem Gebiete des Fernsehens noch weitgehend zur Geltung kommen wird. Heute werden Kurzwellenbildsender zum Zweck des «Fernsehens zu Hause» erstellt. Mit einer Entwicklung ähnlich wie beim Rundfunk zu rechnen, erscheint etwas gewagt, sofern die Zukunft nicht ganz wesentliche Vereinfachungen und damit bessere und billigere Empfangsapparate bringt. Bei den kurzen Wellen, die für die Verbreitung von Fernsehdarbietungen heute in Frage kommen, stellt sich schon die Forderung der optischen Sicht in den Vordergrund, ein Umstand, der bei unseren schweizerischen Bodenverhältnissen unter Umständen zusammen mit andern Schwierigkeiten Enttäuschungen bringen kann. Man begegnet denn auch vielfach der Auffassung, dass die erste brauchbare und gute Lösung das «Fernsehen im Kino» sein könnte. Der Kino kann mit Wiedergabeapparaturen ausgerüstet werden, die dem Stand der Technik in jeder Beziehung entsprechen. Er würde bedient aus einem Breitbandkabel, das beispielsweise von einem zentralen Studio aus mit erstklassigen Darbietungen beschickt wird. Dieses Verfahren hätte bestimmt den Vorteil, dass dem grösseren Aufwand entsprechend auch mit besseren Bildern gerechnet werden könnte.

Der Vorsitzende dankt den Herren Diskussionsrednern bestens für ihre wertvolle Mitwirkung.