

**Zeitschrift:** Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

**Herausgeber:** Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe

**Band:** 36 (1958)

**Heft:** 9

**Artikel:** Hochfrequenzübertragung auf Hochspannungsleitungen

**Autor:** De Quervain, A.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-874439>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 15.03.2025

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

# Hochfrequenzübertragung auf Hochspannungsleitungen\*

621.394.44: 621.315.1.052.63

**Zusammenfassung.** Die Eignung der für Energietransport ausgelegten Hochspannungsleitungen für die gleichzeitige Übertragung von Trägerfrequenzkanälen und die Ausbreitungseigenschaften längs solcher Leitungen werden kritisch beleuchtet. Ferner werden die Massnahmen dargelegt, welche es erlauben, auch in stark vermaschten Netzen grössere Kanalzahlen störungsfrei zu übertragen.

Da sich das Leitthema der 21. Hochfrequenztagung mit Hochfrequenzübertragung auf Leitungen befasst, soll in diesem Referat die Hochspannungsleitung und ihre Eigenschaften als Übertragungsweg von Informationen in den Mittelpunkt der Betrachtungen gerückt und die zugehörigen Endausrüstungen sollen zum Schluss noch kurz erwähnt werden.

Die trägerfrequente Übertragung über Hochspannungsleitungen hat in den letzten Jahren eine sehr grosse Bedeutung erlangt. Nicht nur wickelt sich beispielsweise der telephonische Werkverkehr fast sämtlicher europäischer und vieler überseeischer Elektrizitätswerke über ihr eigenes Hochspannungsnetz ab, auch zahlreiche Fernmess-, Rückmelde- und Fernsteuerverbindungen von zugeordneten Lastverteilern benützen dieselben Verbindungswege. Kraftwerke und Unterwerke können heute über die Hochspannungsnetze ferngesteuert, fernreguliert und ferngemessen werden. Ebenso sehr sind heute Hochfrequenzkanäle mit der verantwortungsvollen Aufgabe der Kupplung von Leitungsschutzeinrichtungen betraut. Allein in der Schweiz stehen heute folgende Kanalkilometer in Betrieb:

Telephonie, vollautomatisch	6200 km
Fernmessungen	7700 km
Fernregulierungen	2000 km
Fernsteuerung und Rückmeldungen	1000 km
Leitungsschutz	2300 km

Dies mag, verglichen mit der Zahl von Kanalkilometern des öffentlichen Telefons, als bescheiden angesehen werden. Es handelt sich hier aber ausschliesslich um Elektrizitätswerkverbindungen. Den Gründen dieser offenbaren Zweckmässigkeit der Hochspannungsleitung für trägerfrequente Übertragung wollen wir nun etwas nachspüren.

Als erstes ist zu berücksichtigen, dass die Hochspannungsleitung im Grunde genommen ausschliesslich für den netzfrequenten Energietransport gebaut ist. Damit sind auch alle ihre elektrischen Daten von der Starkstromseite her bestimmt, und es ist für den Nachrichtentechniker nicht ohne Reiz festzustellen, was dabei vom Tische des Reichen für ihn noch an Brosamen abfällt. Welches sind nun die technischen Daten, welche für ihn sozusagen die Aus-

**Résumé.** Considérations au sujet de l'aptitude des lignes de transport d'énergie électrique à haute tension à transmettre simultanément des canaux à fréquences porteuses et au sujet des caractéristiques de transmission le long de ces lignes. Exposé des mesures qui permettent de transmettre sans perturbations un grand nombre de canaux, même dans des réseaux fortement maillés.

gangslage darstellen und mit denen er sich abzufinden hat. Oder anders ausgedrückt, wie gut oder wie schlecht vertritt die Hochspannungsleitung die Interessen des Nachrichtentechnikers?

Der Starkstromtechniker denkt in erster Linie an Energieübertragung und ist deshalb an möglichst kleinen Übertragungsverlusten interessiert. Diese Verluste teilen sich zur Hauptsache auf in Ohmsche Verluste und Korona-Verluste. Die Ohmschen Verluste sind bei gegebenem Strom durch die Stromdichte [ $A/mm^2$ ] und das Leitermaterial bestimmt. Aus wirtschaftlichen Gründen, vor allem mit Rück-

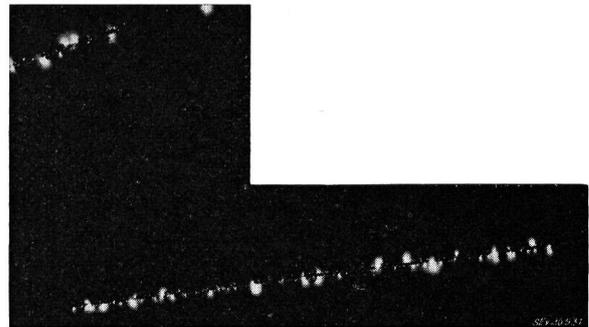


Fig. 1. Korona-Entladungen an Hochspannungsleitern. Die Büschelentladungen sind durch eine längere Belichtungsdauer der Kamera deutlich gemacht

sicht auf den Leiterpreis, arbeitet man mit einer Stromdichte von  $j \approx 1 A/mm^2$ . Grössere Leistungen lassen sich nur durch Erhöhung der Spannung übertragen. Für Leitungen mit 150-kV-Betriebsspannung und mehr treten bei den sich ergebenden Leiterdurchmessern weitere Verlustquellen in Erscheinung, nämlich die sogenannten Korona-Verluste. Übersteigt die Feldstärke an der Leiteroberfläche einen bestimmten Betrag, der in der Nähe von  $\approx 16 kV/cm$  liegt, so treten, vorerst bei positiver Polarität des Leiters, Entladungserscheinungen auf, welche nicht nur hochfrequente Störungen erzeugen, sondern auch in der Bilanz des Energietransportes selbst nicht zu vernachlässigen sind (Fig. 1). Für höhere Spannungen ist somit der Leiterdurchmesser eine mindestens ebenso wichtige Grösse wie der Leiterquerschnitt. Dies hat auch zur Verwendung von sogenannten Bündelleitern für Spannungen von 220 kV und mehr geführt, indem der Bündelleiter für denselben totalen Querschnitt einen wesentlich grösseren virtuellen Leiterdurchmesser ergibt.

\* Vortrag, gehalten an der 21. Hochfrequenztagung des SEV vom 15. November 1957, in Zürich. Mit freundlicher Erlaubnis entnommen dem Bulletin SEV 49 (1958), Nr. 11.

Sowohl Störpegel als auch Korona-Verluste steigen nach Überschreiten der kritischen Feldstärke ausserordentlich steil an (Fig. 2). Es genügt, beispielsweise bei einem Leiter, der aus wirtschaftlichen Gründen mit höherer als der kritischen Feldstärke betrieben wird, dass, wenn seine Oberflächenkrümmung durch Nebeltröpfchen oder Regen verändert wird, sich dies im Ansteigen der Korona-Verluste und des hochfrequenten Störpegels sofort bemerkbar macht. So ist es auch eine bekannte Tatsache, dass eine neue Leitung einen hohen Störpegel und grössere Korona-Verluste aufweisen kann. Diese höheren

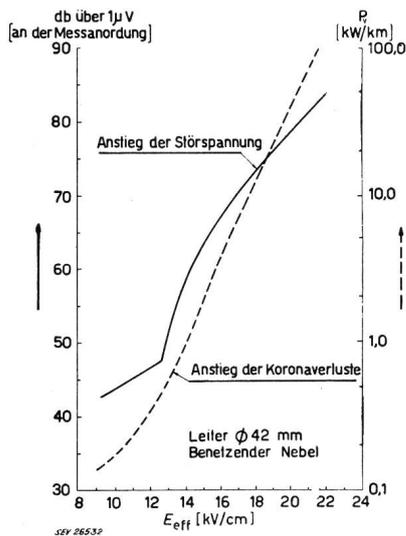


Fig. 2. Anstieg der HF-Störspannung und der Korona-Verluste  $P_v$  für einen bestimmten Leiter in Funktion der Feldstärke  $E$  an der Leiteroberfläche. Der generelle Verlauf dieser Kurven ist charakteristisch für alle Leitersorten

Verluste sind teilweise bedingt durch mechanische Verletzungen der Leiteroberfläche im Laufe des Baues, teilweise durch Verunreinigungen, die in der Seilfabrikation nicht zu vermeiden sind. Es ist nun eine ebenso bekannte Erfahrungstatsache, dass neue Leitungen eine Alterung durchmachen, die etwa  $\frac{1}{2}$ ... $1\frac{1}{2}$  Jahre dauert. In dieser Zeit werden die die Korona-Erscheinung verursachenden Unebenheiten des Leiters, wahrscheinlich durch Ionenbombardement im Entladungsvorgang, allmählich abgetragen und eingeebnet. Der Leiter wird «eingebrennt», und dadurch auch der Störpegel beträchtlich verringert.

Neben der Forderung minimaler oder, besser gesagt, wirtschaftlich tragbarer Verluste steht die gleichwertige Forderung nach grösster Betriebssicherheit. Dazu sei bemerkt, dass allein durch Leitungsführung, mechanische Festigkeit der Masten, ferner die Geometrie der Leitung, wie Phasenabstände, Mindestabstand gegenüber der Erde, Dimensionierung der Isolatorenketten, schon ein grosser Teil der Betriebssicherheit, das heisst Sicherheit gegen Lawinen, Erd- und Kurzschlüsse gewährleistet ist.

Wie dem Starkstromtechniker liegt auch dem

Nachrichtentechniker sehr viel an hoher Betriebssicherheit. Die turmhohen Masten, die dicken Seile, das hohe Isolationsniveau, alles das sind Dinge, die einen solch hohen Grad an Stabilität verbürgen, wie sie ihm keine andere Freileitungsart je bieten könnte.

Durch die Art des Leiters und die Geometrie der Leitung ist aber auch deren Wellenwiderstand praktisch bestimmt, eine Grösse, welche die trägerfrequenten Übertragungseigenschaften weitgehend festlegt und welche praktisch mit etwa 300...600  $\Omega$  veranschlagt werden kann.

Im Unterschied zur Energieübertragung sind für eine Nachrichtenübermittlung weniger die minimalen Übertragungsverluste als ein möglichst *günstiges Verhältnis* von Nutz- zu Störpegel ausschlaggebend.

Dieses Verhältnis von Nutz- zu Störpegel ist im Normalfall durch den Leiterdurchmesser, die Geometrie und die Art der Isolation, ferner die Betriebsspannung einer Hochspannungsleitung grossenteils festgelegt. Es steht nur noch die Wahl der Trägerfrequenz und der Sendeleistung frei.

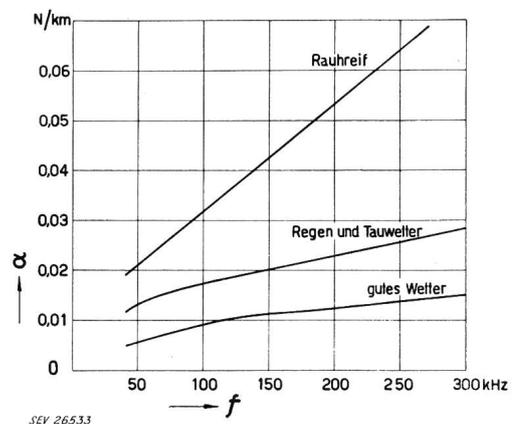


Fig. 3. Verlauf der kilometrischen Dämpfung in Funktion der Frequenz.

Die angegebenen Werte sind als Richtgrössen zu bewerten und in gewissen Grenzen noch vom Leiterdurchmesser abhängig.  $a$  Dämpfung;  $f$  Frequenz

Die Dämpfung von Trägerfrequenzen längs einer Hochspannungsleitung hat, gemäss Figur 3, etwa den folgenden Verlauf, wobei die bei Hochspannungsleitungen üblichen Seildurchmesser zugrunde gelegt sind.

Eine mittlere Dämpfung von ca. 6...8 mN/km für eine mittlere Trägerfrequenz von etwa 100 kHz kann, verglichen mit derjenigen einer Telephon-Freileitung oder gar eines Telephonkabels, als ausserordentlich klein gelten. Trägerfrequenzverbindungen auf Hochspannungsleitungen benutzen einen Frequenzbereich zwischen 40...450 kHz. Dieser Bereich ist je nach Ländern noch verschiedenen Beschränkungen unterworfen.

Auch in der Wahl der Leistung der Trägerfrequenzkanäle sind durch Vorschriften der Postverwaltungen in den meisten Ländern Grenzen gesetzt, indem als maximal zulässige Sendeleistung innerhalb 4 kHz Bandbreite 10 W als Norm gilt.

Für eine mittlere Leitungslänge von 100 km erhält man bei Einphasenkopplung und einer Trägerfrequenz von  $\approx 100$  kHz, unter Berücksichtigung der in der Ankopplung entstehenden Verluste, eine Dämpfung von ca. 1,5 N, bzw. bei 10 W Leistung und 600  $\Omega$  Wellenwiderstand ca. 5...9 V am Eingang eines Empfängers. Der vom Korona-Effekt herrührende Störpegel, dessen Amplitude innerhalb des betrachteten Frequenzbereiches sowohl von der Leitungslänge als auch von der Frequenz weitgehend unabhängig ist, beträgt für eine trockene, gealterte

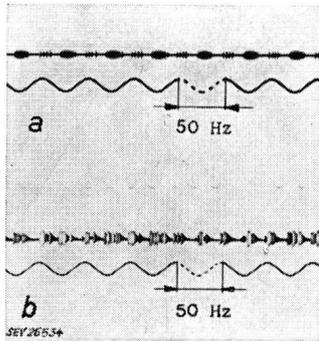


Fig. 4. Zeitlicher Verlauf der Korona-Störspannung in Funktion der Leiterspannung.

- Aufnahme der Störspannung am Kopplungskondensator einer Hochspannungsleitung. Bandbreite etwa 400 kHz. Der Verlauf der Störung ist für die positive und negative Halbwelle sehr verschieden
- Aufnahme der Störspannung am Niederfrequenzausgang eines Trägerfrequenzgerätes mit Bandbreite 3,2 kHz. Die hochfrequenten Störspannungen erzeugen in den Filtern des Trägerfrequenzkanales im Rhythmus von 100 Hz Ein- und Ausschwingvorgänge. Der Charakter des entsprechenden Geräusches unterscheidet sich für die positiven und negativen Störspannungen der Korona-Effekte nicht mehr wesentlich

Leitung am Eingang eines Empfängers unter denselben Bedingungen etwa 50...100 mV. Das Verhältnis des Nutz- zum Störpegel beträgt somit im Mittel etwa 4...5 N, was für Dienstverbindungen als sehr gut zu gelten hat. Im Gegensatz zur Kabel-Trägertelephonie ist der Geräuschabstand nicht durch die Qualität der Verstärkereinrichtungen, sondern fast ausschliesslich durch den Geräuschpegel der Leitung bestimmt. Andererseits sind die kilometrischen Dämpfungen der Hochspannungsleitungen so klein, dass Direktverbindungen ohne Zwischenverstärkung bis zu 500 km Distanz möglich sind.

Der Korona-Effekt erzeugt einen ganz charakteristischen zeitlichen Verlauf der hochfrequenten Störung (Fig. 4a) und ein entsprechendes Geräusch, das durch den Entladungsvorgang im Takte der Netzfrequenz bedingt ist (Fig. 4b).

Es ist ein Glück für den Übertragungstechniker, dass mit Rücksicht auf die Korona-Verluste eine Hochspannungsleitung praktisch immer im unteren Knick der Kurve in Figur 2 betrieben wird, da der Anstieg von Störspannung und Korona-Verlusten beinahe denselben Charakter zeigen. Der mittlere

Störpegel erhöht sich deshalb bei Regen und Nebel je nach Wahl des Betriebspunktes nur unwesentlich bis mittelmässig und ist im übrigen im Laufe der Zeit nur kleinen Schwankungen unterworfen.

Das erfreuliche Bild dieser annähernd stabilen Störpegelverhältnisse wird etwas getrübt durch einige Einflüsse von zeitlich begrenzter Dauer, die nicht unerwähnt bleiben dürfen. Intermittierende Störpegel stammen vom Öffnen und Schliessen von Leistungsschaltern und Trennmessern (Fig. 5). Dabei können am Eingang der Empfänger Störspannungen von mehreren hundert Volt auftreten. Die von Schaltern erzeugten Störungen sind dabei meist weniger unangenehm, da sie innerhalb einiger Millisekunden abgeklungen sind, Trennmesser hingegen können beim Abschalten der an sich belanglosen kapazitiven Ströme äusserst «harte» Spektren erzeugen.

Gegen die durch Schalter und Trenner verursachten Störpegel ist bei Fernwirkkanälen eine erhöhte Verschlüsselung von Impulsübertragungen, wie auch beispielsweise die Anwendung von Doppeltonverfahren usw., sehr zweckmässig. Werden diese Vorkehrungen getroffen, so bleiben solche Kanäle praktisch störungsfrei.

Eine Störungsmöglichkeit, nämlich diejenige durch im selben Frequenzbereich arbeitende Langwellensender, sei unerwähnt. Tatsächlich sind solche Störungsfälle äusserst selten und nur in unmittelbarer Nachbarschaft von Sendern zu erwarten. Durch eine entsprechende Frequenzplanung kann solchen Zusammenstössen leicht ausgewichen werden.

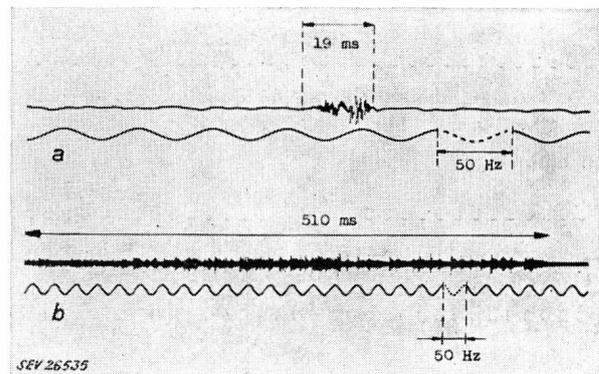


Fig. 5. Zeitlicher Verlauf von Störspektren.

- Störspektrum eines Hochspannungsschalters. Die relativ grosse Störampplitude ist innerhalb kurzer Zeit abgeklungen
- Störspektrum eines Trenners. Die beim Öffnen und Schliessen eines Trenners durch kapazitive Beeinflussung entstehenden «kalten» Entladungen dauern wesentlich länger und ergeben ein koronaähnliches Spektrum mit grossem Energiegehalt

Während die Leitungsdämpfung, ausser diesen kurzfristigen Störungen, weitgehend konstant ist, haben lediglich Rauheis und Naßschnee, der sich vor allem in Voralpengebieten an den Leitungen festsetzen kann, einen nennenswerten Einfluss auf die Dämpfung. Die kilometrische Dämpfung kann unter diesen Einflüssen ganz respektable Werte annehmen.

Es zeigt sich hierbei überraschenderweise, dass diese Dämpfung bei etwa 30 kHz für Eis ein Maximum aufweist, was nur durch einen anomalen Verlauf der Dielektrizitätskonstante des Eises erklärlich ist. Für Zwischenzustände, wie wassergetränkter Schnee, Rauheis, ergeben sich entsprechende Zwischenwerte des Verlustfaktors (Fig. 6).

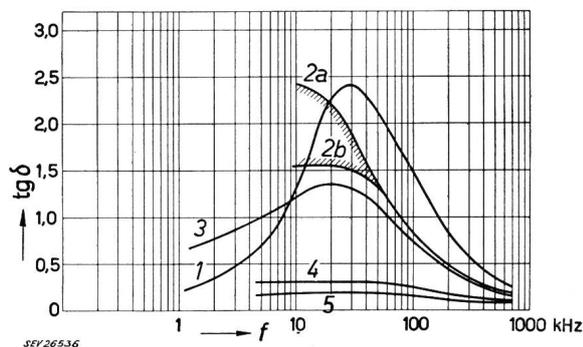


Fig. 6. Änderung des Verlustfaktors  $\text{tg } \delta$  von Eis und von verschiedenen Formen von Rauheis und Schnee (Temperatur  $-3^{\circ}\text{C}$ ).

- 1 reines Eis; 2a, 2b wassergetränkter Schnee.
- Verschiedene Stadien der Ausfrierung:
- 3 gleicher Schnee wie bei 2a, 2b, jedoch durchgefroren, spezifisches Gewicht  $\gamma = 0,83$
- 4 körniger Schnee,  $\gamma = 0,43$
- 5 Rauheis, weich,  $\gamma = 0,29$
- $\text{tg } \delta$  Tangens des Verlustwinkels;  $f$  Frequenz
- Der Streubereich der Messungen von verschiedenen Mustern von wassergetränktem Schnee ist schraffiert

Da in der Regel Leitungen nicht über ihre gesamte Länge vereist und solche Vereisungen und Rauheisbildungen nicht von längerer Dauer sind (oft verhindern die Wärmeverluste einer voll belasteten Leitung eine Bildung von Behang überhaupt), kommt diesen Dämpfungserhöhungen keine allzugrosse Bedeutung zu. Sie werden von der Pegelregelung der Geräte abgefangen.

Damit haben wir ein flüchtiges Bild der trägerfrequenten Übertragungseigenschaften von Hochspannungsleitung entworfen. Es zeigt die Vorzüge dieser trägerfrequenten Übertragungsart; vor allem die geringe kilometrische Dämpfung, welche die Verwendung von trägerfrequenten Zwischenverstärkern, auch für Distanzen bis zu mehreren hundert Kilometern, überflüssig macht. Dies ist ein wesentlicher Vorteil gegenüber der Trägertelephonie über Niederfrequenzkabel, welche bei grossen Kanalzahlen Verstärker in Abständen von wenigen Kilometern erfordert. Andererseits bleibt die verfügbare Kanalzahl immer stark beschränkt, ein Umstand, der im Werkverkehr von Elektrizitätswerken weniger stark ins Gewicht fällt, da gleichzeitig zu führende Gespräche zwischen Elektrizitätswerken nicht häufig sind.

Was die Übertragung selbst betrifft, wäre das Bild noch nicht abgerundet, wenn man nicht die zwischen den Übertragungseinrichtungen und der Leitung nötige Kopplung erwähnen würde. Es muss aber auch in diesem Zusammenhang die Art der

Ausbreitung längs der Hochspannungsleitung besprochen werden.

Aus der in den früheren Anfängen dieser Technik verwendeten Ankcpllung an die Hochspannungsleitungen über eine parallel gespannte Antenne entwickelte sich, nachdem betriebssichere Hochspannungskondensatoren zur Verfügung standen, eine feste Ankcpllung über eine oder mehrere Phasen der Hochspannungsleitung. Eine solche Ankcpllung kann gut berechnet und die Trägerfrequenzausrüstungen können weitgehend stossfrei dem Wellenwiderstand der Hochspannungsleitung angepasst werden.

Über den Ausbreitungsvorgang war man sich früher nicht ganz im klaren. Erst die Untersuchungen von *Fallow* zeigten, dass bei Einphasenkopplung über Distanzen von mehr als etwa 20 km die Erde als Rückleiter praktisch keine Rolle spielt, dagegen die nicht eingekoppelten Leiter an der Rückleitung beteiligt sind. Die Zweiphasenkopplung unterscheidet sich von der Einphasenkopplung dadurch, dass die Ausbreitungsverhältnisse von Hin- und Rückweg für die gesamte Leitungslänge definiert sind, bei der Einphasenkopplung muss sich die Hochfrequenz sozusagen den günstigsten Rückweg selbst suchen. Hierbei entstehen zusätzliche Dämpfungen, die für eine Teilstrecke ungefähr 0,8 N im Spannungspegel ausmachen (Fig. 7). In den Leitungszug werden Sperren gelegt, welche auf die betreffenden Trägerfrequenzen abgestimmt sind.

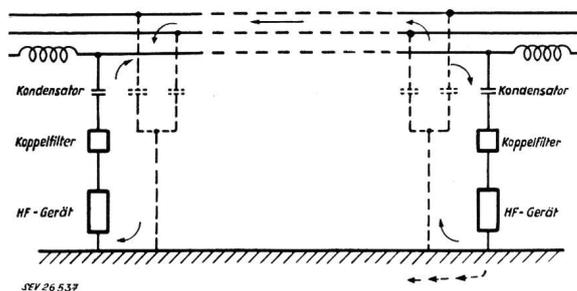


Fig. 7. Schematische Darstellung des Ausbreitungsvorganges bei Einphasenkopplung.

Über die Streukapazität der nicht eingekoppelten Phasen bildet sich der Rückweg. Infolge der grossen Verluste bildet sich der Rückweg längs der Erde praktisch nicht aus

Diese Methode hat sich allgemein eingebürgert. Eine längere Leitung oder ein ganzes Hochspannungsnetz wird auf diese Art in trägerfrequente Abschnitte unterteilt (Fig. 8). Da die Sperren keine unendliche Sperrdämpfung besitzen, da ferner über die nicht eingekoppelten Phasen ebenfalls ein Teil der trägerfrequenten Leistung abfliesst und auch durch kapazitive Kopplung ein Teil der Trägerfrequenzleistung von einer Leitung auf eine andere, parallelgeführte, übergehen kann, sind diese trägerfrequenten Abschnitte nicht hermetisch gegeneinander abgegrenzt.

Für die Bildung von Trägerfrequenznetzen mit grosser Kanalichte ist deshalb eine sehr sorgfältig zu studierende Frequenzplanung durchzuführen. In

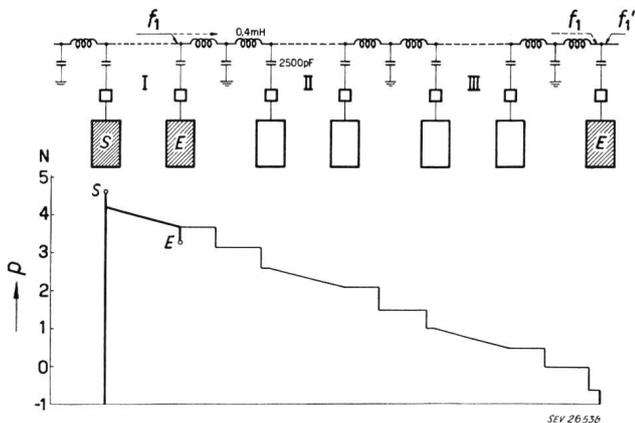


Fig. 8. Schematische Darstellung des Pegelverlaufes  $p$  längs einer in mehrere Teilstrecken unterteilten Hochspannungsleitung.

Die Trägerfrequenz  $f_1$  wird zwischen den gestrichelt gezeichneten Geräten der Teilstrecke I eingesetzt. Nach zwei weiteren, von anderen Frequenzen belegten Teilstrecken soll sie wieder verwendet werden. Bedingung hierfür ist, dass der Pegelabstand zwischen  $f_1$  und  $f_1'$  mindestens 3 N beträgt. Dies wird durch die dämpfende Wirkung von Sperrern und Streukapazitäten von Schaltanlagen erreicht.

$S$  Sender;  $E$  Empfänger

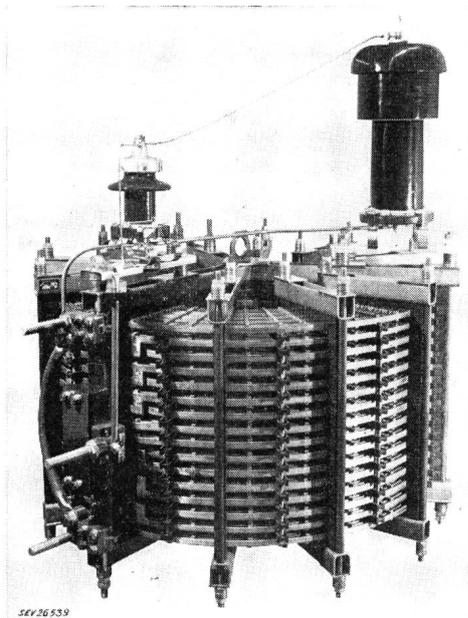


Fig. 9. Bandsperre.  
1 mH für 1400 A Nennstrom und einen dynamischen Kurzschlußstrom von 60 kA

der Schweiz wird dies durch ein Expertenkomitee des SEV in Zusammenarbeit mit der PTT, den Elektrizitätswerken und der Industrie in vorbildlicher Weise besorgt. Der Erfolg dieser Planung ist heute sichtbar.

Ist es doch möglich geworden, ein Netz von EW-Telephonie-Verbindungen störungsfrei zu betreiben, dessen Verbindungszahl je km<sup>2</sup> heute diejenige jedes anderen Landes übertrifft und trotzdem noch beinahe eine Verdoppelung der Kanalzahlen gegenüber dem gegenwärtigen Stand ermöglicht.

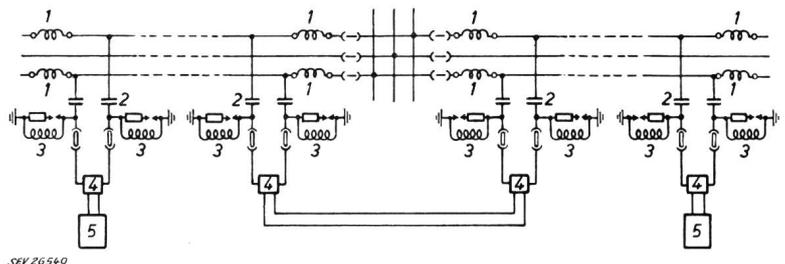
In neuerer Zeit werden die Kopplungskondensatoren mehr und mehr auch als kapazitive Spannungsteiler für Messzwecke eingesetzt. Sie werden dabei in allen drei Phasen eingebaut und erleichtern damit zugleich die Bildung «sauberer» trägerfrequenter Abschnitte. Ebenso gut könnte man auch sagen, dass die modernen kapazitiven Messwandler gleichzeitig als Kopplungskondensatoren verwendet werden können.

Auch die Sperrern selbst haben in den letzten Jahren eine Entwicklung durchgemacht. Einerseits besteht die Tendenz, möglichst breite Frequenzbänder sperren zu können mit Rücksicht auf die starke Belegung der Leitungen mit trägerfrequenten Kanälen. Andererseits haben die Betriebsströme und besonders die Kurzschlussleistungen der Netze derart zugenommen, dass Sperrern hoher Induktivität mechanisch ausserordentlich stabil konstruiert werden müssen. Im Kurzschlussfall sind solche Sperrern ganz aussergewöhnlichen mechanischen Beanspruchungen durch Kurzschlußströme von 50 kA und mehr unterworfen. Dies führt aber auch zu Preisen, welche die Rentabilität einer Trägerfrequenzverbindung gefährden. Heute ist die Tendenz, solche Allwellensperren in ihrer Induktivität so zu dimensionieren, dass gerade die zur Übertragung notwendigen Frequenzbänder gesperrt werden können (Fig. 9). Ihre Resonanzeigenschaften werden so gewählt, dass sie weder in irgendeinem Frequenzbereich wie reine Reaktanzen wirken, noch allfällige Resonanzerscheinungen mit Anlageteilen der Hochspannungsanlagen möglich sind. Sowohl Sperrern, Kopplungskondensatoren, als auch übrige Einkopplungseinrichtungen müssen zudem allen Sicherheitsvorschriften in bezug auf Überspannungen und Kurzschlussfestigkeit genügen und in dieser Richtung sehr sorgfältig dimensioniert und geprüft werden. Stichleitungen müssen ebenfalls gesperrt werden. Sind Trägerfrequenzkanäle in Unterwerken durchzuschlaufen, dann werden Hochfrequenzbrücken notwendig. In vielen Fällen sind Kanäle abzuzweigen und andere weiterzuleiten; hierbei sind Kunstschaltungen in Form von Hochfrequenzweichen vorzusehen (Fig. 10).

So gut die Übertragungseigenschaften der Hochspannungsleitungen auch sind, so geht deren zweckmässiger Einsatz nicht ohne einen nicht zu unter-

Fig. 10. Ausrüstung von 2 HF-Teilstrecken mit Zweiphasenkopplung, die über eine Hochfrequenzbrücke verbunden sind.

1 Sperre; 2 Kopplungskondensator; 3 Ableiter und Erdungsdrosselspule; 4 Koppelfilter; 5 Trägerfrequenzausrüstung



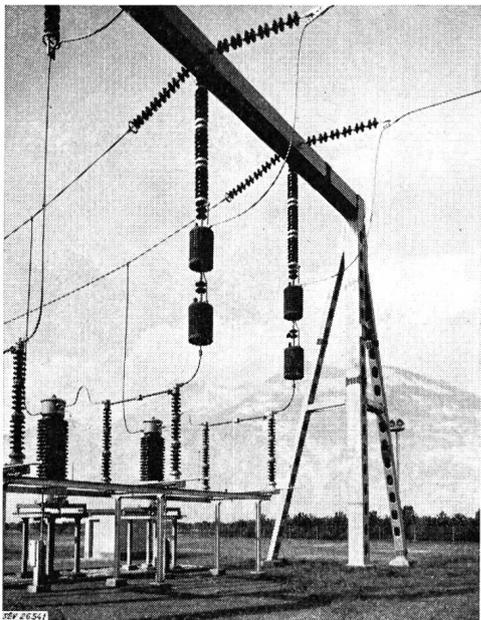


Fig. 11. Anordnung einer Zweiphasenkopplung mit hängenden Kopplungskondensatoren für 220 kV und hängenden Sperren für 1000 A Nennstrom. Anlage Riddes, Kraftwerke Mauvoisin. In der Praxis ist eine Reihe von Kombinationen für Sperren und Kondensatoren hängend und/oder stehend anzutreffen

schätzenden Aufwand an Kopplungs- und Sperreinrichtungen und eine sehr sorgfältige Projektierung. Fälle von Resonanzerscheinungen von Sperren und Anlageteilen oder ähnliche Ungereimtheiten des Dämpfungsverlaufes sind dank diesem Aufwand heute nur noch eine Seltenheit.

Zusammenfassend darf man bemerken, dass der Übertragungstechniker mit der ihm als Übertragungsweg zur Verfügung gestellten Hochspannungsleitung sehr zufrieden sein kann. Niemand würde ihm allein den Kredit für solch fürstliche Querschnitte, ausgezeichnete Isolationen und auch eine solch betriebssichere Leitungsführung bewilligen, die es gestatten, mehr als 500 km ohne Zwischenverstärkung zu überbrücken. So darf er sich ruhig mit den wenigen Unzulänglichkeiten, wie Störpegel, herrührend von Schaltern und Trennern, gelegentliche Löcher im

Dämpfungsverlauf, hervorgerufen durch Resonanzerscheinungen auf Leitungen, Leitungsabzweigungen usw., abfinden. Auch der Benutzer wird dies tun, weiss er doch, dass es kaum eine billigere und betriebssicherere Übertragungsart gibt als mit Trägerfrequenz längs Hochspannungsleitungen.

Die leitungsgerichtete Übertragung wird überall dort, wo eine sehr grosse Kanalzahl in einer bestimmten Richtung zu bewältigen ist, mit anderen

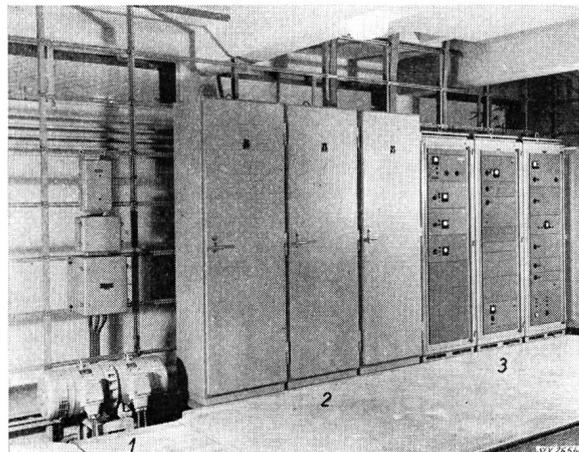


Fig. 12. Fernwirk-Einrichtungen in einem ferngesteuerten Unterwerk.

Unterwerk Boniswil der Aargauischen Elektrizitätswerke. 1 Notstromgruppe; 2 Fernsteuerung (3 Schränke) und Rückmeldung; 3 Trägerfrequenzgerät, geöffnet (1 Schrank), Geräte für Tonfrequenzträger sowie Einzel- und zyklische Fernmessung (2 Schränke)

Übertragungsarten nie in Konkurrenz treten können und wollen. Doch überall dort, wo kleinere Kanalbündel zu übertragen sind und eine entsprechende Frequenzplanung den Boden geebnet hat, bilden die betriebssicheren Hochspannungsleitungen nicht nur die Basis des Werkverkehrs, sondern in Ländern mit unwegsamen Urwäldern oder Wüstengebieten sogar das Rückgrat des öffentlichen Telephonieverkehrs.

Adresse des Verfassers: Dr. sc. techn. A. de Quervain, AG. Brown, Boveri & Cie., Baden (AG).