

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 69 (1978)

Heft: 2

Artikel: Moderne Fernmeldekabelanlagen für die Bern-Lötschberg-Simplon-Linie

Autor: Schnürlein, F.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-914831>

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: 12.01.2026

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

Elektrotechnik – Electrotechnique



Moderne Fernmeldekabelanlagen für die Bern–Lötschberg–Simplon-Linie

Von F. Schnürlein

621.315.21: 621.39: 625.1(494);

Im Zusammenhang mit dem Einsatz von Thyristor-Lokomotiven ist die Strecke Thun–Brig mit einer neuen Streckenfernmeldekabelanlage ausgerüstet worden. Die Kabelhülle mit einem 3-Schichten-Aufbau hat sehr günstige Reduktionsfaktoren, vor allem im Bereich der Sprachfrequenzen. Die Sprechkreise zeichnen sich durch eine hohe Symmetrie gegenüber Erde aus, welche durch optimale Ausgleichsmassnahmen während der Kabelmontage noch verbessert wurden. Die Kabelanlage ist so konzipiert, dass auch bei einer wesentlichen Erhöhung der Fahrleistungen der Eisenbahn und bei Einsatz von Lokomotiven mit Thyristoranschnittsteuerung die Gefährdungs- und Störspannungen weit unter den zulässigen Werten bleiben.

En vue de l'emploi de locomotives à thyristors, la ligne de Thoune à Brigue a été équipée d'une nouvelle installation de télécommunication par câble, dont l'enveloppe à trois couches présente de très bons facteurs de réduction, surtout dans le domaine des fréquences audibles. Les circuits de conversation se distinguent par une très grande symétrie par rapport à la terre, ce qui a été encore amélioré au cours du montage par des dispositions d'équilibrage optimales. Cette installation est conçue de façon que les tensions dangereuses et perturbatrices demeurent bien en dessous des valeurs admissibles, même dans le cas d'un net accroissement des puissances de traction et pour des locomotives à commande thyristorisée.

1. Einleitung

Als internationale Transitbahn hat die BLS erhebliche Transportleistungen zu erbringen. In Mehrfachtraktion werden Blockzüge mit Anhängelasten bis zu 1800 t auf Steigungen bis 27‰ mit Geschwindigkeiten von 75 km/h geführt. Das ergibt Leistungen ab Fahrdrabt bei 15 kV bis zu 20000 kVA pro Zug. Durch das magnetische Feld der starken Betriebs- und Kurzschlußströme im Fahrleitungsnetz werden die im Bahnkörper verlegten Streckenfernmeldekabel elektrisch erheblich beeinflusst.

1968 hat die BLS versuchsweise eine Hochleistungslokomotive mit Leistungsthyristoren in Betrieb genommen. Dabei sind durch den Oberwellengehalt des Fahrstromes die Fernmeldeanlagen beträchtlich gestört worden. In den Stromkreisen der Streckenkabel traten Störspannungen auf, die in den Telefonanlagen Störgeräusche bewirkten und in den Fernwirk- und Fernmessanlagen mit Tonfrequenzübertragungssystemen Störeffekte auslösten. Zur selben Zeit befasste sich die BLS – im Zusammenhang mit einer Erweiterung der Fernmelde- und Sicherungsanlagen – mit der Planung einer neuen Streckenfernmeldekabel-Anlage. Es galt nun, die Pflichtwerte für ein «thyristorfestes» Kabel festzulegen. Die Grundlagen hierfür wurden unter verdankenswerter Mithilfe der Fachdienste der PTT und SBB durch umfangreiche Messungen erarbeitet. Die Kabelanlage wurde programmgemäss gebaut und in Betrieb genommen. Die Messresultate der fertigen Anlage übertreffen zum Teil die vorgängig festgelegten Pflichtwerte wesentlich.

*Abteilung für den Zugförderungs-
und Werkstätdienst der BLS*

2. Allgemeines

Der Betrieb von elektrischen Eisenbahnen ist ohne moderne Fernmeldekabelanlagen nicht denkbar. Die zu versorgenden Dienste liegen entlang der Eisenbahntrasse, so dass auch die Fernmeldekabelanlage in unmittelbarer Nähe davon installiert werden muss. Sie befindet sich damit im Einflussbereich des elektrischen Betriebes. Es genügt daher nicht, dass die Fernmeldekabelanlage alle notwendigen Kreise mit hoher Übertragungsqualität enthält, es werden darüber hinaus Schutzmassnahmen gegen den störenden Einfluss des elektrischen Bahnbetriebes notwendig.

Durch die über Erde zurückfliessenden Fahrströme werden in der Fernmeldekabelanlage Spannungen induziert. Sie enthalten neben der Grundwelle auch alle Oberwellen des Fahrstromes. Diese induzierten Längsspannungen können hohe Werte annehmen und die an die Fernmeldekabelanlage angeschlossenen Geräte oder das Kabel selbst zerstören. Zudem wird das mit dem Betrieb der Fernmeldekabelanlage betraute Personal gefährdet und an den nicht vermeidbaren Unsymmetrien der Leitungskreise entstehen störende Geräuschspannungen.

Um die induzierten Längsspannungen auf die zulässigen Grössen zu reduzieren, müssen Kabel, mit entsprechend guten

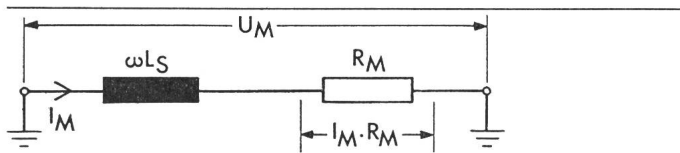


Fig. 1 Ersatzschaltbild einer Kabelhülle aus einem Blei- oder Aluminiummantel

U_M Induzierte Spannung in der Kabelhülle
 I_M Strom durch den Kabelmantel
 L_S Induktivität der Schleife Kabelhülle/Erde
 R_M Ohmscher Widerstand des Kabelmantels

Reduktionsfaktoren eingesetzt werden. Gute, d.h. kleine Reduktionsfaktoren erzielt man z.B. durch Kabelhüllen mit einem Aluminiummantel und einer Bandeisenbewehrung. Bei der Deutschen Bundesbahn werden seit vielen Jahren entlang von elektrifizierten Strecken nur noch derartige Kabel eingesetzt. Gute Reduktionsfaktoren allein reichen jedoch nicht aus, um alle Probleme zu lösen. Die induzierten Längsspannungen im Bereich der Sprachfrequenzen erzeugen an den Unsymmetrien der Leitungskreise (Erdkopplungen und Widerstandsdifferenzen) störende Geräuschspannungen. Die erforderliche Leitungssymmetrie wird durch sorgfältige Kabelfertigung und darüber hinaus durch Ausgleichsmassnahmen während der Kabelmontage erreicht. Ein Abschluss der Leitungskreise an den Enden durch symmetrische Übertrager verhindert sowohl die Gefährdung der angeschlossenen Geräte als auch das Entstehen von Geräuschspannungen infolge von Unsymmetrien dieser Geräte.

Für den Betrieb der Eisenbahnen werden immer grössere Leistungen erforderlich. Dabei nimmt der Oberwellenanteil im

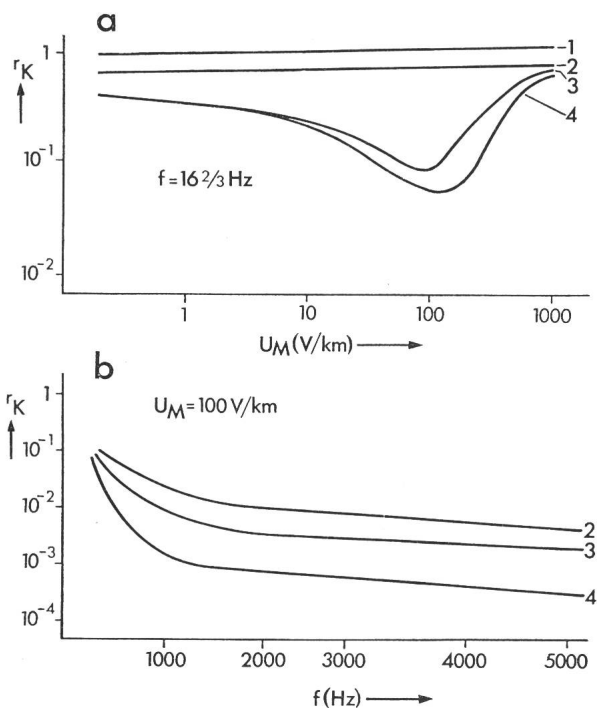


Fig. 2 Reduktionsfaktoren r_K bei $f = 16 \frac{2}{3}$ Hz in Abhängigkeit von den induzierten Spannungen in der Kabelhülle U_M (a) bzw. in Abhängigkeit von der Frequenz f (b)

- 1 Kabel mit Bleimantel
- 2 Kabel mit Aluminiummantel
- 3 Kabel mit Aluminiummantel und Bandeisenbewehrung
- 4 Kabel mit Aluminiummantel, Bandeisenbewehrung und Flachdrahtbewehrung

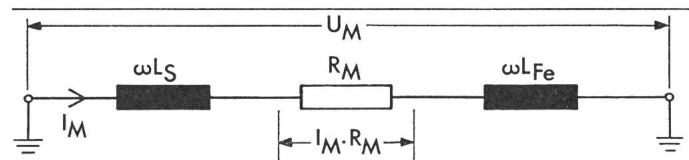


Fig. 3 Ersatzschaltbild einer Kabelhülle mit metallischem Kabelmantel und Bewehrung aus Bandeisen

U_M Induzierte Spannung in der Kabelhülle
 I_M Strom durch den Kabelmantel
 L_S Induktivität der Schleife Kabelhülle/Erde
 R_M Ohmscher Widerstand des Kabelmantels
 L_{Fe} Induktivität der Bandeisenbewehrung

Fahrstrom überproportional zu. Letzteres ist besonders beim Einsatz von Lokomotiven mit Phasenanschnittsteuerung durch Thyristoren der Fall. Die beschriebenen Schutzmassnahmen reichen in vielen Fällen nicht mehr aus. Entsprechende Versuche und Messungen mit einer Hochleistungs-Thyristorlokomotive von 4800 kW bei der Berner Alpenbahn (BLS) haben dies bestätigt.

3. Moderne Streckenfernmeldeanlagen

Erste moderne Fernmeldekabelanlagen für den Einsatz im Einflussbereich elektrischer Eisenbahnen mit hohem Oberwellenanteil im Fahrstrom wurden bereits vor 20 Jahren gebaut. Besondere Merkmale sind ein 3-Schichten-Aufbau der Kabelhülle mit sehr guten Reduktionsfaktoren für die Grund- und noch mehr für die Oberwellen, kleine Erdkopplungen der Leitungskreise in den Werklängen und ein optimaler Ausgleich dieser Erdkopplungen während der Montage [1; 2]¹⁾.

3.1 Der Reduktionsfaktor der Kabelhülle

Der über Erde fließende Strom der elektrischen Eisenbahn beeinflusst alle Kabeladern und die Kabelhülle in gleicher Weise. Bei geerdeter Kabelhülle fließt durch sie ein Strom, welcher die induzierten Spannungen in den Adern reduziert. Das Verhältnis dieser Aderspannung zu der induzierten Spannung in der Kabelhülle wird als Reduktionsfaktor der Kabelhülle bezeichnet. Die reduzierte Aderspannung ist auch gleich dem Spannungsabfall an der Innenhaut des metallenen Kabelmantels.

Die einfachste Kabelhülle, ein Kabelmantel aus Blei oder Aluminium, hat hinsichtlich der Reduktionsfaktoren ein Ersatzschaltbild nach Fig. 1. Die induzierte Aderspannung ist gleich dem Produkt $I_M \cdot R_M$ und um so kleiner, je geringer der Widerstand des Kabelmantels ist. Er ist also für einen Aluminiummantel günstiger als für einen Bleimantel. Andererseits wird mit wachsender Frequenz, bedingt durch den induktiven Widerstand, der Kabelmantelstrom und damit das Produkt $I_M \cdot R_M$ kleiner. Die Reduktionsfaktoren sind von der induzierten Spannung in der Kabelhülle unabhängig und der Frequenz des Störstromes etwa umgekehrt proportional (Fig. 2).

Eine Bandeisenbewehrung über dem Metallmantel ergibt ein Ersatzschaltbild nach Fig. 3. Der induktive Widerstand der Bandeisenbewehrung vermindert den Mantelstrom I_M , wodurch die Aderspannungen und die Reduktionsfaktoren kleiner werden. Durch die ferromagnetischen Eigenschaften des Bandeisens nimmt dessen induktiver Widerstand mit wachsender Durchflutung, d.h. mit grösser werdender Induzierung zunächst zu. Nach dem Erreichen seines Höchstwertes sinkt er

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

wieder fast auf null ab. Dementsprechend ändern sich die Kabelmantelströme, die induzierten Spannungen und die Reduktionsfaktoren.

Eine weitere Verbesserung der Reduktionsfaktoren, vor allem bei höheren Frequenzen, bringt eine leitfähige Schicht über der Bandeisenbewehrung (Fig. 4). Sie kann z.B. in Form von Flachdrähten realisiert werden. Der ohmsche Widerstand dieser Schicht liegt parallel zum Reihenwiderstand aus dem ohmschen Widerstand des Kabelmantels und dem induktiven Widerstand der Bandeisenbewehrung. Die Parallelschaltung ist um so wirksamer, je kleiner der Widerstand des Flachdrahtes bzw. je höher die Frequenz der induzierten Mantelspannung ist. Im Bereich der Sprachfrequenzen wird für die Reduktionsfaktoren eine Verbesserung um den Faktor 5...10 erreicht.

3.2 Die Leitungsunsymmetriedämpfung

Die in den Leitungskreisen eines Fernmeldekabels entstehenden Geräuschspannungen sind das Produkt aus der frequenzbewerteten induzierten Aderspannung und dem Unsymmetriefaktor der Leitungskreise. Die Unsymmetrie wird im wesentlichen durch die Erdkopplungen der Leitungskreise bestimmt. Durch einen extremen Ausgleich der Unsymmetrien während der Montage kann ein sehr kleiner Unsymmetriefaktor bzw. eine sehr hohe Leitungsunsymmetriedämpfung erreicht werden. Es ist damit möglich, dass trotz hoher induzierter Aderspannung ausreichend niedrige Geräuschspannungen erzielt werden. Bei nachträglichen Arbeiten an der Kabelanlage, welche beim Bahnbetrieb ständig erforderlich sind, muss dann allerdings mit einer wesentlichen Verschlechterung dieser Werte gerechnet werden.

Aus diesem Grund sollten die Geräuschspannungen durch eine Kombination von guten Reduktionsfaktoren und einer Leitungsunsymmetriedämpfung mit Werten $a_u > 60...80$ dB realisiert werden. Durch Massnahmen während der Kabelfertigung, Werklängen mit sehr kleinen Erdkopplungen und einen optimalen Ausgleich dieser Kopplungen werden diese Dämpfungswerte erreicht. Die bereits sehr kleinen Erdkopplungen der Werklängen werden durch einen Kreuzungsausgleich noch wesentlich kompensiert, der innerhalb der einzelnen Spulenfelder erfolgt.

Da ein Spulenfeld in der Regel aus 4 Werklängen mit 3 Verbindungspunkten besteht, sind für den Ausgleich der Erdkopplungen in einem Vierer 512 verschiedene Kreuzungsmöglichkeiten

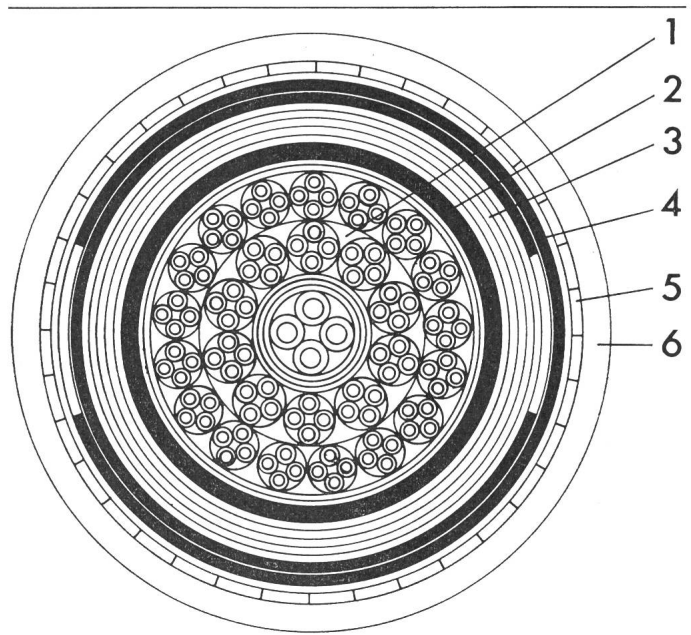


Fig. 5 Kabelaufbauten der BLS-Streckenfernmeldekabel

- | | |
|--------------------|-----------------------|
| 1 Kabelseele | 4 Bandeisenbewehrung |
| 2 Aluminiummantel | 5 Flachdrahtbewehrung |
| 3 Korrosionsschutz | 6 Polyäthylenhülle |

vorhanden (es gibt 8 verschiedene Möglichkeiten, zwei Vierer miteinander zu verbinden). Aus dieser grossen Zahl während der Montage die bestmögliche Kreuzung herauszufinden, würde einen äusserst unwirtschaftlichen Ausgleich erfordern. Deshalb werden die notwendigen Kreuzungen auf Grund der Werkmessprotokolle mittels eines Rechenprogrammes vor Beginn der Montage erstellt. Bei der Kabelmontage werden die Sprechkreise nach diesen Kreuzungsplänen gespleisst. Zusätzlich werden die Leitungsunsymmetrien beim Einbau der Spulen an diesen Punkten durch Kreuzen weiter kompensiert.

4. Die Streckenfernmeldekabel für die BLS

4.1 Der Kabelaufbau

Das Kabel hat in der 1. Lage einen TF-Vierer mit 1,3 mm Kupferleiter, darüber eine Lage mit 10 NF-Sternvierer mit 1,0 mm Kupferleiter und in der 3. Lage 17 NF-Sternvierer mit 0,9 mm Kupferleiter. Die Kabelhülle besteht aus einem gepressten Aluminiummantel mit Korrosionsschutz, 2 Lagen Bandeisen, einer Lage verzinkter Eisenflachdrähte (Fig. 5). Die Kabelhülle wurde so dimensioniert, dass die zu erwartenden elektromagnetischen Beeinflussungen ausreichend kompensiert werden.

Damit die Reduktionsfaktoren der Kabelhüllen voll zur Wirkung kommen, muss der Kabelmantel gut geerdet werden. Falls nur relativ hochohmige Erdungsanlagen hierfür zur Verfügung stehen, kann eine Eigenerdung der Kabel Verbesserungen bringen. Dies ist der Fall, wenn die Flachdrahtbewehrung aussen über der Polyäthylenhülle liegt und mit Erde direkten Kontakt hat. In allen Verbindungsstellen der Kabellängen wird der Flachdraht mit dem Aluminiummantel und der Bandeisenbewehrung galvanisch verbunden, die somit über den Flachdraht geerdet sind. Bei ausreichenden Erdungsanlagen kann die Eigenerdung der Kabel dagegen entfallen und die Polyäthylenhülle über den Flachdrähten aufgebracht werden. Damit sind auch diese gegen Korrosion geschützt und

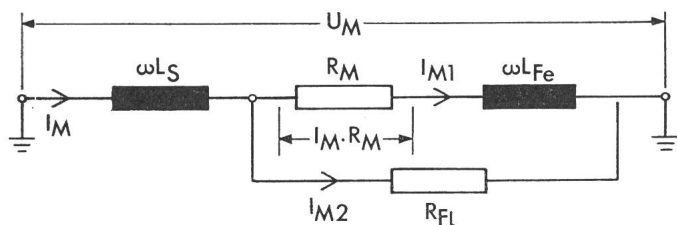


Fig. 4 Ersatzschaltbild einer Kabelhülle, bestehend aus einem metallenen Kabelmantel, einer Bewehrung aus Bandeisen und einer weiteren Bewehrung aus Eisenflachdrähten

- U_M Induzierte Spannung in der Kabelhülle
- I_M Strom durch die Kabelhülle
- I_{M1} Stromanteil durch den Kabelmantel
- I_{M2} Stromanteil durch die Flachdrahtbewehrung
- L_S Induktivität der Schleife Kabelhülle/Erde
- R_M Ohmscher Widerstand des Kabelmantels
- L_{Fe} Induktivität der Bandeisenbewehrung
- R_{Fl} Ohmscher Widerstand der Flachdrahtbewehrung

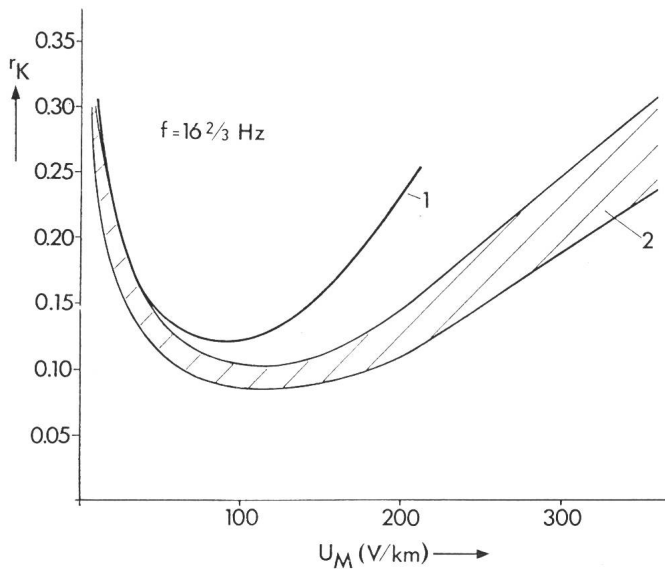


Fig. 6 Reduktionsfaktoren in Abhängigkeit von der induzierten Spannung in der Kabelhülle bei $f = 16\frac{2}{3}$ Hz für die 56''-Streckenfernmeldekanal der BLS
1 Richtwerte
2 Bereich der erreichten Reduktionsfaktoren

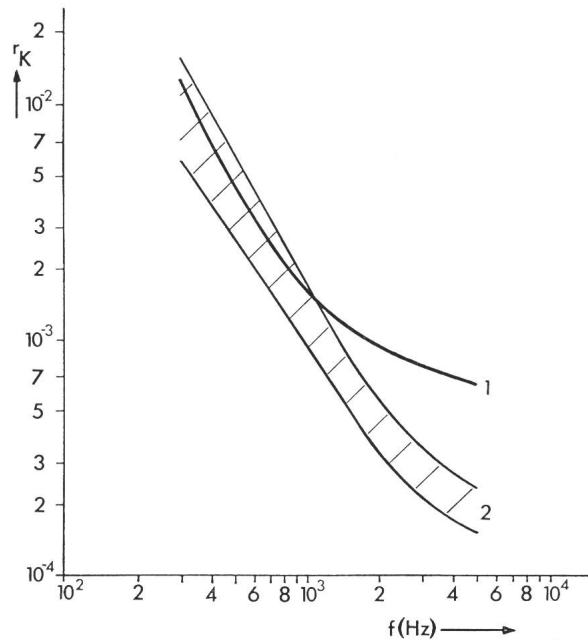


Fig. 7 Reduktionsfaktoren in Abhängigkeit von der Frequenz für die 56''-Streckenfernmeldekanal der BLS
1 Richtwerte
2 Bereich der erreichten Reduktionsfaktoren

die Verzinkung der Flachdrähte kann entweder ganz entfallen oder braucht nicht so stark zu sein. In den Kabelanlagen der BLS wurden beide Kabeltypen eingesetzt.

In Fig. 6 und 7 sind die Reduktionsfaktoren des Kabels bei $f = 16\frac{2}{3}$ Hz, abhängig von der induzierten Spannung in der Kabelhülle und die frequenzabhängigen Reduktionsfaktoren ersichtlich. Die tatsächlich wirksamen Reduktionsfaktoren im Bereich der Sprachfrequenzen sind in der Praxis noch günstiger als diese Messwerte. Die gleichzeitige Beeinflussung der Kabelhülle durch die Grundwelle verbessert die magnetischen Eigenschaften des Bandeisens. Durch diese Vormagnetisierung werden die Reduktionsfaktoren der Oberwellen um mehr als den Faktor 2 verbessert [3].

Die sehr kleinen Reduktionsfaktoren im Bereich der Sprachfrequenzen liessen einen wirtschaftlichen und optimalen Ausgleich der Erdkopplungen zu (Fig. 8). Als Ergebnis einer sorgfältigen Kabelfertigung unter Ausnutzung der langen Erfahrung entstanden Kabel mit Erdkopplungen, die wesentlich unter den nach VDE 0816 [4] zulässigen Werten liegen.

4.2 Die Kabelanlage

Die Kabeltrasse verläuft entlang der Eisenbahn. Auf der freien Strecke sind die Kabel in abgedeckten Betonkanälen unmittelbar neben den Geleisen, im Tunnel zwischen Kandersteg und Goppenstein an der Tunnelwand in Metallkanälen ausgelegt. Die Leitungskreise sind z.T. stamm- und vierer-pupinisiert. Die notwendigen Pupinspulen mit 88 mH für die Stamm- und 36 mH für die Viererkreise, Spulenfeldlänge 1830 m, sind in Pupinspulenmuffen untergebracht. Fig. 9 zeigt die gemessenen Leitungsdämpfungen einer bespulten Leitung im Vergleich mit einer unbespulten Leitung.

Während der Kabelmontage wurden die Leitungskreise anhand von Kreuzungsplänen gespleisst und damit die kleinen Erdkopplungen der Werkklängen noch weiter kompensiert. Die Kreuzungspläne waren wie üblich anhand der Werkmessproto-

kolle erstellt worden. Das gute Ergebnis dieses Kreuzungsausgleiches zeigt Fig. 8. Die Erdkopplungen der einzelnen Spulenfelder nach dem Kreuzungsausgleich sind darin auf $l = 460$ m umgerechnet, um einen direkten Vergleich mit den Erdkopplungen der Werkklängen zu ermöglichen. Nach dem Einbau der Spulen und dem zusätzlichen Auskreuzen der Spulenfelder gegeneinander wurden sehr gute Werte der Leitungsunsymmetriedämpfung erreicht (Fig. 10). Alle Werte

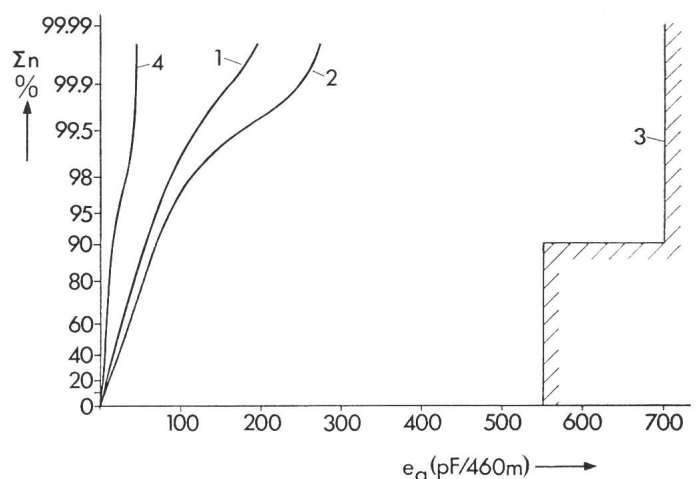


Fig. 8 Erdkopplungen der 56''-Streckenfernmeldekanal der BLS für Werkklängen und für ausgeglichene Spulenfelder
1 Erdkopplungen der Stammkreise $e_{a1,2}$ in den Werkklängen
2 Erdkopplungen der Viererkreise e_{a3} in den Werkklängen
3 Nach VDE 0816 zulässige Werte für die $e_{a1,2}$ -Kopplungen für Werkklängen mit $l = 425$ m
Für die e_{a3} -Kopplungen sind Werte bis zu 1100 pF/425 m zugelassen
4 Erdkopplungen der Stamm- und Viererkreise der ausgeglichenen Spulenfelder
n Anzahl der in der Summenhäufigkeitskurve enthaltenen Messwerte

| Frequenz | Scheinleistung mVA | Spannung V |
|--------------------------------|-----------------------|---------------|
| Dauergleichstrom | 1000 | 50 |
| Gleichstromimpulse | 1000 | 100 |
| $16^{2/3}$...50 Hz dauernd | 1000 | 50 |
| $16^{2/3}$...50 Hz kurzzeitig | 1000 | 100 |
| ... 100 Hz | 100 | 12 |
| ... 200 Hz | 10 | 4 |
| ...1000 Hz | 1 | 1 |
| ... 500 Hz | 0,5 | 0,5 |

liegen über 65 dB. Diese Werte sind trotz verschiedener, später notwendig gewordener Arbeiten an den Kabelanlagen, bei denen auch ganze Werklängen ausgewechselt wurden, erhalten geblieben.

Diese hohen Leitungsunsymmetriedämpfungen und die sehr guten Reduktionsfaktoren im Bereich der Sprachfrequenzen erlauben auf den Kabelanlagen eine störungsfreie Nachrichtenübertragung auch bei stärkster Beeinflussung und hohen Oberwellen im Fahrstrom.

4.3 Die Beschaltung der Kabelanlage

Die BLS hat gemeinsam mit den Fachdiensten der Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) für die Beschaltung der Kabelanlagen nachstehende Festlegungen getroffen, um die guten elektrischen Eigenschaften der Kabelanlagen optimal auszunutzen und das Beste an Sicherheit und Übertragungsqualität herauszuholen.

Durch die galvanische Trennung der Stromkreise gegen «Erde» und eine galvanische Unterteilung in der Längsrichtung wird dafür gesorgt, dass die Spannungswerte Ader gegen Mantel von 1200 V_{eff} und Ader gegen Ader von 600 V_{eff} nicht überschritten werden. Um die guten Werte der Erdunsymmetriedämpfung und der Nebensprechdämpfung auch im Betrieb zu erhalten, werden alle angeschlossenen Einrichtungen sorgfältig symmetriert. Die Stromkreise sind mit Übertragern mit einer Spannungsfestigkeit von 2 kV_{eff} abzuschliessen. Um

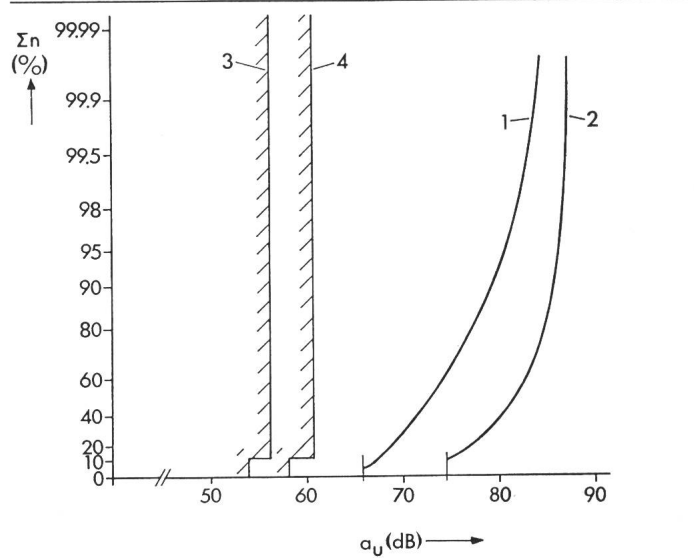


Fig. 10 Erreichte Werte der Leitungsunsymmetriedämpfung auf den Kabelanlagen mit 56"-Streckenfernmeldekanälen der BLS

- 1 Leitungsunsymmetriedämpfung der Stammkreise auf dem Abschnitt Goppenstein-Brig
- 2 Leitungsunsymmetriedämpfung der Viererkreise auf dem Abschnitt Goppenstein-Brig
- 3 Mindestwerte für die Deutsche Bundesbahn bis 1975
- 4 Mindestwerte für die Deutsche Bundesbahn ab 1975
- n Anzahl der in der Summenhäufigkeitskurve enthaltenen Messwerte

Störungen und Nebensprechen zu verhindern, werden die zu übertragenden Scheinleistungen und Spannungen in Grenzen gehalten (Tab. I).

Falls die Dämpfungsverzerrung in Telefoniekreisen einer Ortsverbindung 13 dB (1,5 Np) übersteigt, sind pupinisierte Stromkreise zu verwenden. Zwischen zwei beliebigen Teilnehmern darf eine Bezugsdämpfung von maximal 36 dB (4,1 Np) bzw. eine Restdämpfung von maximal 28 dB (3,2 Np) bestehen. Wechselstrom-Telegrafiekreise für Fernschreiben und Fernsteuern dürfen keine höhere Betriebsdämpfung als 26 dB (3 Np) haben. Dieser Wert gilt bei unbespulten Leitungen für die höchste Übertragungsfrequenz, bei bespulten Leitungen für $f = 800$ Hz.

5. Beeinflussungsmessungen

Um die spannungsreduzierende Wirkung zu untersuchen, wurden an den fertiggestellten Kabelanlagen auf den Teilstrecken Frutigen-Kandergrund und Kandersteg-Goppenstein Beeinflussungsmessungen durchgeführt. Dazu wurde der Fahrdrat am einen Ende geerdet; am anderen Ende wurden Ströme bis zu 1650 A, $f = 16^{2/3}$ Hz, eingespeist. In den beiden Tabellen II und III sind die Messergebnisse mit den vorausgerechneten Werten verglichen. Die Ergebnisse zeigen eine gute Übereinstimmung zwischen den Rechen- und Messwerten. Die Restspannungen liegen selbst bei einem Fahrstrom von 800 A nur bei etwa 4 V/km.

6. Ausblick

Die gute Übereinstimmung der vorausgerechneten mit den gemessenen Werten lässt eine Hochrechnung auf grosse Kurzschlussströme zu. Diese können bei einem Ausbau der Unterwerke auf 40 MVA Werte um etwa 20 kA annehmen. Mit Unterwerken in Thun, Spiez, Kandersteg, Hochtenn und Brig,

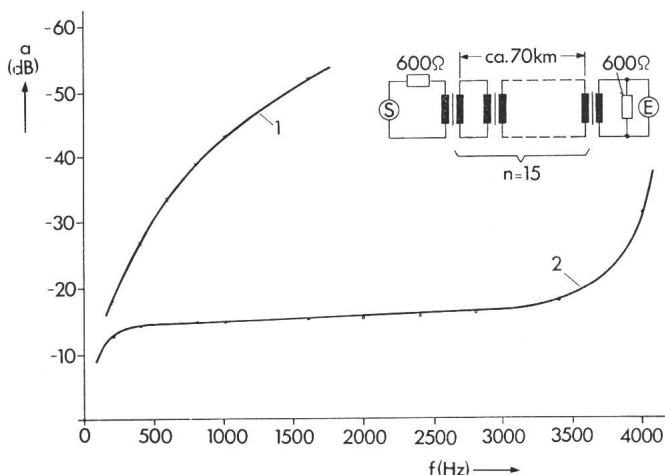


Fig. 9 Leitungsdämpfung a bespulten und nichtbespulten Stammkreise im 56"-Streckenfernmeldekanal Thun-Brig

- 1 Paar 31 nicht bespult
- 2 Paar 21 bespult mit 88 mH, Spulenfeldlänge 1830 m
- n Zahl der unterwegs eingebauten Übertrager

Vergleich der gemessenen mit den
vorausgerechneten induzierten Aderspannungen
Strecke Frutigen-Kandergrund, $l = 4 \text{ km}$

Tabelle II

| Fahrdrabt- strom A | Induzierte Aderspannung | | Abweichung vom gerechneten Wert |
|--------------------------|-------------------------|---------------|--|
| | gerechnet V | gemessen V | |
| 425 | 12,5 | 12,7 | +2 % |
| 420 *) | 12,4 | 11,4 | -8 % |
| 810 | 18,4 | 18,8 | +2 % |
| 810 *) | 18,4 | 17,6 | -4 % |

*) Kabelmantel an Wasserleitung geerdet, in den übrigen Fällen Erdung an Schiene

Vergleich der gemessenen mit den
vorausgerechneten induzierten Aderspannungen
Tunnelstrecke Kandersteg-Goppenstein, $l = 17 \text{ km}$

Tabelle III

| Fahrdrabt- strom A | Induzierte Aderspannung | | Abweichung vom gerechneten Wert |
|--------------------------|-------------------------|---------------|--|
| | gerechnet V | gemessen V | |
| 450 | 58 | 42 | -28 % |
| 600 | 66 | 52 | -21 % |
| 750 | 78 | 60 | -23 % |
| 900 | 88 | 69 | -22 % |
| 1050 | 96 | 76 | -21 % |
| 1200 | 102 | 83 | -19 % |
| 1350 | 107 | 89 | -17 % |
| 1500 | 114 | 95 | -17 % |
| 1650 | 120 | 100 | -17 % |

Kabelmantel an Schiene geerdet

Induzierte Aderspannungen bei Erhöhung der Unterwerksleistungen auf 40 MVA

Tabelle IV

| Abschnitt | Länge in km | Induzierte Mantelspannung | | r_K | Induzierte Aderspannung V |
|---------------------------|-------------|---------------------------|------|-------|---------------------------------|
| | | V | V/km | | |
| Thun-Spiez | 10,0 | 1880 | 188 | 0,13 | 244 |
| Spiez-Kandergrund | 17,9 | 3140 | 175 | 0,12 | 377 |
| Kandergrund-Kandersteg *) | 7,5 | 1580 | 211 | 0,54 | 855 |
| Kandersteg-Goppenstein | 17,0 | 3350 | 197 | 0,13 | 436 |
| Goppenstein-Brig | 25,1 | 3445 | 137 | 0,10 | 345 |

*) Auf dem Abschnitt Kandergrund-Kandersteg war bereits ein 56"-Kabel mit Bleimantel ausgelegt

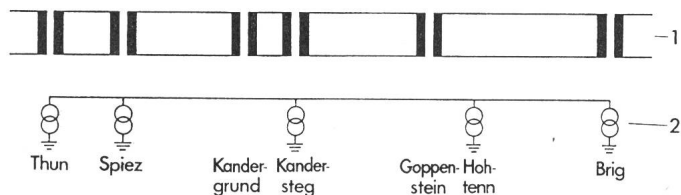


Fig. 11 Möglicher Endausbau der Stromversorgung und der Fernmeldekabelanlagen

- 1 Abschluss- bzw. Trennübertrager
- 2 Einspeisepunkte mit je 40 MVA

Abschluss bzw. Unterteilung der Leitungskreise mit Übertragern in Thun, Spiez, Kandergrund, Kandersteg, Goppenstein und Brig (Fig. 11) errechnen sich in den einzelnen Abschnitten maximale induzierte Spannungen nach Tab. IV.

Diese Werte zeigen, dass mit Ausnahme des Abschnittes mit dem Bleimantelkabel die induzierten Aderspannungen

noch bei einem möglichen Ausbau der Unterwerke zum Teil weit unter 500 V liegen werden. Die Montage von Kabel und Zubehör und die Ausgleichsarbeiten wurden so durchgeführt, dass für lange Zeit stabile Kabelanlagen entstanden sind. Die Anlagen gewähren einen zukunftsicheren Betrieb, der auch bei weiterer Erhöhung der Fahrleistung gewährleistet wird.

Literatur

- [1] H. Meister und W. Utz: Verhalten von Kabeln mit geschichtetem Aufbau bei Stoßströmen. Techn. Mitt. PTT 47(1969)1, S. 30...37.
- [2] F. Schnürlein: Fernmeldekabel mit geringer Störbeeinflussung. Telefunken Ztg. 31(1958)119, S. 43...49.
- [3] F. Schnürlein: Einfluss der Vormagnetisierung auf den Reduktionsfaktor einer Kabelhülle. Telefunken Ztg. 35(1962)136, S. 131...136.
- [4] Bestimmungen für Aussenkabel für Fernmeldeanlagen. VDE 0816/8.73.

Adresse des Autors

Friedrich Schnürlein, Leiter der Abteilung Projektierung im Fachbereich Kabelanlagen, AEG-TELEFUNKEN, D-7150 Backnang.