

<b>Zeitschrift:</b>	Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen
<b>Band:</b>	69 (1978)
<b>Heft:</b>	2
<b>Artikel:</b>	Trägerfrequente Nachrichtenübertragung über eine 150-kV-Leitung : Betriebsprobleme beim Ersatz eines Freileitungsabschnittes durch ein Kabel mit ausgekreuzten Mänteln
<b>Autor:</b>	Thalmann, K.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-914832">https://doi.org/10.5169/seals-914832</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:** 17.02.2026

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

# Trägerfrequente Nachrichtenübertragung über eine 150-kV-Leitung

Betriebsprobleme beim Ersatz eines Freileitungsabschnittes durch ein Kabel mit ausgekreuzten Mänteln

Von K. Thalmann

621.315.052.63:621.395.44;

*Das Auskreuzen der Mäntel von drei Einleiterkabeln verhindert unerwünschte Mantelverluste. Bei einphasiger Trägerfrequenz-Ankopplung stehen die Kreuzungsstellen Reflexionspunkte dar, die aber einfach zu überbrücken sind. Es werden Ergebnisse von Dämpfungsmessungen vor gestellt.*

*Le croisement des gaines de trois câbles unipolaires évite des pertes indésirables par les gaines. Dans le cas d'un couplage monophasé à fréquence porteuse, les endroits de croisement sont des points de réflexion, qui peuvent toutefois être aisément pontés. L'auteur indique des résultats de mesures d'affaiblissement.*

## 1. Problemstellung

Das Unterwerk Oerlikon des Elektrizitätswerkes der Stadt Zürich (EWZ) wurde bisher vom Unterwerk Fällanden über eine 12 km lange 150-kV-Freileitung gespeist. Kürzlich sind davon 6 km Freileitung durch 3,3 km Kabelleitung, bestehend aus 3 einadrigen Kabeln mit isoliertem Kupferwellmantel, ersetzt worden (Fig. 1). Parallel zum Hochspannungskabel verläuft ein Telefonkabel, das später der Nachrichtenübertragung dienen soll. Vorläufig muss aber die bisherige TFH-Verbindung trotz der zusätzlichen Dämpfung beim Übergang Freileitung/Kabel beibehalten werden. Für die Betriebstelefonie, Messwertübertragung und Schutzfernauslösung stehen zwei Einseitenband-Trägerfrequenzgeräte mit den Trägerfrequenzen 424/428 und 444/448 kHz im Einsatz. Die Ankopplung auf die Hochspannungsleitung erfolgt einphasig.

Nach Anpassung der Leitungsübertrager LU glaubte man die Verbindung wieder in Betrieb nehmen zu können in der Annahme, dass bei 15 W Sendeleistung über die kurze Strecke noch genügend Empfangsleistung vorliege. Ähnliche Freileitungs-Kabelstrecken stehen seit mehreren Jahren in Betrieb.

Die Verbindung konnte jedoch infolge zu starker Dämpfung nicht wieder in Betrieb genommen werden, so dass der Lieferant der TFH-Ausrüstung für weitere Abklärungen beigezogen werden musste.

## 2. Dämpfungsmessungen

Zunächst wurde die Rückflussdämpfung auf der Kabelstrecke Auwiesen–Oerlikon von beiden Seiten gemessen. Im Frequenzbereich von 40...540 kHz ergab sich ein Dämpfungsverhalten gemäss Fig. 2. Maxima und Minima weisen ungleiche Abstände auf. Daraus ist auf Mehrfachreflexionen zu schliessen, die, wie anzunehmen war, hauptsächlich durch die Mantelkreuzungen bedingt sind. Das Problem wurde bereits 1968 in einer japanischen Publikation aufgezeigt<sup>1)</sup>. Zur Reduk-

tion der Mantelverluste der Energieübertragung waren die Kupferwellmäntel in allen 5 Muffenschächten ausgekreuzt worden (Fig. 3). Ältere Kabel besitzen Bleimäntel mit doppelt so hohem ohmschem Widerstand und nur halben Mantelverlusten. Obwohl beidseitig geerdet, brauchen die Bleimäntel daher nicht ausgekreuzt zu werden. Deshalb funktionieren andere einphasige TFH-Verbindungen über kurze Strecken problemlos.

Vergleicht man die Betriebsdämpfung der Kabelleitung bei ausgekreuzten und durchverbundenen Mänteln, Fig. 4, erkennt man die ungünstige Auswirkung der Kreuzungsstellen auf die

<sup>1)</sup> Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

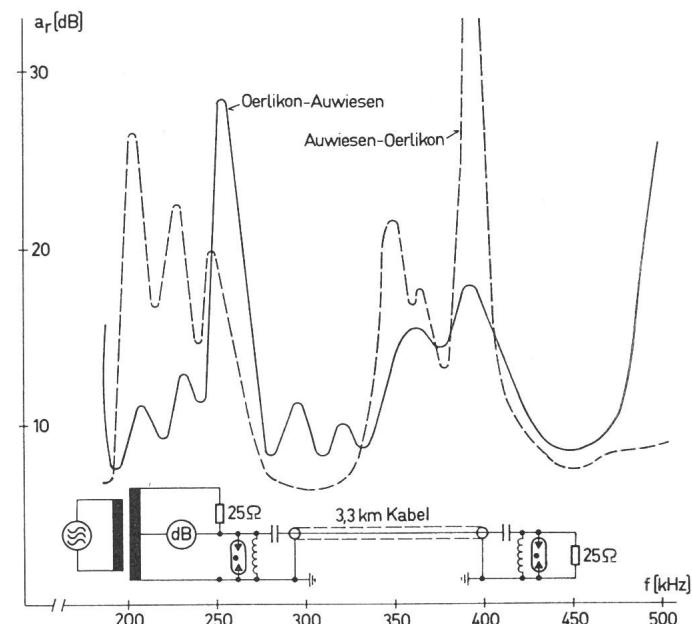


Fig. 2 Rückflussdämpfung des 150-kV-Kabels mit ausgekreuzten Mänteln

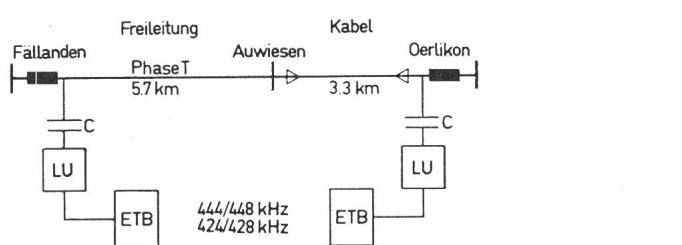


Fig. 1 TFH-Übertragung Fällanden–Oerlikon

Einphasige Ankopplung der Einseitenbandgeräte ETB über Leitungsübertrager LU und Koppelkondensator C

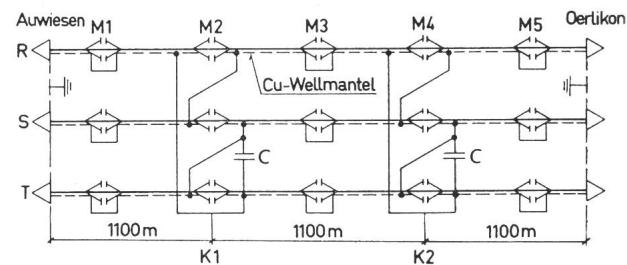


Fig. 3 Schema der Mantelkreuzungen nach der Korrektur

C HF-Brückenkondensator  
M1...M5 Isoliermuffen  
K1, K2 Kreuzungsstellen

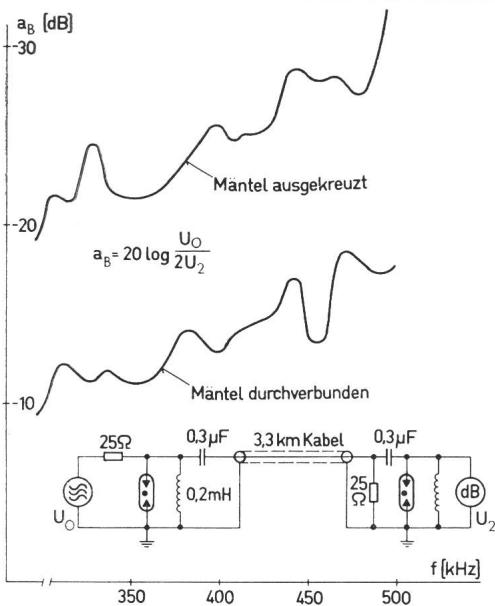


Fig. 4 Betriebsdämpfung des 150-kV-Kabels  
Schaltung und Messresultate

Nachrichtenverbindung. Bei 440 kHz beträgt die Zusatzdämpfung 10 dB. Dass die Reflexionsstelle Kabel–Freileitung ebenfalls eine hohe Dämpfung ergibt, beweist die Betriebsdämpfung der Gesamtstrecke. 5,7 km Freileitung und 3,3 km Kabel ohne Mantelkreuzungen ergeben bei 440 kHz eine Betriebsdämpfung von 30 dB, was für eine TFH-Verbindung jedoch noch zulässig ist.

### 3. Massnahmen

Bei durchverbundenen Kabelmänteln ergibt sich eine noch zulässige Dämpfung für die TFH-Verbindung. Die Mantelströme erreichen aber das 10fache gegenüber der ausgekreuzten Anordnung, was untragbar ist und zu einer Belastungsreduktion der Kabelleitung zwingt. An zwei Muffen wurden daher die Mäntel wieder ausgekreuzt, so dass annähernd drei gleiche Leitungsabschnitte entstanden sind und sich die Mantelströme auf etwa 5 % des Betriebsstromes reduzieren.

Zur Vermeidung von Reflexionen der Trägerfrequenzen wurden die Isolierstellen der Phase T HF-mässig mittels Kondensatoren von 0,2  $\mu$ F und einer Stoßfestigkeit von 60 kV überbrückt. Anschliessend konnten Leitung und TFH-Verbindung ordnungsgemäss wieder in Betrieb genommen werden.

### 4. Schlussfolgerung

Für eine TFH-Übertragung über Kabelleitungen mit ausgekreuzten Mänteln ergeben sich bei Einphasenankopplung bedingt durch Reflexionen an den Kreuzungsstellen erhebliche Dämpfungen. Mittels HF-Brücken, Kondensatoren genügender Spannungsfestigkeit, lässt sich diese Dämpfung stark reduzieren.

### Literatur

- [1] Y. Ohno: Power-line carrier systems for underground cables. Electrical Engineering in Japan 88(1968)7, p. 96...108.

### Adresse des Autors

K. Thalmann, dipl. El. Ing. ETHZ, c/o Elektrizitätswerk der Stadt Zürich, Beatenplatz 2, 8001 Zürich.

## Willem Einthoven 1860–1927

In Semarang, auf der damals zu Niederländisch Indien gehörenden Insel Java, wurde am 21. Mai 1860 dem Arzt Einthoven der Sohn Willem geboren. Nach dem Tod des Vaters kehrte die Mutter 1870 mit den Kindern nach Utrecht zurück. Willem studierte dort von 1879–1885 Medizin. Im gleichen Jahr wie er das Doktorexamen bestand, wurde er zum Professor für Physiologie an die Universität Leiden berufen. Kurz darauf heiratete er eine Cousine, die ihm 3 Töchter und einen Sohn schenkte.

1895 berichtete der Engländer Waller über Experimente, bei denen er Herzströme direkt vom Körper abnahm, wobei er sich eines Kapillar-Elektrometers bediente. Einthoven wiederholte die Versuche und erkannte die Schwäche des Messverfahrens, bei dem die Ergebnisse mühsam umgerechnet werden mussten. In siebenjähriger Arbeit baute er das d'Arsonvalsche Galvanometer zum Saitengalvanometer um. Bei diesem wird im Feld eines starken Magneten ein sehr feiner Draht gespannt. Je nach der Stärke des den Draht durchfliessenden Stromes wird die Saite abgelenkt. So konnte Einthoven die Herzströme sichtbar machen. Später beleuchtete er die Saite und erzeugte durch ihren Schatten auf einem mit konstanter Geschwindigkeit bewegten, lichtempfindlichen Papier ein Diagramm, das er Kardiogramm nannte. Einthoven ist also der Erfinder des heute jedermann bekannten Elektrokardiographen.

Da Einthoven in seinem Institut keine Patienten hatte, liess er sich die zu messenden Herzströme von 1906 an über eine 1,5 km lange Leitung vom Spital her übermitteln, als Telekardiogramme. Später registrierte er mit einem Saiten-Phonographen auch Herztöne und -geräusche, wodurch er der Kardiologie weitere Impulse gab.

Auf einer Vortragsreise in den USA erreichte ihn im Herbst 1924 die Nachricht, dass ihm der Nobelpreis zugesprochen werde. Die Royal Society ernannte ihn in Anerkennung seiner Verdienste zu ihrem auswärtigen Mitglied.

Von Ausländern aufgefordert, machte sich Einthoven zusammen mit seinem Sohn daran, die Ströme des Sympathikus-Nervs zu messen. Mit einem Vakuum-Saitengalvanometer gelang ihm das im Frühling 1926.

Einthoven, ein ernster, aufrichtiger Mann, publizierte viel auf medizinischem Gebiet. Seine grösste Tat aber war die Erfindung des Saitengalvanometers und die Entwicklung des Elektrokardiographen zu einem brauchbaren Instrument. Er starb am 29. September 1927 in Leiden.



Medizinhistorisches Institut der Universität Zürich

H. Wüger