Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe = 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 Telegrafenbetriebe

Band: 50 (1972)

Heft: 9

Artikel: Erfahrungen mit Weitspann-Telephonkabeln = Expériences réalisées avec les câbles téléphoniques à longue portée

Autor: Gnehm, Bruno

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-874674

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: 15.01.2026

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

Erfahrungen mit Weitspann-Telephonkabeln

Expériences réalisées avec les câbles téléphoniques à longue portée

Bruno GNEHM, Bern

621.315.243

Zusammenfassung. *Nach einem kurzen Blick auf die Entwicklung der Weitspannkabel wird näher auf eine überraschende Beschädigung – Wirbelbildung – eingegangen. Die Ergebnisse ausgedehnter theoretischer und praktischer Untersuchungen haben zur Konstruktion neuer Weitspannkabeltypen geführt.*

Résumé. *Après avoir donné un bref aperçu de l'évolution suivie par les câbles à longue portée, l'auteur aborde en détail la question de l'endommagement inattendu causé par la «torsion». Les résultats obtenus à la suite de vastes recherches théoriques et pratiques ont conduit à la construction de nouveaux types de câbles à longue portée.*

Esperienze con campate lunghe per cavi telefonici

Riassunto. *Dopo una breve introduzione retrospettiva sullo sviluppo dei cavi telefonici per campate lunghe, si discute un guasto inaspettato, la «torsione» del cavo. Dagli approfonditi esami teorici e pratici, si giunse alla costruzione di nuovi tipi di cavi per campate lunghe.*

1. Entwicklung

Noch vor nicht allzu langer Zeit baute man die Telephonverbindungen vorwiegend mit Hilfe von Freileitungen. Natürliche Hindernisse, wie Schluchten, Bäche und Seen, mussten überquert werden, und so entstanden notgedrungen die ersten Weitspannungen. Kupfer- und Bronzedrähte weisen nur kleine Zugfestigkeiten auf, weshalb sie höchstens 50 m weit gespannt werden können. Eisen-, später Stahldrähte und Stahlseile begrenzten die Spannweiten auf etwa 400 m. Unsere damaligen Bauvorschriften beruhten grösstenteils auf Erfahrungen. Die Zusatzlasten, hervorgerufen durch Eis, Schnee oder Rauhreif, wurden den örtlichen klimatischen Verhältnissen angepasst. Dass die seinerzeitigen Spezialisten richtige Massstäbe angewendet haben, beweisen viele noch heute bestehende Weitspannleitungen.

Mit dem Verlegen von Erdkabeln stellten sich neue Probleme. Man vermied jedoch den Bau von frei hängenden Kabeln, indem man – oft unter Inkaufnahme grösserer Umwege – die Erdkabel an bestehenden Brücken aufhängte.

Um 1930 erschienen die ersten, eigens für unsere Kabel konstruierten Hängebrücken. Damit überquerte man Flüsse mit Uferdistanzen bis etwa 30 m *(Fig. 1)*.

2. Hängekonstruktion

Das eigentliche Weitspannkabel stammt aus der gleichen Zeit. Das Telephonkabel wurde mit Stahlhaken an einem Tragseil in regelmässigen Abständen befestigt. Solche Girlanden verwendet man heute noch bei Provisorien mit Baukabeln.

Nicht nur in den Städten, sondern auch in abgelegenen Gebieten nahm die Zahl der Telephonabonnenten rasch zu. Je weiter man in die gebirgigen Gegenden vordrang, desto häufiger wurden die natürlichen Hindernisse, die nur mit Weitspannungen überwunden werden konnten.

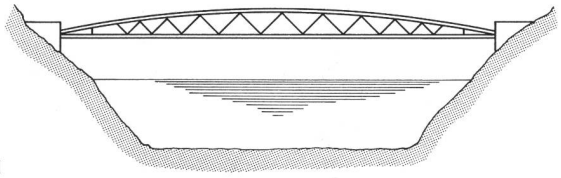

Fig. 1
Hängebrücke für Telephonkabel – Pont pour câble téléphonique

1. Evolution

Il n'y a pas si longtemps encore, la plupart des liaisons téléphoniques étaient établies au moyen de lignes aériennes. Les obstacles naturels, tels que ravins, cours d'eau et lacs, devaient être franchis, ce qui, par la force des choses, fit apparaître les premières grandes portées. Les fils de cuivre et de bronze n'offrant qu'une faible résistance à la traction, ils ne peuvent être tendus que sur une distance maximale de 50 m. Les fils de fer et plus tard les fils et les câbles d'acier permirent d'augmenter la longueur des portées à 400 m environ. Nos anciennes prescriptions de montage se fondaient en grande partie sur les expériences acquises. Les charges supplémentaires provoquées par la glace, la neige ou le givre étaient adaptées aux conditions climatiques locales. Les innombrables lignes à longue portée encore en service à l'heure actuelle prouvent que les spécialistes d'alors ont utilisé des normes correctes.

La pose des câbles souterrains a soulevé de nouveaux problèmes. On a cependant évité la construction de câbles suspendus en accrochant les câbles souterrains aux ponts existants – parfois au prix de grands détours.

En 1930 apparurent les premiers ponts suspendus construits spécialement pour nos câbles. On traversait ainsi des cours d'eau dont la largeur pouvait atteindre jusqu'à 30 m *(fig. 1)*.

2. Installation suspendue

Le câble à longue portée proprement dit date de la même époque. Le câble téléphonique était fixé à un câble porteur au moyen de crochets en acier, disposés à intervalles réguliers. Ce genre de guirlande est encore utilisé aujourd'hui dans les installations provisoires établies à l'aide de câbles de construction.

L'accroissement rapide du nombre des abonnés au téléphone ne s'est pas seulement manifesté dans les villes mais aussi dans les régions reculées. Plus on pénétrait dans les contrées montagneuses, plus on rencontrait d'obstacles naturels qui ne pouvaient être vaincus qu'au moyen de grandes portées.

Les anciens systèmes de grandes portées ne suffisaient plus, car, d'une part, les frais d'établissement étaient trop

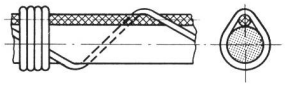

Fig. 2
Hängekabel – Câble suspendu

Die bisherigen Weitspannkonstruktionen genügten nicht mehr: einerseits waren die Herstellungskosten zu gross, anderseits war eine Montage gar nicht denkbar oder die Anordnung war ästhetisch nicht befriedigend.

Man übernahm ein in Amerika bekanntes Hängesystem. Ein Stahlseil als Träger und ein Telephonkabel wurden gemeinsam mit einem rostfreien Stahldraht spiralförmig umsponnen *(Fig. 2)*.

Hängekabel solcher Art sind aber nur dann verwendbar, wenn der Neigungswinkel Ψ – Winkel zwischen der Horizontalen und der Verbindungsgeraden der beiden Aufhängepunkte – den Wert von 15° nicht übersteigt *(Fig. 3)*, denn die Reibung zwischen Seil und Kabel ist so gering, dass praktisch nur sehr kleine axiale Zugkräfte aufgenommen werden können *(Fig. 4)*.

Trotzdem das Hängeprinzip einfach erscheinen mag, stellte der Bau einer solchen Weitspannanlage beträchtliche Anforderungen an Montageequipe und an Material. In einer ersten Phase wurde das Tragseil nach den üblichen Methoden zwischen den beiden Masten gespannt. Mit Hilfe von Doppelrollen fuhr man das Kabel über die Spannweite, indem das Tragseil als Laufbahn für die Rollen verwendet wurde. In einem weitern Arbeitsgang musste das Kabel und das Tragseil mit einem rostfreien Stahldraht zusammengebunden werden. Eine zweiköpfige Mannschaft wurde mit einem Montagewagen über die Spannweite gezogen. Sie hatte die Umspinnmaschine von Hand anzutreiben und 70 mm lange Abbünde in Abständen von 8 m anzubringen *(Fig. 5)*.

3. Selbsttragende Kabel

Ein selbsttragendes Fernmelde-Luftkabel der Firma Siemens und Halske wurde bereits im Jahre 1932 für die Verbindung eines Kraftwerkes im Rhonetal mit einem höher liegenden Wasserschloss verwendet. Die steilste Teilstrecke der Anlage wies eine Höhendifferenz der Maststandorte von 150 m auf; die Spannweite betrug 300 m. Der innere Aufbau des Kabels unterschied sich nicht von normalen Erdkabeln. Über dem Aussendurchmesser wurden jedoch

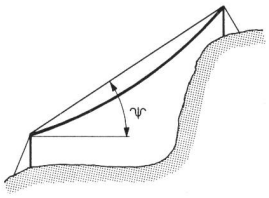

Fig. 3
Neigungswinkel Ψ einer Weitspannung – Angle d'inclinaison Ψ d'une longue portée

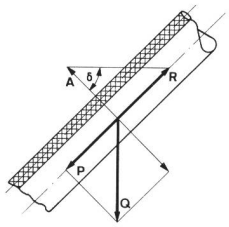

Fig. 4
Kräfte am Kabelelement bei grossen Neigungswinkeln – Forces exercées sur le câble aux angles d'inclinaison prononcés

A Klemmkraft – Effort de serrage
N Normalkraft – Effort normal
P Gleitkraft – Effort de glissement
Q Gewicht des Kabelelementes – Poids de l'élément de câble
R Reibungskraft – Effort de frottement
δ Reibungswinkel – Angle de frottement
Das Kabel gleitet wenn $P > R$ – Le câble glisse si $P > R$

élevés, et d'autre part, ce montage ne se concevait plus ou ne satisfaisait pas du point de vue esthétique.

On reprit un système de suspension connu en Amérique. Un fil d'acier inoxydable fut simultanément enroulé en colimaçon autour d'un câble d'acier servant de porteur et d'un câble téléphonique *(fig. 2)*.

Toutefois, les câbles de suspension de ce genre ne sont utilisables que si l'angle d'inclinaison Ψ – angle formé par l'horizontale et la droite de jonction des deux points de suspension *(fig. 3)* – ne dépasse pas la valeur de 15°, car le frottement entre le câble d'acier et le câble téléphonique est si faible que seuls de très petits efforts de traction longitudinaux sont admissibles *(fig. 4)*.

Bien que le principe de suspension paraisse simple, la construction d'une telle installation a beaucoup exigé de l'équipe de montage et du matériel. Au cours de la première phase de montage, le câble porteur était tiré entre les deux pylônes, selon la méthode habituelle. A l'aide de galets doubles, on conduisait le câble téléphonique à travers la portée en utilisant le câble porteur comme chemin de roulement pour les galets. Dans l'opération suivante, il fallait fixer le câble téléphonique au câble porteur avec un fil d'acier inoxydable. Une benne de montage dans laquelle deux hommes prenaient place était tirée le long du câble. La tâche de cette équipe consistait à actionner à la main la machine à enrouler le fil et à faire des ligatures de 70 mm de longueur à 8 m d'intervalle *(fig. 5)*.

3. Câbles autoporteurs

Un câble de télécommunication autoporteur de la maison Siemens et Halske a déjà été employé en 1932 pour relier une usine électrique de la vallée du Rhône à son château d'eau situé en amont. Le tronçon le plus escarpé de l'installation avait une dénivellation de 150 m entre les pylônes et une portée de 300 m. La construction intérieure du câble ne différait pas de celle d'un câble souterrain normal. Des fils ronds en acier de première qualité, serrés les uns

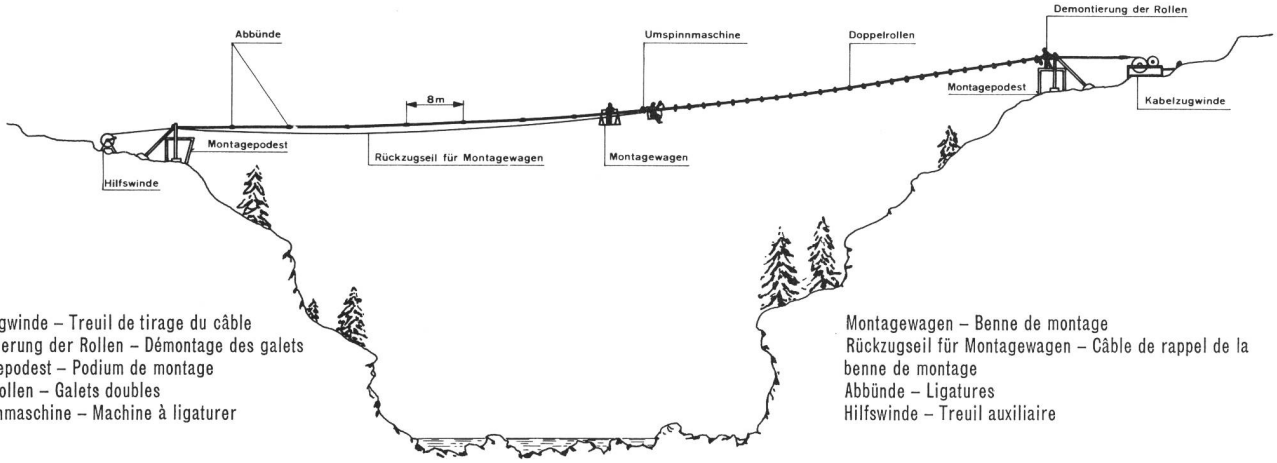

Fig. 5
Montageprinzip eines Hängekabels – Principe de montage d'un câble suspendu

Runddrähte aus hochwertigem Stahl, spiralförmig und satt anliegend aufgebracht *(Fig. 6)*. Diese Bewehrung übernahm die Zugkräfte anstelle eines Tragseiles. Das Kabel trug sich selber und es wurde deshalb als «selbsttragend» bezeichnet.

Das Kabel war einfach zu montieren; auch erübrigte es sich, dass Menschen auf der Spannweite strenge Arbeit zu verrichten hatten. An den Abspannmasten wurden speziell ausgebildete Klemmvorrichtungen eingebaut. Mehrere, dem Kabel angepasste Keilsegmente verklemmten sich in einer konischen Bohrung der Abspannung. Je grösser die Zugkraft, desto grösser wurde auch die Klemmkraft und somit auch die Reibungskraft zwischen Keilen und Kabel.

Ein solches Klemmsystem arbeitet nur einwandfrei unter der Bedingung, dass das Kabel absolut querstabil bleibt. Das Telephonkabel hat aber gerade in dieser Hinsicht seine Schwächen. Weder das Aderbündel noch der Bleimantel sind besonders geeignet, grösseren Querkräften zu widerstehen.

Somit waren auch diesem Kabeltyp gewisse Grenzen in bezug auf Länge und Gewicht gesetzt. Während einiger Jahre wurden mehrere selbsttragende Kabelanlagen mit Spannweiten bis zu 400 m gebaut. Man versuchte nun, das an und für sich ideale Weitspannkabel durch eine geeignetere Abspannvorrichtung für grössere Spannweiten verwendbar zu machen. Beim Klemmpunkt des Kabels musste ein querstabiles Element unter der Tragarmatur angeordnet werden. Nachdem man verschiedene Konstruktionsvorschläge getestet hatte, wählte man das nachfolgend beschriebene Prinzip.

Zwei Halbschalen aus Stahl mussten im Verlaufe der Fabrikation in genau bestimmten Distanzen unter der Tragarmatur befestigt werden *(Fig. 7)*.

Nun glaubte man, endlich ein System gefunden zu haben, das alle gewünschten Vorteile in sich vereinigte:

contre les autres, furent cependant appliqués en forme d'hélice sur l'armure extérieure *(fig. 6)*. Cette armure de protection supportait les efforts de traction à la place du câble porteur. C'est la raison pour laquelle le câble fut appelé «autoporteur».

Le montage du câble était simple et les hommes n'avaient plus besoin d'accomplir de pénibles travaux sur la portée. Des dispositifs de serrage conçus spécialement étaient montés sur les pylônes d'ancrage. Plusieurs segments de calage adaptés au câble étaient coincés dans une ouverture conique pratiquée dans le haubanage. La force de serrage et, partant, la force de frottement entre les cales et le câble étaient d'autant plus importantes que l'effort de traction était grand.

Un tel système de serrage ne fonctionne parfaitement qu'à condition que la section du câble reste absolument stable. Mais c'est justement sur ce point que le câble téléphonique présente des lacunes. Le faisceau de conducteurs et la gaine de plomb ne sont pas en mesure de résister aux forces transversales.

Certaines limites étaient donc fixées quant à la longueur et au poids de ce type de câble. Pendant plusieurs années, on construisit des câbles autoporteurs avec des portées allant jusqu'à 400 m. On essaya alors d'utiliser le câble à longue portée, idéal en soi, avec un dispositif d'amarrage convenant mieux aux grandes portées. Un élément transversalement stable devait être placé sous l'armure por-

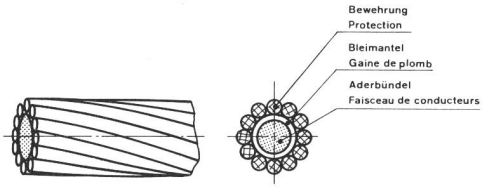

Fig. 6
Selbsttragendes Luftkabel – Câble aérien autoporteur

- ästhetisch einwandfrei
- einfache Fabrikation
- einfache Montage
- praktisch unbegrenzt verwendbar
- Aufbringen eines erhöhten Blitzschutzes möglich.

Jahrelang erstellte man Weitspannkabelanlagen, versehen mit dem PTT-Klemm-Muffensystem. Doch zeigten sich auch hier kleinere Schwierigkeiten. Ganz allgemein unterliegen Durchhang und Länge eines Weitspannkabels den Gesetzen der Kettenlinie [2]. Längenänderungen bewirken, je nach Anlage, drei- bis fünfmal grössere Durchhangänderungen. Man stellte daher hohe Ansprüche an die Genauigkeit der Mastdistanz und der Konenstellung auf dem Kabel. Trotz enger Toleranzen kam es vor, dass ein Kabel zu lang oder zu kurz oder dass die Masten nicht am richtigen Platz standen. Nur mit grossem zeitlichen und materiellen Aufwand liessen sich solche Fehler korrigieren.

4. Kräfte am Kabel

Die theoretischen Grundlagen der Kräfte am Kabel sind im Artikel [1] behandelt; wir beschränken uns hier auf die Beschreibung der praktischen Auswirkungen.

Wird ein selbsttragendes Kabel, mit spiralförmig aufgebrachter Armatur, in axialer Richtung beansprucht, so entstehen neben der Zug- zwei Nebenbeanspruchungen *(Fig. 8)*, nämlich

1. der Drall der Armierungsdrähte verursacht ein Drehmoment (Torsionsmoment);
2. der Drall der Armierungsdrähte erzeugt eine Querkraft, radiale Einpressung genannt.

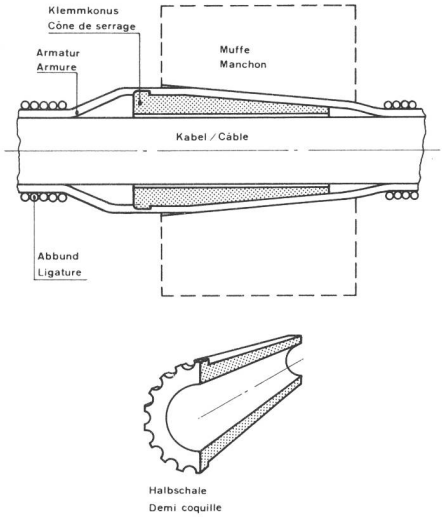

Fig. 7
PTT-Klemm-Muffensystem – Manchon de serrage type PTT

teuse, au point de fixation du câble. Après avoir examiné diverses propositions de construction, on choisit le principe décrit ci-après.

Au cours de la fabrication, deux demi-coquilles en acier durent être fixées sous l'armure porteuse, à des distances déterminées avec précision *(fig. 7)*. On croyait enfin avoir découvert un système qui réunisse tous les avantages souhaités, c'est-à-dire:

- parfait du point de vue esthétique,
- de fabrication simple,
- de montage facile,
- utilisable pratiquement sans restriction,
- permettant de fournir une protection renforcée contre la foudre.

On a établi pendant des années des installations de câbles à longue portée, équipées de manchons de serrage type PTT. De petites difficultés surgirent également. La flèche et la longueur d'un câble à longue portée sont soumises d'une manière générale aux lois de la chaînette [2]. Les changements de longueur provoquent, suivant l'installation, des modifications de flèche trois à cinq fois plus grandes. C'est pourquoi on exigea beaucoup de précision quant à la distance séparant les pylônes et à la position des cônes sur le câble. En dépit des tolérances étroites, il arrivait souvent que le câble fut, soit trop long, soit trop court ou que les pylônes ne fussent pas implantés au bon endroit. Ces erreurs ne purent être corrigées qu'au prix de pertes de temps et de frais de matériel considérable.

4. Forces exercées sur le câble

Les principes théoriques régissant les forces exercées sur le câble sont traités dans un article séparé [1]; nous nous bornerons ici à en décrire les effets pratiques.

Lorsqu'un câble autoporteur doté d'une armure en forme d'hélice est soumis à un effort dans le sens axial, deux contraintes secondaires apparaissent en plus de l'effort de traction *(fig. 8)*, à savoir:

1. La torsion des fils d'armure provoque un moment de torsion.
2. La torsion des fils d'armure engendre une force transversale dénommée pression radiale.

Ordre de grandeur des contraintes secondaires

Nos câbles sont soumis à des moments de torsion allant jusqu'à 100 kgm et à des pressions de surface, causées par les forces transversales, pouvant atteindre 70 kg/cm².

Un outillage approprié permet de parer en grande partie au moment de torsion pendant le montage, alors que seule la construction du câble peut avoir une influence sur la pression de surface.

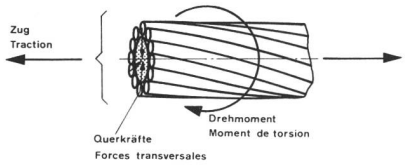

Fig. 8
Beanspruchungen an selbsttragenden Kabeln – Contraintes agissant sur les câbles autoporteurs

Grössenordnung der Nebenbeanspruchungen

Bei unsern Kabeln treten Torsionsmomente bis zu 100 kgm und Flächenpressungen, verursacht durch die Querkräfte, bis zu 70 kg/cm² auf.
Während bei der Montage das Drehmoment durch geeignete mechanische Hilfsmittel grösstenteils aufgefangen werden kann, ist die Flächenpressung nur durch die Kabelkonstruktion beeinflussbar.

Drehmoment

Theoretisch ist es wohl einfach, ein Drehmoment durch einen Arm mit Gewicht auszugleichen. Nun hat ein Kabel aber die Eigenschaft, dass es sich je nach Unterlage und Überdeckungsgrad der Armatur im Durchmesser mit zunehmendem Zug verkleinert. Diese Durchmesserverminderung muss also von der Klemmvorrichtung des Drallhalters stets ausgeglichen werden. Tatsächlich hatten sich verschiedene Weitspannkabel bei der Montage aufgedreht. Als Folge davon verlängerten sich die Kabel, was sich wiederum als Vergrösserung der Durchhänge auswirkte. Doch beeinträchtigte diese – zwar unerwünschte Verlängerung – den Telephonbetrieb nicht. Auch hatte man beim Projektieren der Anlagen dafür gesorgt, dass unerwartet grosse Durchhänge die minimalen Distanzen zwischen Boden und Kabel nicht unterschritten.

Wirbelbildung

Gute Erfahrungen mit vorhandenen Anlagen bewegten uns dazu, grössere Kabel zu verwenden und längere Spannweiten zu bauen. In blitzgefährdeten Gebieten, zum Beispiel im Tessin, montierte man Kabel mit erhöhtem Blitzschutz, bei denen Eisen- und Kupferbänder unter der Tragarmatur angeordnet wurden. Alle diese Faktoren beeinflussten die Zugkräfte und dementsprechend auch die Beanspruchungen.

Während etwa 6 Jahren wurden insgesamt 20 Weitspannungen mit selbsttragenden Kabeln und PTT-Klemm-Muffensystemen gebaut.

An einer Weitspannung über das Tobel der Urnäsch bei Herisau trat – ganz unerwartet – drei Tage nach der Montage das Phänomen auf, das wir später als Wirbelbildung bezeichneten *(Fig. 9)*.

Moment de torsion

Il est bien facile en théorie de compenser un moment de torsion par un bras muni d'un poids. Or un câble se caractérise par le fait que son diamètre diminue suivant ses propriétés intérieures et le degré de chevauchement de l'armure, lorsque la traction s'accroît. Le rétrécissement du diamètre doit donc être constamment contrebalancé par la bride de serrage du dispositif de compensation de la torsion. En fait, différents câbles à longue portée s'étaient détorsadés au cours du montage. Il s'ensuivit qu'ils s'allongèrent, ce qui, d'un autre côté, se traduisit par une élongation des flèches. A vrai dire, ce phénomène indésirable ne perturba point le service téléphonique. En établissant les projets d'installations, on avait aussi veillé à ce que même en cas de flèches imprévisibles les distances minimales au sol soient respectées.

Déformations dues à la torsion

Les expériences concluantes faites avec des installations en service nous incitèrent à utiliser des câbles de plus grand diamètre et à construire des portées plus longues. Dans les régions exposées aux orages, au Tessin par exemple, on installa des câbles ayant une protection renforcée contre la foudre et dans lesquels on avait disposé des rubans de fer et de cuivre sous l'armure porteuse. Tous ces facteurs exercèrent une influence sur les forces de traction et, par conséquent, sur les contraintes.

Pendant près de six ans, 20 grandes portées furent construites avec des câbles autoporteurs et des manchons de serrage type PTT.

Un phénomène, que nous avons désigné plus tard par déformation par torsion, s'est manifesté d'une façon tout à fait inattendue trois jours après le montage d'une longue portée au-dessus des gorges de l'Urnaesch, près d'Hérisau *(fig. 9)*.

Fig. 9
Unregelmässige Wirbelbildung an einem selbsttragenden Kabel – Déformations irrégulières sur un câble autoporteur

Man glaubte anfänglich, dass es sich bei diesem Kabel um einen Einzelfall handle. Die Abteilung Forschung und Entwicklung PTT wurde beauftragt, das Kabel zu prüfen. Gleichzeitig kontrollierte man bestehende Weitspannungen, die etwa den gleichen Beanspruchungen ausgesetzt waren. Dabei stellte man fest, dass einige weitere Kabel dieselben Erscheinungen, mehr oder weniger ausgeprägt, aufwiesen.

Es begann eine mehrere Jahre dauernde theoretische und praktische Untersuchung über das Verhalten von selbsttragenden Weitspannkabeln.

Im Artikel [1] werden die theoretischen Arbeiten behandelt. Als Grundlage für die nachfolgend beschriebenen Untersuchungen und Schlussfolgerungen dienten verschiedene Forschungsberichte der PTT. In einer ersten Annäherung unterschob man die Beschädigungen der Kabel einer ungenügenden Querstabilität. Wie sich aber bald zeigte, wirken eine ganze Anzahl verschiedener Faktoren zusammen. Man erkannte, dass die Wirbelbildung nicht unbedingt die Papierisolation beschädigte, sondern dass vielmehr zu grosse Dehnungen zu Papierrissen führte. Wird die Dehnung grösser als 1%, so entstehen Risse an der Papierisolation der Adern.

Die Verlängerung eines Kabels ist abhängig

- von der elastischen Dehnung der Armaturdrähte
- von der Verkleinerung des Kabeldurchmessers, aufgrund von:
  - lose aufliegenden Drähten
  - nachgiebigem Polster unter der Armatur
  - ausgequetschtem Bitumen
  - zusammengepresstem Aderbündel und Bleimantel
- vom Aufdrehen der Armatur
- von der Wirbelbildung.

4.1 Die Dehnung als Folge der elastischen Deformation

Siehe [1] Formel (11)

$$\text{Dehnung } \frac{dl}{l} = \frac{4 \cdot Z}{k \cdot \pi \cdot a^2 \cdot E \cdot \sin^3 \alpha}$$

Diese Gleichung zeigt, dass sich die Dehnung im elastischen Bereich des Drahtmaterials proportional der Zugkraft, umgekehrt proportional zum gesamten Querschnitt der Armaturdrähte und ebenfalls umgekehrt proportional zur 3. Potenz des Steigungswinkels α *(Fig. 10)* verhält.

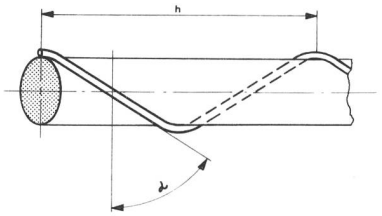

Fig. 10
Steigungswinkel der Armaturdrähte – Angle d'inclinaison des fils de l'armure

On croyait d'abord que ce câble représentait un cas isolé. La division des recherches et du développement fut chargée de l'examiner. On contrôla simultanément des longues portées existantes, soumises à peu près aux mêmes contraintes. On constata à cette occasion que certains autres câbles présentaient, d'une manière plus ou moins prononcée, les mêmes phénomènes.

Des recherches théoriques et pratiques furent entreprises durant plusieurs années sur le comportement des câbles autoporteurs à longue portée.

Les travaux théoriques sont exposés dans un article séparé [1]. Les enquêtes et conclusions décrites ci-après sont fondées sur divers rapports de recherches des PTT. En une première approximation, on attribuait les endommagements de câbles à une stabilité transversale insuffisante. Mais il se révéla bientôt que toute une série de facteurs différents y concouraient. On s'aperçut que la déformation par torsion ne détériorait pas forcément l'isolation au papier, mais qu'au contraire les déchirures de celle-ci étaient causées par des allongements trop grands. Si l'allongement dépasse 1%, l'isolation au papier des conducteurs se déchire.

L'allongement d'un câble dépend:

- de l'allongement élastique des fils de l'armure
- du rétrécissement du diamètre du câble en raison:
  - des fils disposés en couches lâches,
  - du rembourrage mou placé sous l'armure,
  - du bitume expulsé,
  - de la compression du faisceau de conducteurs et de la gaine de plomb,
- de la détorsion de l'armure
- de la déformation due à la torsion.

4.1 Allongement résultant de la déformation élastique

Voir [1], formule (11)

$$\text{allongement } \frac{dl}{l} = \frac{4 \cdot Z}{k \cdot \pi \cdot a^2 \cdot E \cdot \sin^3 \alpha}$$

Cette équation fait ressortir que l'allongement du fil dans les limites élastiques est proportionnel à la force de traction, inversement proportionnel à la section totale des fils de l'armure et aussi inversement proportionnel au cube de l'angle d'inclinaison α *(fig. 10)*.

Nous obtenons les deux valeurs extrêmes lorsque les fils de l'armure sont parallèles à l'axe du câble ($\alpha = 90°$) et qu'ils forment une boucle ($\alpha = 0°$). Cela signifie que, lorsque les fils sont parallèles, l'allongement est très faible; il peut cependant devenir infiniment grand lorsqu'une boucle se forme.

Les valeurs d'allongement des câbles à grande portée de longueur moyenne varient entre 0,5 et 3‰.

Die beiden extremen Werte erhalten wir: wenn die Armaturdrähte parallel mit der Kabelachse verlaufen ($\alpha = 90°$) und wenn die Armaturdrähte eine Schlinge bilden ($\alpha = 0°$). Das bedeutet: die Dehnung ist bei parallelen Drähten am kleinsten; sie kann aber bei Schlingenbildung theoretisch unendlich gross werden.

Die Dehnungswerte an Weitspannkabeln mittlerer Länge schwanken zwischen 0,5‰ und 3‰.

4.2 Die Dehnung als Folge der Verkleinerung des Kabeldurchmessers

Siehe [1] Formel (7)

Mittlere Flächenpressung: $\sigma p = Z \frac{2 \cdot \pi}{h^2}$

Auch die Querkraft wird am stärksten durch die Steigung beeinflusst. Je kleiner die Steigung oder der Steigungswinkel, desto grösser wird die Querkraft, die das Kabel zusammenpresst (Fig. 10).

Obwohl sich dieser Vorgang meistens sehr langsam abspielt, sind die Auswirkungen schliesslich verheerend *(Fig. 11, 12 und 13)*.

Wir betrachten nochmals die verschiedenen Faktoren, die an der Verkleinerung des Kabeldurchmessers mitschuldig sind.

Fabrikatorisch ist es nicht ohne weiteres möglich, ein Kabel auf seiner ganzen Länge, mit gleichem Rückdrall zu armieren; es ergeben sich mehr oder weniger satt aufliegende Armaturen.

Zum Schutze des Kabels gegen Korrosion wird eine Schicht von teergetränkter Jute aufgewickelt oder ein Kunststoffmantel aufgespritzt. Beide Schutzschichten sind verhältnismässig plastisch, besonders wenn starke Sonnenbestrahlung auf sie einwirkt.

4.2 Allongement consécutif au rétrécissement du diamètre du câble

Voir [1], formule (7)

pression de surface moyenne: $\delta p = Z \frac{2 \cdot \pi}{h^2}$

La force transversale est fortement influencée par le pas de l'armure. Plus le pas ou l'angle d'inclinaison sont faibles, plus la force transversale qui comprime le câble est grande (fig. 10).

Bien que ce processus se déroule la plupart du temps de manière très lente, les répercussions en sont finalement catastrophiques *(fig. 11, 12, 13)*.

Examinons encore une fois les différents facteurs qui contribuent au rétrécissement du diamètre du câble.

Lors de la fabrication, il n'est pas possible d'armer directement un câble sur toute sa longueur avec la même torsion; on obtient des armures plus ou moins compactes.

Pour préserver le câble de la corrosion, on l'entoure d'une couche de jute imprégné de goudron ou on lui applique une gaine de matière synthétique.

Les deux couches de protection sont relativement plastiques, surtout lorsque le câble est soumis à une forte insolation.

En additionnant tous ces effets, on obtient une réduction du diamètre de 1 à 2 mm, ce qui donne des allongements de 0,5 à 1%.

4.3 Allongement dû au mouvement de rotation

Voir [1], formule (9)

$$E_n = \frac{dn}{n} \operatorname{ctg}^2\alpha$$

Chaque câble toronné sous tension a tendance à se détordre. La formule (9) fait également ressortir que la

Fig. 11
Unter der hohen Flächenpressung der Armierungsdrähte entweicht ein Teil des Teers an die Kabeloberfläche – Sous l'effet de l'énorme pression de surface exercée par les fils de l'armure, une partie du goudron suinte à la surface du câble

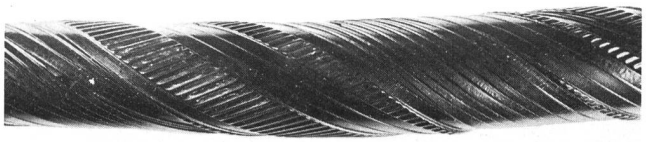

Fig. 12
Der Kunststoffmantel wird plastisch verformt und dringt in die Lücken der F-Armatur ein – La gaine en matière synthétique subit une déformation plastique et pénètre dans les interstices de l'armure F

Addiert man alle diese Einzelwirkungen, so erhält man eine Durchmesserverkleinerung des Kabels um 1...2 mm, was Drehungen von 0,5...1 % ergibt.

4.3 Die Dehnung als Folge der Drehbewegung

Siehe [1] Formel (9).

$$E_n = -\frac{dn}{n} \operatorname{ctg}^2 \alpha$$

Jedes verseilte Kabel unter Zug hat die Tendenz, sich aufzudrehen. Auch aus der Formel (9) geht hervor, dass die Längenänderung eines Kabels infolge einer Drehbewegung sehr stark vom Steigungswinkel der Armaturdrähte abhängt. Dreht beispielsweise ein Kabel von 600 m Länge, mit einem Steigungswinkel von $\sin \alpha = 0{,}96$ um etwa 250 Umdrehungen auf, so beträgt die dadurch entstandene Verlängerung etwa 5 m oder 8,4 ‰.

4.4 Die Dehnung als Folge der Wirbelbildung

Beim eingangs erwähnten Weitspannkabel über die Urnäsch war man zunächst davon überzeugt, dass die Wirbel die Aderisolation beschädigt hatten. Diese voreilige Schlussfolgerung wurde durch Messresultate an ähnlich verwirbelten Kabeln in Frage gestellt.

Für die Dehnung als Folge der Wirbelbildung lässt sich schwerlich eine brauchbare Berechnungsformel herleiten, denn die Wirbel sind ihrer Form nach verschieden und auch unregelmässig auf der Länge verteilt. Wir stützen uns daher auf Versuchsresultate, die an Kabelnachbildungen gemessen wurden. Die Abteilung Forschung und Entwicklung PTT führte gemeinsam mit der Herstellerfirma an Kabelmustern von etwa 30 m Länge alle nützlich erscheinenden Versuche und Messungen durch.

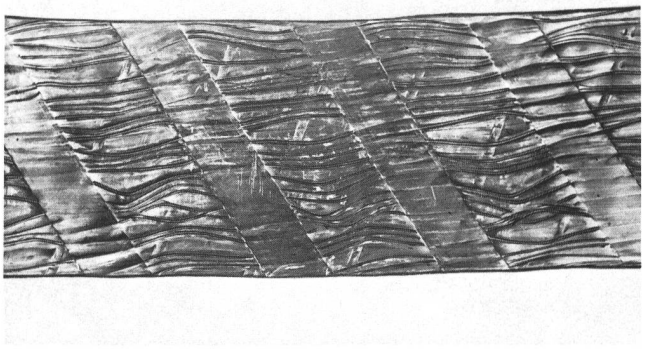

Fig. 13
Der Bleimantel, ohne wesentliche Querstabilität, fällt in sich zusammen und übernimmt die äussere Form des sattgepressten Aderbündels – La gaine de plomb, sans grande stabilité transversale, s'affaisse et épouse la forme du faisceau compact des conducteurs

modification de longueur d'un câble, due à un mouvement de rotation, dépend énormément de l'angle d'inclinaison des fils de l'armure. Si, par exemple, un câble ayant une longueur de 600 m et un angle d'inclinaison de $\sin \alpha = 0{,}96$, se détord d'environ 250 tours, l'allongement qui en résulte sera approximativement de 5 m ou de 8,4 ‰.

4.4 Allongement provenant de la déformation par torsion

Dans le cas déjà cité du câble à longue portée franchissant l'Urnaesch, on était tout d'abord persuadé que la torsion avait endommagé l'isolation des conducteurs. Cette conclusion hâtive a été remise en question par les résultats des mesures exécutées sur des câbles ayant subi la même déformation.

Il est difficile de trouver une formule permettant de calculer l'allongement provenant de la déformation par torsion, car les torsions diffèrent suivant leur forme et se répartissent de manière inégale sur la longueur du câble. C'est pourquoi nous nous sommes fondés sur les résultats d'essais mesurés sur des échantillons de câble. De concert avec le fabricant, la division des recherches et du développement a procédé à tous les essais et mesures qui paraissaient utiles, sur des échantillons de câble longs de 30 m environ.

L'allongement en question se situe entre 1 et 4 ‰. La preuve est donc fournie que la déformation par torsion, même si elle n'est pas négligeable, ne peut pas être rendue unique responsable de la rupture du papier d'isolation.

En définitive, le câble est endommagé par l'allongement total qui se compose des valeurs découlant des phénomènes décrits ci-dessus. Mais il n'est guère possible de déterminer la part exacte de chaque composante. L'angle d'inclinaison des fils de l'armure constitue le facteur le plus important pour calculer les allongements et les forces de contrainte.

Causes de la déformation par torsion

Il semble que les torsions se répartissent sur le câble à longue portée selon des critères purement fortuits. Elles peuvent tout aussi bien apparaître isolément qu'en groupes de grandeur plus ou moins importante, soit à proximité du point d'ancrage, soit au sommet de la courbe en chaînette ou à n'importe quel endroit situé entre les deux extrémités. D'autre part, la déformation due à la torsion se poursuit durant des années en se ralentissant graduellement. La progression ne s'arrête pas, même si la force de traction décroît par suite de l'allongement du câble provoqué par la déformation. On a recherché en premier lieu l'origine du phénomène dans les forces qui augmentaient et diminuaient brusquement, comme cela pouvait par exemple se produire lors de la chute de charges de neige ou sous les effets du vent soufflant à grande vitesse. Les essais ont

Die Dehnung als Folge der Wirbelbildung liegt zwischen 1...4‰. Damit ist bewiesen, dass die Wirbelbildung, wenn auch nicht harmlos, doch nicht allein für das Zerreissen der Papierisolation verantwortlich gemacht werden kann.

Die Gesamtdehnung, die sich aus Werten der oben beschriebenen Einflüsse zusammensetzt, beschädigt schliesslich das Kabel. Es wird aber kaum möglich sein, die genauen Anteile jeder Komponente zu ermitteln. Als einflussreichster Faktor für Dehnungen und Einpresskräfte erweist sich der Steigungswinkel der Armaturdrähte.

Gründe der Wirbelbildung

Die Wirbel verteilen sich auf dem Weitspannkabel nach scheinbar rein zufälligen Kriterien. Sie können ebensogut in der Nähe des Abspannpunktes, im Scheitel der Seilkurve oder irgendwo dazwischen, in grösseren und kleineren Gruppen oder einzeln auftreten. Zudem schreitet die Wirbelbildung während Jahren fort, wobei sie sich nach und nach verlangsamt. Selbst wenn die Zugkraft, aufgrund der Verlängerung des Kabels durch Wirbelbildung, abnimmt, hält die Fortpflanzung nicht an. Man suchte anfänglich den Ursprung bei plötzlich zu- oder abnehmenden Kräften, wie sie beispielsweise beim Abfall von Schneelasten oder beim Einwirken hoher Windgeschwindigkeiten entstehen können. Die Versuche bewiesen aber, dass starke äussere Einwirkungen – Flachdrücken, Quetschen, Biegen – die Wirbelbildung weder anregen noch beschleunigen.

In einem nächsten Schritt untersuchte man die Querkräfte. Diese sind aber nur reell vergleichbar, wenn sie als spezifische Werte, als Flächendrücke, vorliegen. Man ermittelte, dass bei Flächendrücken unter 25 kg/cm² keine Wirbel auftreten; erreicht man jedoch Werte von 40 kg/cm² und mehr, so besteht eine gewisse Tendenz zur Verwirbelung.

Wir betrachten nun die geometrische Form der Armierungsdrähte auf dem Kabel *(Fig. 14)*. Solange die Verteilung der Drähte am Umfang des Kabels regelmässig bleibt, ist das Gleichgewicht der Kräfte gewahrt. Damit die bekannte Formänderung eintritt, muss ein Draht auf der einen Seite einfallen und einer auf der Gegenseite herausspringen *(Fig. 15)*.

Man kann sich nun vorstellen, dass die Steigung der Armatur etwas variiert. Unter der Einwirkung des Zuges haben diese Steigungsdifferenzen den Drang sich auszugleichen, das geschieht, indem sich die Armatur einerseits auf- und anderseits zudreht. Die Reibung unter den Drähten verhindert den Ausgleich in axialer Richtung.

Eine Vibration, die zu einer vorübergehenden örtlichen Lockerung führt, gibt den Drähten Gelegenheit, sich in radialer Richtung zu verschieben. Auf diese Weise erklärt man sich den Ursprung eines Wirbels *(Fig. 16)*.

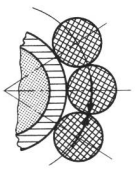

Fig. 14
Gleichgewicht der Kräfte am unbeschädigten Kabel – Equilibre des forces sur un câble intact

cependant démontré que des interventions extérieures – applatissements, écrasements et flexions – ne favorisaient ou n'accéléraient pas la déformation par torsion.

Au cours d'une phase ultérieure, on a examiné les forces transversales. On ne peut réellement les comparer que si elles existent en tant que valeurs spécifiques ou comme pressions spécifiques. On a remarqué qu'aucune torsion ne se manifestait avec les pressions spécifiques inférieures à 25 kg/cm². Si les valeurs atteignent 40 kg/cm² et plus, il y a une certaine tendance à la torsion.

Considérons maintenant la forme géométrique des fils de l'armure sur le câble *(fig. 14)*. Tant que la répartition des fils sur la surface du câble reste régulière, l'équilibre des forces est maintenu.

Pour que le changement de forme bien connu intervienne, il faut qu'un fil s'affaisse sur l'un des côtés et qu'un autre déborde sur le côté opposé *(fig. 15)*.

Supposons à présent que le pas de l'armure varie quelque peu. Sous l'effet de la traction, ces différences de pas ont besoin de s'équilibrer, ce qui fait que l'armure se tord d'un côté et se détord de l'autre. Le frottement entre les fils empêche l'équilibrage dans le sens axial.

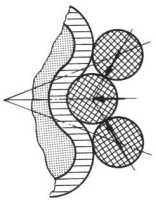

Fig. 15
Einfallen eines Armaturdrahtes – Affaissement d'un fil de l'armure

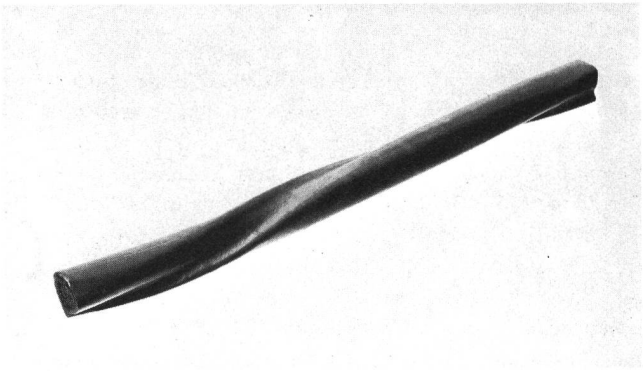

Fig. 16a
Ansicht eines verformten Kabelstückes – Vue d'une partie de câble déformée

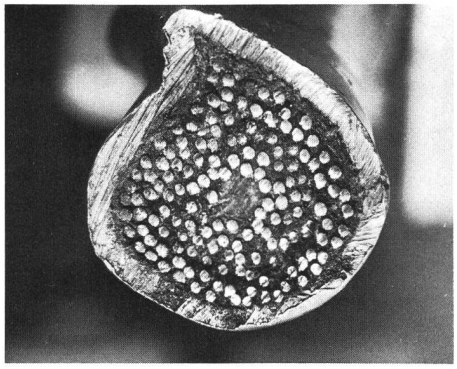

Fig. 16b
Querschnitt durch eine verformte Stelle – Coupe à travers d'une déformation

5. Isolationsschäden

Das Weitspannkabel über die Urnäsch wurde nach der Demontage an Stellen mit und ohne Wirbelbildungen aufgeschnitten. In allen Lagen des Aderbündels entdeckte man Papierrisse. Nach einigem Suchen fand man benachbarte Adern, die auf der gleichen Höhe beschädigt waren und die zu Schlüssen geführt hatten *(Fig. 17)*.

Fehler an andern Kabeln oder Kabelnachbildungen bestätigen die Resultate der ersten Untersuchungen. Man stiess aber auf neue Beschädigungsarten. Dehnungen bis zu einigen Prozenten liessen vermuten, dass sich ein Weitspannkabel unregelmässig verlängert. Solche örtliche Ballungen hatten zu Papierisolationsrissen am ganzen Bündel geführt. Die blanken Kupferdrähte sind auf etwa 2 cm Länge sichtbar *(Fig. 18)*. Daneben fand man aber auch isolationsmässig unbeschädigte Wirbelstellen. Allerdings beeinträchtigt die starke Deformation des Querschnittes die Symmetrie des Kabels.

6. Reparatur eines verwirbelten Kabels in montiertem Zustand

Regelmässige Kontrollen verschiedener Kabel liessen eine langsam fortschreitende Wirbelbildung feststellen. Man vermutete, dass früher oder später noch andere Weitspannungen für den Betrieb untauglich würden. Man suchte daher nach einer Reparaturmethode für hängende Kabel. Die Abteilung Forschung und Entwicklung PTT schlug vor, das bereits stark beschädigte Kabel in Entlematt mit dünnflüssigem Araldit zu füllen und nachher auszuhärten. Araldit sollte mit grossem Druck unter den Bleimantel eingepresst werden. Man versprach sich davon, den Bleimantel an den verwirbelten Stellen wieder in seine ursprüngliche Form auszuweiten und zugleich bestehende Aderschlüsse durch eine Aralditschicht neu zu isolieren. Das erstarrte Araldit würde dem noch unbeschädigten Teil

Une vibration qui suscite un relâchement temporaire localisé donne aux fils l'occasion de se déplacer dans le sens radial. C'est ainsi que nous expliquons l'origine de la déformation *(fig. 16)*.

5. Dégâts causés à l'isolation

Après son démontage, le câble à longue portée franchissant l'Urnaesch fut tronçonné aux endroits avec et sans défauts dus à la torsion. On a découvert des ruptures de papier dans toutes les couches du faisceau de conducteurs. Après quelques recherches, on a trouvé que les conducteurs voisins étaient endommagés au même niveau, ce qui a provoqué des courts-circuits *(fig. 17)*.

Les dégâts constatés sur d'autres câbles ou échantillons de câble ont confirmé les résultats des premières recherches. Mais on se heurta à de nouveaux types de dérangements. Les allongements qui peuvent atteindre même quelques pour cents permettent de supposer qu'un câble à longue portée s'allonge irrégulièrement. Ces concentrations locales ont provoqué des ruptures du papier d'isolation dans tout le faisceau, les fils de cuivre étaient dénudés sur une longueur de 2 cm environ *(fig. 18)*.

On a néanmoins découvert des endroits où l'isolation n'avait pas été détériorée par la torsion. Cependant, une grande déformation de la section transversale porte préjudice à la symétrie du câble.

6. Réparation sur place d'un câble tordu

Le contrôle régulier des différents câbles a révélé que la torsion les déformait d'une manière lente et progressive. On a présumé que d'autres longues portées seraient tôt ou tard inutilisables. On a donc recherché une méthode

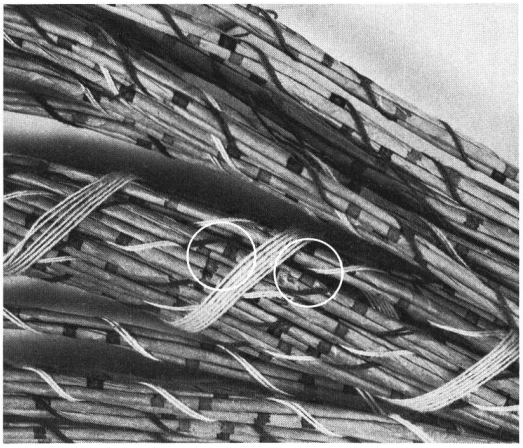

Fig. 17
Papierrisse im innern Teil des Aderbündels – Ruptures de papier à l'intérieur d'un faisceau de conducteurs

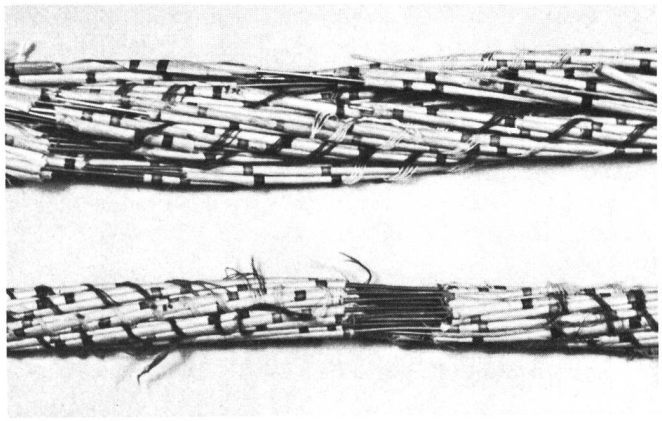

Fig. 18
Klaffende Papierrisse über grosse Teile des Aderbündels – Ruptures importantes du papier sur une grande partie du faisceau de conducteurs

des Kabels die nötige Querstabilität verleihen, damit keine neuen Wirbel entstehen könnten. Diese Methode wurde durch einige Laborversuche getestet, wobei zugleich die geeignetsten Materialien und Einpressdrücke ermittelt wurden.

Das Weitspannkabel in Entlematt hat eine Spannweite von 616 m und eine Höhendifferenz der Maststandorte von 54 m. Die tatsächliche Kabellänge beträgt 636 m bei einem Durchhang von 25 m.

Die Araldítmischung setzte sich wie folgt zusammen:

60 Gewichtsteile Araldit CY 221
40 Gewichtsteile Verdünner DY 022
70 Gewichtsteile Härter HT 907
1,5 Gewichtsteile Beschleuniger DY 063

Bei Zimmertemperatur hatte die Mischung eine Viskosität wie dünnes Motorenöl.

Die Einpressvorrichtung arbeitete automatisch; es genügte, wenn von Zeit zu Zeit der Einpressdruck, die Viskosität, die Temperatur und das verbleibende Volumen der Mischung kontrolliert wurden. Während 13 aufeinanderfolgender Tage verlief die Füllung programmässig. Dann aber verlangsamte sich der Vorgang dermassen, dass nur noch dünnflüssigeres Araldit weiter ins Kabel einzudringen vermochte. Die Kupferadern des Kabels wurden als Heizelemente verwendet, und so gelang es, die Viskosität der Flüssigkeit weiter zu senken: der Versuch ging weiter. Nachdem etwa 12,5 kg Araldit eingeflossen waren, musste die Arbeit auf dieser Seite der Weitspannung endgültig abgebrochen werden. Wie sich später zeigte, war das Araldit bis 140 m tief ins Kabel eingedrungen.

Die Einpressvorrichtung wurde daraufhin am andern Ende der Weitspannung montiert. Vorgängig der Einfüllung

pour réparer les câbles suspendus. La division des recherches et du développement a proposé que le câble déjà fortement endommagé d'Entlematt soit rempli d'araldite liquide que l'on ferait ensuite durcir. L'araldite devait être injectée sous la gaine de plomb avec une forte pression. On espérait ainsi que la gaine de plomb reprendrait sa forme initiale là où elle était déformée, et que, par la même occasion, la couche d'araldite isolerait de nouveau les conducteurs détériorés. L'araldite durcie donnerait la stabilité transversale nécessaire à la partie encore intacte du câble, afin qu'aucune torsion ne puisse se produire. Quelques essais de laboratoire permirent de tester cette méthode et de déterminer en même temps les matériaux et pressions d'injection les plus appropriés.

Le câble d'Entlematt a une portée de 616 m et une dénivellation de 54 m entre les pylônes. Il a une longueur effective de 636 m pour une flèche de 25 m.

Le mélange d'araldite se composait de la manière suivante:

60 parties d'araldite CY 221
40 parties de diluant DY 022
70 parties de durcisseur HT 907
1,5 partie d'accélérateur DY 063

A la température ambiante, le mélange présentait une viscosité comparable à celle d'une huile de moteur claire.

Le dispositif d'injection fonctionnait automatiquement; il suffisait de contrôler de temps à autre la pression d'injection, la viscosité, la température et la quantité de mélange qui restait. Pendant 13 jours consécutifs, le remplissage s'est déroulé conformément au programme. Le processus s'est ensuite ralenti à tel point que seule l'araldite plus fluide continuait de pénétrer dans le câble. Les conducteurs en cuivre du câble ont servi d'éléments de chauffage, ce qui permettait de réduire la viscosité du liquide et de poursuivre l'essai. Le travail a dû être définitivement interrompu sur la première partie de la longue portée, après que quelque 12,5 kg d'araldite furent déversés. Il s'avéra plus tard que l'araldite avait pénétré à l'intérieur du câble sur une distance de 140 m.

Là-dessus, on plaça le dispositif d'injection à l'autre extrémité de la longue portée. Avant le remplissage, une pompe à vide évacuait l'air dans le câble, à la pression d'environ 0,3 at. Hélas, la gaine de plomb se fendit à la pression normale de remplissage de 10 at, de sorte qu'après avoir effectué la réparation, on ne put continuer de travailler qu'avec une pression réduite de 5 at. Il va sans dire qu'on a également dû chauffer le câble de ce côté. 10,5 kg d'araldite purent être introduits dans le câble avant que le processus de remplissage ne ralentisse, nous obligeant ainsi à interrompre l'essai. On accéléra le durcissement de l'araldite continuant à chauffer le câble pendant plusieurs jours jusqu'à 50° C.

evakuierte eine Vakuumpumpe die Luft im Kabel bis auf einen Druck von etwa 0,3 atü. Leider barst der Bleimantel beim normalen Fülldruck von 10 atü, so dass nach erfolgter Reparatur nur noch mit einem reduzierten Druck von 5 atü weitergearbeitet werden konnte. Selbstverständlich heizte man das Kabel auch auf dieser Seite. 10,5 kg Araldit waren ins Kabel geflossen, als sich der Füllprozess so verlangsamte, dass der Versuch abgebrochen werden musste. Man beschleunigte das Aushärten des Araldits durch weiteres Heizen des Kabels während mehrerer Tage bis auf 50° C.

Der Versuch, ein Kabel in montiertem Zustand zu reparieren, war bei der Anlage in Entlematt gescheitert. Immerhin war es gelungen, das Kabel trotz ausgeprägter Verwirbelung auf 280 m mit Araldit auszugiessen. Scheinbar wäre das beschriebene Verfahren nur für Spannweiten unter 200 m erfolgreich anwendbar. Weil aber die kritische Beanspruchung erst bei viel längeren Kabeln erreicht wird, verzichtete man in der Folge auf diese Reparaturmethode.

7. Selbsttragende Weitspannkabel mit stabilem Querschnitt und kunststoffisolierten Adern

Im Zeitpunkt, da man am Kabel über die Urnäsch die ersten Wirbel feststellte, lagen mehrere Projekte von Weitspannkabeln vor. Die Bautermine durften wohl um einige Wochen, nicht aber um Monate hinausgeschoben werden. Über die Urnäsch erstellte man ein Provisorium. Es galt nun möglichst rasch ein Weitspannkabel zu entwickeln, das den Betrieb garantierte.

Wir standen vor zwei grundsätzlich verschiedenen Problemen: einerseits musste die Wirbelbildung verhindert werden und anderseits sollte entweder die Dehnung in kleineren Grenzen gehalten (höchstens 5‰) oder ein dehnungsunempfindlicheres Isolationsmaterial gefunden werden.

Die Dehnung kann, wie bereits gezeigt, bei selbsttragenden Weitspannkabeln nicht genügend genau überwacht werden. Man wählte daher ein thermoplastisches Isolationsmaterial mit einer sehr grossen zulässigen Dehnung. Selbst bei örtlichen Verlängerungen der Kabel um einige Prozente sollten keine Isolationsunterbrüche mehr möglich sein. Weitspannkabel bilden einen integrierenden Bestandteil eines Verteilnetzes, das auf seiner ganzen Länge möglichst homogen sein sollte. Erdkabel werden heute noch ganz allgemein mit papierisolierten Adern hergestellt. Am Spleisspunkt des Weitspannkabels mit dem Erdkabel treffen die beiden Isolationsmaterialien – Papier und Kunststoff – zusammen. Diese Verbindung ist im Bereich der Niederfrequenz einwandfrei; sie wirkt aber im Bereich der Hochfrequenz störend. Die Verwendung von kunststoffisolierten Weitspannkabeln ist

L'essai visant à réparer sur place le câble d'Entlematt fut un échec. On réussit cependant à couler l'araldite dans le câble sur une distance de 280 m, en dépit de la torsion prononcée. Il semblait donc que le processus décrit pouvait s'appliquer avec succès à des portées inférieures à 200 m. Mais attendu que la contrainte critique n'est atteinte qu'avec des câbles beaucoup plus longs, on a donc renoncé par la suite à cette méthode de réparation.

7. Câbles autoporteurs à longue portée pourvus d'une section stable et de conducteurs à isolation en matière synthétique

A l'époque où furent décelées les premières torsions sur le câble traversant l'Urnaesch, plusieurs projets d'installations à longue portée étaient à l'examen. Les délais de construction pouvaient bien être différés de quelques semaines mais non de plusieurs mois. On établit donc une installation provisoire au-dessus de l'Urnaesch. Il s'agissait de mettre au point le plus rapidement possible un câble à longue portée qui garantisse le service.

Nous étions placés devant deux problèmes essentiellement différents: d'une part, il y avait lieu d'empêcher la déformation par torsion et, d'autre part, il fallait contenir l'allongement dans des limites restreintes (au maximum 5‰) ou bien trouver un isolant insensible à l'allongement.

Comme nous l'avons déjà montré, l'allongement des câbles autoporteurs à longue portée ne peut pas être contrôlé avec suffisamment de précision. C'est la raison pour laquelle on a choisi un isolant thermoplastique supportant un allongement très grand. Aucune interruption de l'isolation ne devrait être possible, même lorsque les câbles subissent des allongements localisés d'un certain pourcentage. Les câbles à longue portée forment partie intégrante d'un réseau de distribution qui devrait être aussi homogène que possible sur toute son étendue. Aujourd'hui, on fabrique généralement des câbles souterrains ayant les conducteurs isolés au papier. Les deux matériaux d'isolation – le papier et la matière synthétique – se rencontrent au point d'épissure reliant le câble à longue portée au câble souterrain. En basse fréquence, cette jonction est parfaite alors qu'en haute fréquence elle donne lieu à des perturbations. La mise en œuvre de câbles à longue portée avec isolation en matière synthétique est

- autorisée dans les réseaux de câbles locaux, mais
- inacceptable dans le réseau des câbles ruraux et interurbains.

En augmentant la stabilité transversale sous l'armure des câbles autoporteurs à longue portée, on peut éviter que des torsions ne se produisent. Il importe également que l'inclinaison des fils de l'armure corresponde à la valeur maximale admise et que l'armure ne forme pas une

- im Ortskabelnetz möglich,
- im Bezirks- und Fernkabelnetz jedoch unzulässig.

Die Wirbel auf selbsttragenden Weitspannkabeln können vermieden werden, wenn man die Querstabilität des Kabels unter der Armatur erhöht. Ebenso wichtig ist es, dass die Steigung der Armierungsdrähte dem maximal zulässigen Wert entspricht und dass die Armatur nicht zu satt aufgebracht wird. Steigung und Platzverhältnisse der Drähte können ohne Schwierigkeiten bei der Bewehrung des Kabels berücksichtigt werden. Die Querstabilität dagegen ist mit zusätzlichen Mitteln zu vergrössern. Aus Versuchen hatte man gelernt, dass sich Stützspiralen aus Stahl unter oder über dem Bleimantel, aber auch Wellmäntel aus Stahl, Kupfer oder Aluminium, die an Stelle des Bleimantels treten, als genügende Massnahme erwiesen *(Fig. 19)*.

Mehrere Weitspannanlagen wurden nach der vorerwähnten Kabelkonstruktion gebaut; sie haben sich gut bewährt. Die grösste Anlage, in Bodio TI, sei hier kurz beschrieben.

Das Bergdorf Sobrio und eine Sendeanlage auf dem Piz Matro mussten auf die geeignetste Art von Bodio aus mit Telephonleitungen verbunden werden. Diese felsige Gegend war geradezu ideal für Weitspannkabel *(Fig. 20)*.

Maststandorte mit Sichtverbindung von A nach C konnten nicht gefunden werden, so dass man notgedrungenerweise den Mittelmast B stellen musste. Als Kabelkonstruktion wählte man ein selbsttragendes Weitspannkabel mit erhöhtem Blitzschutz, kunststoffisolierten Adern und mit einem Kupferwellmantel *(Fig. 21)*.

Das Gewicht des Kabels beträgt 9 kg/m, wobei ein wesentlicher Anteil auf den Blitzschutz entfällt. Am Mittelmast treten bei maximaler Belastung Zugkräfte bis zu 15 t auf. Vorgängig der endgültigen Wahl des Kabels wurde eine Versuchslänge hergestellt und praktisch getestet. Die Beanspruchungen wurden parallel dazu rechnerisch überprüft. Der Kupferwellmantel widersteht mit einer angemessenen Sicherheit den maximalen Beanspruchungen. Die Aderisolation aus Kunststoff ist in der Lage, die grössten Dehnungen ohne Schaden zu übernehmen.

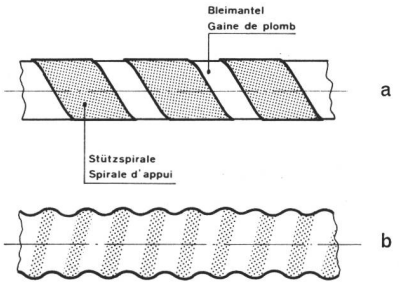

Fig. 19
a) Stützspirale über den Bleimantel – Spirale de soutien entourant une gaine de plomb
b) Wellmantel aus Stahl, Kupfer oder Aluminium – Gaine ondulée en acier, en cuivre ou en aluminium

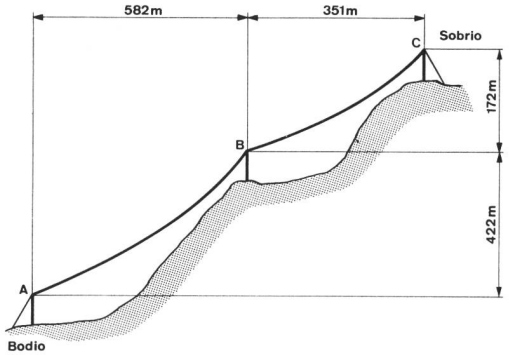

Fig. 20
a) Längenprofil der Anlage in Bodio-Sobrio – Profil longitudinal du câble de Bodio-Sobrio

couche trop serrée. On peut facilement tenir compte de l'inclinaison et de la disposition des fils pour protéger le câble. En revanche, il convient d'accroître la stabilité transversale par des moyens auxiliaires. Les essais nous ont appris que les spirales d'appui en acier, enroulées au-dessous ou au-dessus de la gaine de plomb, étaient considérées comme des mesures suffisantes, au même titre que les gaines ondulées en acier, en cuivre ou en aluminium remplaçant la gaine de plomb *(fig. 19)*.

Plusieurs installations à longue portée ont été construites en fonction du type de câble précité; elles ont donné entière satisfaction. La plus grande installation posée, celle de Bodio, est sommairement décrite ci-après *(fig. 20)*.

N'ayant pas pu trouver d'emplacement offrant une liaison à visibilité directe entre les pylônes A et C, nous avons été contraints d'implanter le pylône intermédiaire B. Comme type de câble, nous avons choisi un câble autoporteur

Fig. 20
b) Oberer Teil der Weitspannung in Bodio – Partie supérieure de la longue portée de Bodio

Die Montage des Kabels geschah unter Beachtung aller einschlägigen Vorschriften und mit grösster Sorgfalt.

Diese Anlage hat bewiesen, dass sehr grosse Spannweiten mit schweren Kabeln betriebssicher gebaut werden können.

8. Hängekonstruktionen

Obwohl man nun in der Lage war, Weitspannungen mit selbsttragenden Kabeln zu bauen, beschränkte sich deren Anwendung auf Ortsnetze. Zudem stellte man grosse Anforderungen an die Längengenauigkeit der fest eingebauten Klemmkonen.

Man erinnerte sich, wie schon öfters, der Hängekonstruktion. Ein Stahlseil hat folgende unverkennbare Vorteile: die Werte der kleinen Dehnungen sind bekannt. Damit wäre es möglich, die Dehnungstoleranz von 5‰ für papierisolierte Kabel einzuhalten.

Das Telephonkabel wird mit rostfreien Stahlbandbriden am Tragseil befestigt. Diese Hängekonstruktion bedingt, dass entweder bei der Montage das Stahlseil unter grossem Zug laufend mit dem Kabel zusammengebunden wird oder dass eine Montageequipe die Briden auf der Spannweite anbringt. Normalerweise ist die zweite Art der Montage einfacher und somit auch billiger *(Fig. 22)*.

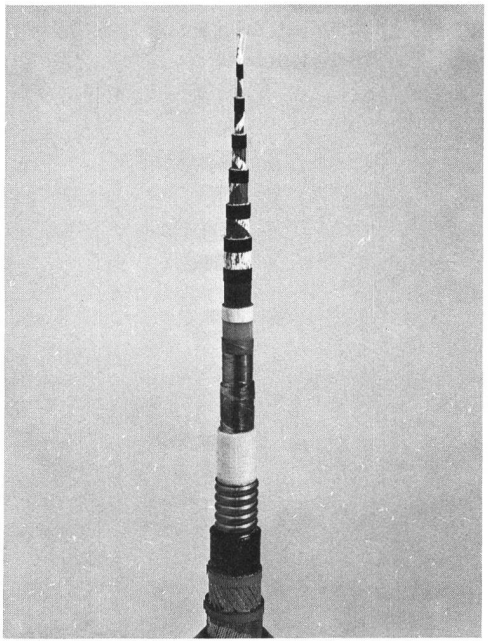

Fig. 21
Aufbau des blitzgeschützten Kabels für die Weitspannung in Bodio – Construction du câble protégé contre la foudre pour la longue portée de Bodio

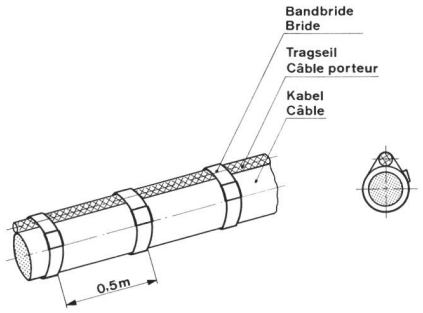

Fig. 22
Hängekonstruktion – Construction suspendue

doté d'une protection renforcée contre la foudre, de conducteurs à isolation en matière synthétique et d'une gaine de cuivre ondulée *(fig. 21)*.

Le poids du câble s'élève à 9 kg/m; il est dû en grande partie à la matière utilisée pour la protection contre la foudre. Le pylône intermédiaire supporte des efforts de traction allant jusqu'à 15 tonnes en cas de charge maximale. Avant de procéder au choix définitif du câble, nous avons fait fabriquer une longueur d'essai qui fut soumise à un test. Les contraintes furent contrôlées simultanément au moyen de calculs. La gaine de cuivre ondulée résiste aux contraintes maximales avec une marge de sécurité suffisante. L'isolation en matière synthétique des conducteurs est en mesure de supporter sans dommage des allongements considérables.

Le montage du câble s'est effectué avec le plus grand soin et compte tenu de toutes les prescriptions particulières.

Cette installation a prouvé que même avec des câbles lourds, il y avait moyen de construire de très grandes portées, offrant une sécurité totale.

8. Installations suspendues

Bien que l'on ait été en mesure de construire des longues portées à l'aide de câbles autoporteurs, leur utilisation se limitait aux réseaux locaux. De plus, les exigences posées quant à la précision de la distance séparant les points de suspension étaient très sévères.

C'est alors qu'on se souvint, comme à maintes reprises, de la construction suspendue.

Un câble d'acier présente des avantages indéniables parce que les valeurs faibles des allongements sont connues. Il est donc possible d'observer la marge de tolérance de 5‰ pour les câbles isolés au papier.

Le câble téléphonique est fixé au câble porteur à l'aide de brides d'acier. Cette installation suspendue exige soit que le câble d'acier reste constamment sous forte tension pendant le montage, soit qu'une équipe de montage place

Die Nachteile des Hängekabels wurden bereits im Abschnitt 2 beschrieben, sie gelten auch für diese Konstruktion. Stahlbandbriden sind jedoch einfacher zu montieren und bieten eine grössere Sicherheit als Stahldrähte.

9. Zenterportkabel

Alle bisherigen Weitspannkabelkonstruktionen wiesen einen Nachteil auf: sie waren nicht universell anwendbar.

Von der idealen Konstruktion erwarten wir:

- Dehnung $< 5^0/_{00}$, damit papierisolierte Adern verwendet werden können;
- einfaches Abspannsystem an den Masten;
- auch bei grossen Höhendifferenzen der Maststandorte brauchbar.

Es ist nicht erstaunlich, dass man immer und immer wieder auf das Stahlseil als tragendes Element stösst, denn die vorgenannten Bedingungen werden damit erfüllt.

Beim Zenterportkabel *(Fig. 23)* wird das Stahlseil ins Zentrum des Kabels verlegt. Einzelne, in sich geschlossene Aderbündel sind spiralförmig um das Stahlseil gewickelt.

Ein Kunststoffmantel hält die Bündel zusammen und verhindert zugleich das Ausgleiten des Tragseiles. Vor dem Abspannpunkt wird der äussere Kunststoffmantel entfernt und die Aderbündel einzeln in einen Kasten oder in eine Muffe geführt, wo sie mit dem Erdkabel verspleisst werden. Das freie Tragseil kann mit einer Abspannspirale am Mast verankert werden.

Ein solcher Kabeltyp mit kunststoffisolierten Adern wurde in Amden SG über ein 300 m breites Tobel gespannt.

Die wichtigsten Vorteile des Zenterportkabels sind:

- kleines Gewicht
- einfache Montage.

Dagegen sprechen:

- der sehr hohe Preis
- Montageschwierigkeiten bei Kabeln mit erhöhtem Blitzschutz.

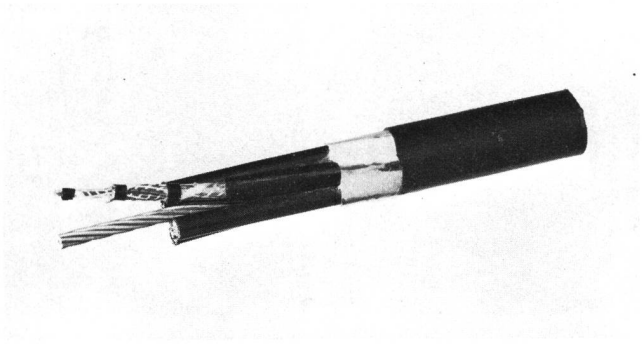

Fig. 23
Zenterport-Kabel – Câble à porteur central

les brides sur la portée. Le second système est généralement plus simple et par conséquent meilleur marché *(fig. 22)*.

Les inconvénients du câble suspendu ont déjà été exposés; ils s'appliquent aussi à ce genre de construction. Les brides d'acier sont cependant plus faciles à monter et elles offrent une plus grande sécurité que les fils d'acier.

9. Câble à porteur central

Tous les types de câble à longue portée présentaient un inconvénient du fait qu'ils n'étaient pas utilisables partout.

Du modèle idéal nous attendons que:

- l'allongement soit inférieur à $5^0/_{00}$, afin qu'on puisse utiliser des conducteurs isolés au papier;
- le système d'amarrage aux pylônes soit simple;
- il puisse servir même en cas de forte dénivellation entre les pylônes.

Il n'est pas étonnant qu'on revienne toujours à l'emploi des câbles d'acier comme éléments porteurs, car ils remplissent les conditions requises ci-dessus.

Dans le câble à porteur central *(fig. 23)*, le câble d'acier est placé au centre. Les faisceaux complets de conducteurs sont enroulés en forme de spirale autour du câble d'acier.

Une gaine en matière synthétique maintient les faisceaux et empêche en même temps que le câble porteur ne glisse. La gaine extérieure en plastique est enlevée avant le point d'ancrage et les faisceaux de conducteurs sont introduits séparément dans une armoire ou un manchon où ils sont épissés à ceux du câble souterrain. Le câble porteur dégagé peut être accroché au pylône avec une amarre hélicoïdale.

Un câble de ce genre avec conducteurs à isolation en matière synthétique fut tiré à Amden/SG, au-dessus d'une gorge large de 300 m.

Les principaux avantages du câble à porteur central sont:

- son faible poids
- son montage simple.

En revanche,

- son prix très élevé,
- les difficultés de montage rencontrées avec les câbles possédant une protection renforcée contre la foudre ne plaident pas en sa faveur.

10. Câble à porteur extérieur

Mécontents de toutes les solutions adoptées jusqu'ici, nous avons poursuivi nos recherches en vue de trouver un câble aérien d'usage universel. Le câble dit à porteur extérieur a une section ovoïde; il se compose d'un câble normal à isolation en matière synthétique et d'un câble

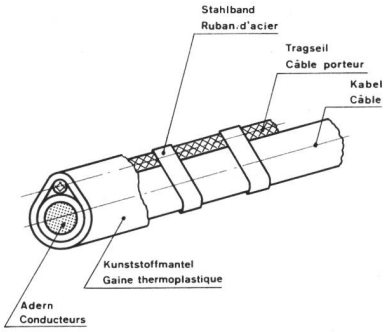

Fig. 24
Aufbau eines Exzenterport-Kabels – Construction d'un câble à porteur excentré

10. Exzenterportkabel

Unbefriedigt von allen bisherigen Lösungen suchte man weiter nach einem universellen Luftkabel. Das sogenannte Exzenterportkabel mit eiförmigem Querschnitt besteht aus einem normalen kunststoffisolierten Kabel und einem Stahlseil *(Fig. 24)*. Die beiden Zylinder werden mit einem eng anschliessenden, spiralförmig aufgebrachten Stahlband zusammengehalten. Die Umschlingung erfolgt unter grossem Zug, so dass die Presskraft eine Reibung erzeugt, die das Abgleiten des Kabels selbst bei grossen Neigungswinkeln verhindert. Am Schluss wird ein Mantel aus Thermoplast um das ganze Gebilde gespritzt.

Ein solches Kabel lässt sich nicht ganz mühelos auf einen Haspel aufwinden und wieder abrollen.

Liegt nämlich die Achse des Kabels und des Tragseils nicht parallel der Haspelachse, so entstehen Durchmesserdifferenzen, die sich als Längenunterschied der beiden Zylinder auswirken. Nun ist aber das Kabel praktisch nicht biegbar, das flexiblere Tragseil muss die Änderungen übernehmen. Das führt zu unerwünschten – im allgemeinen jedoch nicht gefährlichen – Verschiebungen des Seiles, das gegenüber dem Kabel eine leichte Wellenlinie beschreibt.

Zwei Exzenterportkabel wurden im Valle di Muggio TI montiert. Das grössere hat eine Spannweite von 590 m bei einer Höhendifferenz von 234 m. In diesem überaus blitzgefährdeten Gebiet wurde das Kabel mit einem besondern Schutz gegen atmosphärische Entladungen versehen. Das schwere Kabel verursacht eine Zugkraft von etwa 19 t am obern Aufhängepunkt. Die Montage ging reibungslos vor sich und das Kabel hat sich bis heute bewährt.

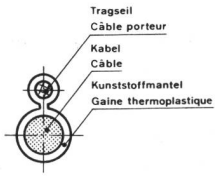

Fig. 25
Querschnitt eines Isoport-Kabels – Coupe d'un câble isoport

d'acier *(fig. 24)*. Les deux câbles sont assemblés au moyen d'un ruban d'acier, enroulé en spirale, qui les enserre. La ligature s'effectue sous une forte traction, de sorte que l'effort de pression engendre un frottement qui empêche le câble de glisser, même si les angles d'inclinaison de la portée sont grands. Pour terminer, on applique une gaine thermoplastique autour de l'assemblage.

Il n'est guère facile d'enrouler un tel câble sur un tambour, puis de le dévider.

En effet, si l'axe du câble téléphonique et celui du câble porteur ne sont pas parallèles à l'axe du tambour, il en résulte des différences de diamètre qui se traduisent par des différences entre les longueurs des deux câbles. Or le câble téléphonique n'est pratiquement plus flexible et le câble porteur, plus souple, doit absorber les écarts. Ce dernier subit alors des déformations intempestives – en général peu importantes – et il décrit une légère ondulation par rapport au câble téléphonique.

Deux câbles à porteur extérieur furent installés au Tessin dans le val Muggio. Le plus grand a une portée de 590 m pour une dénivellation de 234 m. Dans cette région très exposée aux orages, le câble à été pourvu d'une protection spéciale contre les décharges atmosphériques. Très lourd, il provoque un effort de traction de 19 tonnes environ sur son point de suspension supérieur. Le montage s'est déroulé sans difficulté et le câble a donné satisfaction jusqu'ici.

11. Câble Isoport

Le câble Isoport *(fig. 25)* n'est pas un modèle récent mais un type de câble utilisé depuis longtemps et qui le sera encore à l'avenir. Les câbles Isoport d'usage courant

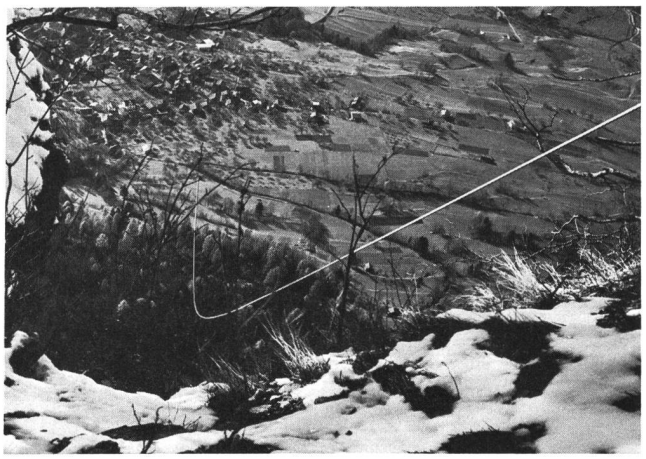

Fig. 26
Längste Weitspannung in Scharans – Portée la plus longue à Scharans

11. Isoportkabel

Beim Isoportkabel *(Fig. 25)* handelt es sich nicht um eine Neukonstruktion, sondern um einen Kabeltyp, der seit langem und sicher auch in Zukunft noch verbaut wird. Normale handelsübliche Isoportkabel mit Kapazitäten von 6 bis 60 Aderpaaren können bis 100 m gespannt werden.

Das Stahltragseil, zusammen mit dem kunststoffisolierten Kabel, wird von einem Thermoplastmantel umhüllt. Der Querschnitt bildet eine 8. Für Weitspannungen >100 m kann der Tragseilquerschnitt so vergrössert werden, dass er den Zug von Kabel und Zusatzlast übernimmt.

Das anpassungsfähige und leichte Isoportweitspannkabel wird besonders in Ortsnetzen, anstelle von Freileitungen, verwendet. Theoretisch liessen sich damit ausserordentlich grosse Distanzen überspannen, wie jedoch die Erfahrung zeigt, liegen die praktischen Grenzen bei etwa 1400 m.

Figur 26 zeigt die Isoportkabelanlage in Scharans.

Spannweite horizontal	1100 m
Höhendifferenz	700 m
Länge des Kabels	1340 m

12. Schlussbetrachtung *(Tabelle 1)*

Unter der Bezeichnung «einfache, längenunabhängige Abspannung» versteht man eine Befestigung des Kabels oder des Tragseils am Mast, die an irgendeiner Stelle – ohne besondere Vorkehren – angebracht werden kann. Die Abspannspirale *(Fig. 27)* erfüllt diese Anforderungen; sie lässt sich zudem einfach und schnell ohne Spezialwerkzeuge montieren.

Durch ausgedehnte, praktische und theoretische Untersuchungen haben wir wichtige Grundlagen für die Verwendung bestehender und für die Entwicklung neuer Kabeltypen gewonnen. Bei der Planung einer Weitspannanlage dürfen wir aber nicht nur die technischen Aspekte, sondern müssen wir auch die Wirtschaftlichkeit berücksichtigen. Entscheidend bei der Wahl des Kabeltyps sind Kapazität, Länge, Blitzschutz, Art der Anlage, Zugang zu den Masten, Montageart und der Preis.

Auch bei der Entwicklung neuer Kabeltypen sind alle diese Faktoren zu berücksichtigen.

Zurzeit studieren wir, in enger Zusammenarbeit mit den Kabellieferanten, ein Multiportkabel *(Fig. 28)*.

Bibliographie

[1] *Wiedmer M.* Kräfte und Deformationen an armierten Kabeln unter Zug, S. 392...398, in dieser Nummer.

[2] *Gnehm B.* Berechnung von Weitspannungen für Telephonkabel. Technische Mitteilungen PTT, Bern, 1967, Nr. 1, S. 6...20 und Nr. 2, S. 70...79.

et offrant une capacité de 6 à 60 paires de conducteurs peuvent être suspendus sur des distances allant jusqu'à 100 m.

Le câble porteur en acier et le câble téléphonique à isolation en matière synthétique sont enveloppés dans une gaine thermoplastique. La section forme un huit. Pour les longues portées supérieures à 100 m, la section du câble porteur peut être agrandie de manière que celui-ci supporte la traction du câble téléphonique et la charge supplémentaire.

Le câble Isoport à longue portée, souple et léger, est particulièrement utilisé dans les réseaux locaux, où il remplace les lignes aériennes. Théoriquement, on peut donc le tirer sur des distances extrêmement grandes, mais l'expérience a montré que les limites pratiques se trouvaient à 1400 m environ.

La *figure 26* représente le câble Isoport installé à Scharans.

12. Conclusions *(tableau 1)*

Par «amarrage simple, indépendant de la longueur» on entend que la fixation du câble téléphonique ou du câble porteur peut être appliquée à n'importe quel endroit du pylône, sans précautions spéciales. L'amarre hélicoïdale *(fig. 27)* remplit ces conditions; en outre, son montage simple et rapide n'exige aucun outillage spécial.

Par de longues recherches pratiques et théoriques, nous avons acquis des éléments de base importants pour utiliser les types de câbles disponibles et développer de nouveaux modèles. En établissant le projet d'une installation à longue portée, nous ne devons pas seulement tenir compte des aspects techniques mais aussi de la rentabilité. Les facteurs suivants servent à déterminer le choix du type de câble: la capacité, la longueur, la protection contre la foudre, le genre d'installation, l'accès aux pylônes, le système de montage et le prix. On prendra également tous ces facteurs en considération lors de la mise au point de nouveaux modèles de câbles.

Nous étudions actuellement un câble Multiport *(fig. 28)*, en étroite collaboration avec les fournisseurs de câbles.

Fig. 27
Abspannspirale für Tragseile – Amarre hélicoïdale pour câble porteur

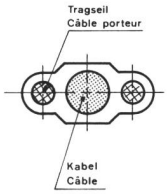

Fig. 28
Querschnitt eines Multiport-Kabels – Coupe d'un câble multiport

Tabelle I. Wichtigste Vor- und Nachteile von Weitspannkabeln

Kabeltyp	Symbol	Vorteile	Nachteile	Bemerkungen
Selbsttragend		– einfache Fabrikation – kreisrunder Querschnitt – für beliebige Neigungswinkel – einfache Montage	– grosse Dehnungen – kleine Längentoleranz für Klemmkonen und Maststandorte – nur für Ortskabelanlagen – grosse Drehmomente	mit Wellmantel oder Stützspiralen, kunststoffisolierte Adern Spannweiten bis 1000 m
Hängekonstruktion		– Verwendung normaler Kabeltypen – für Orts-, Bezirks- und Fernkabelanlagen – einfache, längenunabhängige Abspannung – Preis	– nur bei kleinen Neigungswinkeln anwendbar – Montage bedingt das Zusammenbinden von Kabel und Tragseil auf der Spannweite	Spannweiten bis 800 m
Zenterport		– leichtes Kabel – kreisförmiger Querschnitt – für beliebige Neigungswinkel – einfache Montage – einfache, längenunabhängige Abspannung	– für Kabel mit erhöhtem Blitzschutz nur bedingt verwendbar – nur für Ortskabelanlagen – Schwierigkeiten am Verteilpunkt von Kabel und Tragseil – Preis	kunststoffisolierte Adern vermutlich für Spannweiten bis 1400 m
Exzenterport		– Verwendung normaler Kabeltypen – für Orts-, Bezirks- und Fernkabelanlagen – für beliebige Neigungswinkel – einfache Montage – einfache, längenunabhängige Abspannung	– grosser eiförmiger Querschnitt – Schwierigkeiten beim Auf- und Abhaspeln – Preis	Spannweiten bis 1000 m
Isoport		– leichtes Kabel – für beliebige Neigungswinkel – einfache Montage – einfache, längenunabhängige Abspannung – Preis	– kleine Anzahl Aderpaare ($< 60 \times 2$) – grosser Querschnitt – nur für Ortskabelanlagen – nur ohne erhöhten Blitzschutz verwendbar	Spannweiten bis 1400 m

Tableau 1. Avantages et inconvénients présentés par les câbles à longue portée

Type de câble	Symbole	Avantages	Inconvénients	Remarques
Autoporteur		– fabrication simple – section circulaire – pour n'importe quel angle d'inclinaison – montage facile	– grands allongements – faible marge de tolérance longitudinale pour les cônes de serrage et entre les pylônes – uniquement pour les câbles locaux – grands moments de torsion	avec gaine ondulée ou spirale d'appui, conducteurs à isolation en matière synthétique portées jusqu'à 1000 m
Installation suspendue		– utilisation de types de câbles normaux – pour installations de câbles locaux, ruraux et interurbains – amarrage simple, indépendant de la longueur – prix	– uniquement utilisable avec de petits angles d'inclinaison – le système exige l'assemblage du câble téléphonique et du câble porteur sur la portée	portées jusqu'à 800 m
Câble à porteur central		– câble léger – section circulaire – pour n'importe quel angle d'inclinaison – montage facile – amarrage simple, indépendant de la longueur	– seulement utilisable sous réserve pour des câbles à protection renforcée contre la foudre – uniquement pour les installations de câbles locaux – difficultés rencontrées au point de jonction du câble téléphonique et du câble porteur – prix	conducteurs à isolation en matière synthétique probablement pour des portées jusqu'à 1400 m
Câble à porteur extérieur		– utilisation de types de câbles normaux – pour installations de câbles locaux, ruraux et interurbains – pour n'importe quel angle d'inclinaison – montage facile – amarrage simple, indépendant de la longueur	– grande section ovoïde – difficultés à enrouler le câble sur le tambour et à le dévider – prix	portées jusqu'à 1000 m
Isoport		– câble léger – pour n'importe quel angle d'inclinaison – montage facile – amarrage simple, indépendant de la longueur – prix	– petit nombre de paires de conducteurs (jusqu'à 60×2) – grande section – seulement pour les installations de câbles locaux – utilisable uniquement sans protection renforcée contre la foudre	portées jusqu'à 1400 m