

Bleimantelkabel, Bleikorrosion und Korrosionsschutz = Câbles sous gaine de plomb, corrosion du plomb et protection contre la corrosion

Autor(en): **Vögtli, Kurt**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **48 (1970)**

Heft 1

PDF erstellt am: **06.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-876039>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Bleimantelkabel, Bleikorrosion und Korrosionsschutz

Câble sous gaine de plomb, corrosion du plomb et protection contre la corrosion

Kurt VÖGTLI, Bern

620.193.92:621.315.221.5
620.197.1:621.315.221.5

Zusammenfassung. Es wird über die Korrosionsbeständigkeit verschiedener Kabeltypen und den Einfluss der Verlegungsart berichtet. Im besonderen wird ein neuer Korrosionsschutz beschrieben, der nach dem Wickelverfahren hergestellt wird, billig ist und sich im praktischen Einsatz bewährt hat.

Résumé. Le présent article traite de la résistance à la corrosion de différents types de câbles et de l'influence du genre de pose. Il décrit en particulier une nouvelle protection contre la corrosion qui est réalisée selon le procédé d'enroulement, est bon marché et a fait ses preuves dans la pratique.

Cavi con guaine di piombo, corrosione del piombo e protezione contro la corrosione

Riassunto. La relazione tratta la resistenza alla corrosione di diversi tipi di cavi e l'influsso del genere di posa. Si descrive in particolare una nuova protezione contro la corrosione che è stabilita secondo il procedimento d'avvolgimento, è economica e s'è affermata nell'esercizio pratico.

1. Bleimantel und Korrosionsschutz

Für den Fernmeldedefachmann besteht ein Kabel im wesentlichen aus vielen Leitern mit ganz bestimmten Übertragungseigenschaften. Für den Monteur ist es ein Gebilde, bei dem das Bündel durchgespleisst oder aufgeschaltet und der Mantel mit Hilfe von Muffen und Endverschlüssen dicht gehalten werden muss. Der Baubeamte sieht im Kabel den langen Schlauch, der zwischen zwei Punkten ausgelegt oder eingezogen werden soll und dessen Vorhandensein später nur noch an Hand der Planunterlagen festgestellt werden kann. Für den Einkäufer ist es ein Artikel mit fluktuierendem Preis, der von den Notierungen für Kupfer und Blei abhängt. Der Transportdienst und die Lagerverwaltung sehen vor allem die viel Platz beanspruchenden Rollen, das grosse Gewicht, die nur mässige Robustheit und die Schwierigkeiten beim Abhaspeln, Aufwickeln und Abmessen der gewünschten Längen. Und der Korrosionsspezialist? Für ihn existiert zunächst das Bündel nur ganz nebenbei, denn dieses ist normalerweise allen Korrosionseinflüssen entzogen. Ferner sind für ihn auch die Geschmeidigkeit, die Zugfestigkeit und das Gewicht eines Kabels nur von untergeordneter Bedeutung. Das Material dagegen, mit welchem das Bündel umpresst wurde, die Wandstärke des Mantels, der Aufbau des Korrosionsschutzes, die Art der Imprägnierung der Papierbänder und der Jute und anderes mehr interessieren ihn sehr, denn für den Korrosionsfachmann ist ein Kabel ein dichtes Rohr, das möglicherweise einmal durchlöchert sein kann.

Dass zum hermetischen Abschluss des Bündels von der Umgebung früher ausschliesslich und auch heute noch fast immer Blei verwendet wird, hat viele Gründe. So ist Blei leicht verformbar. Es kann bei Temperaturen zu einem Rohr verpresst werden, welche sowohl eine Papier- als kurzzeitig auch eine Kunststoffisolation zu ertragen vermag. Ein Bleimantel kann um verhältnismässig kleine Radien gebogen werden, und Blei bleibt auch in der Kälte plastisch. Es ist wie alle Metalle schon in dünnsten Schichten absolut dicht, und zwar nicht nur gegenüber Flüssigkeiten, sondern auch gegenüber Gasen. Blei und Bleilegierungen können

1. Gaine de plomb et protection contre la corrosion

Si, pour le spécialiste des télécommunications, un câble comprend essentiellement de nombreux conducteurs aux caractéristiques de transmission bien définies, c'est pour le monteur un assemblage dans lequel le faisceau doit être épissé ou raccordé et la gaine maintenue étanche au moyen de manchons et de têtes de câbles. Alors que le fonctionnaire de construction voit dans le câble un long tuyau qui doit être posé ou tiré entre deux points et dont la présence ne peut plus être déterminée par la suite qu'à l'aide de plans, l'acheteur estime que c'est un article au prix variable qui dépend des cours du cuivre et du plomb. Le service des transports et la section des magasins considèrent avant tout les tambours très encombrants, le poids considérable, la robustesse bien modérée, et les difficultés rencontrées lors du dévidement, de l'enroulement et de la mesure des longueurs désirées. Et le spécialiste de la corrosion? Pour lui, le faisceau n'existe tout d'abord que d'une manière tout à fait secondaire, car il est normalement soustrait à toutes les influences corrosives, tout comme, du reste, la ductilité, la résistance à la traction et le poids d'un câble n'ont qu'une importance minime. En revanche, le matériel dont le câble a été enveloppé, l'épaisseur de la gaine, la construction de la protection contre la corrosion, la nature de l'imprégnation des rubans de papier et de jute, etc. l'intéressent au premier chef, car un câble est pour lui un tube étanche qui sera probablement percé une fois ou l'autre. On s'explique aisément pour quel motif le plomb était autrefois exclusivement utilisé et l'est actuellement encore presque toujours pour la fermeture hermétique du faisceau. Le plomb est, en effet, très malléable et peut être extrudé en un tuyau à des températures que supporte une isolation en papier et, pendant un temps relativement bref, aussi en matière synthétique. Une gaine de plomb peut être recourbée en rayons assez petits et, de plus, le plomb reste plastique au froid. Comme tous les métaux, il est absolument étanche déjà en feuilles très minces et non pas simplement aux liquides mais aussi aux gaz. Le plomb et ses alliages peuvent être facilement soudés à

leicht mit Weichlot oder Schmierzinn gelötet werden, eine Eigenschaft, die sich vor allem beim Spleissen günstig auswirkt. Schliesslich ist auch der Preis von Blei nicht allzu hoch.

Vielleicht wäre man geneigt, auch noch die gute Beständigkeit von Blei gegenüber aggressiven Medien als weiteren Grund für dessen Verwendung als Mantelmaterial anzuführen. In diesem Punkt müssen indessen gewisse Einschränkungen gemacht werden. Es ist zwar allgemein bekannt, dass Blei gegenüber Schwefelsäure beständig ist, aber es ist leider ebenso eine Tatsache, dass die meisten Bodenwässer Blei derart stark angreifen, dass ein Bleimantel nach einigen Jahren deutlich ankorrodiert oder sogar perforiert ist. Daran ändern auch die wenigen Meter Bleirohr aus der Römerzeit nichts, die in den Museen aufbewahrt werden. Diese Rohrleitungen bestanden ja nicht nur aus einigen kurzen Stücken. Wo blieb der Rest? Wir sind deshalb gezwungen, das Blei dort, wo es in den Boden vergraben wird, gegen die Umwelteinflüsse abzuschirmen. Sonst würde nach kurzer Zeit das mit Papier isolierte Bündel durchnässt, weil Bodenfeuchtigkeit durch ein Korrosionsloch ins Kabelinnere gelangen könnte. Es gibt zwar Verwaltungen, die blanke Bleikabel in Röhrensysteme (zum Beispiel Steinzeugröhren) einziehen oder sogar direkt in den Boden verlegen. Bei uns werden dagegen blanke Kabel erst neuerdings und nur in Kunststoffrohre eingezogen, alle andern erdverlegten Kabel besitzen über dem Bleimantel noch einen zusätzlichen Korrosionsschutz.

Verbreitete Korrosionen sind aber nicht bei allen Kabeltypen und Verlegungsarten anzutreffen, sie sind vielmehr auf einige wenige Kombinationen beschränkt. Weitaus die meisten Korrosionsschäden treten an unarmierten Kabeln auf, die in Zoreskanälen verlegt sind [1].

2. Einfluss der Verlegungsart

Verglichen mit der Häufigkeit der Y-Korrosionen [2] und den bedeutend selteneren Fremdstromelektrolysen, sind alle übrigen Korrosionsschäden nur eine zahlenmässig unbedeutende Sammlung von Sonderfällen. Einzig die Ermüdungsschäden treten noch in grösserer Zahl auf, doch sind diese zur Hauptsache durch mechanische und nicht durch elektrochemische Einwirkungen bedingt [1].

Über die Y-Korrosion wurde bereits mehrfach berichtet, so dass es genügt, nochmals die wichtigsten Merkmale zusammenzufassen. Wir sprechen von einer Y-Korrosion, wenn der Angriff bevorzugt den Korngrenzen folgt. Klassiert wird also ausschliesslich auf Grund der Ausbildung und des Aussehens der Anfressungen und unabhängig von den möglichen Ursachen. Der Angriff ist in einzelnen Fällen derart extrem auf die Berührungsflächen der Bleikristallite beschränkt, dass man Mühe hat, das zerrüttete Bleigeüge als korrodiert zu bezeichnen. Nur weil der Angriff auf ein-

la Soudure filiforme ou à la soudure pour manchons de plomb, propriété qui est surtout très appréciée lors de l'épissage. Enfin, le prix du plomb n'est pas trop élevé.

On serait peut-être enclin à citer la bonne résistance du plomb aux milieux agressifs comme autre motif de son emploi comme matériau pour les gaines. Sur ce point, il convient néanmoins de faire certaines réserves, car s'il est généralement établi que le plomb résiste à l'acide sulfurique, il n'en demeure pas moins que la plupart des eaux de sol l'attaquent si fortement qu'une gaine de cette matière est nettement corrodée, voire perforée au bout de quelques années. Les quelques mètres de tuyaux en plomb de l'époque romaine qui sont conservés dans les musées ne changent rien à la situation; il faut bien admettre que ces canalisations en tuyaux ne se composaient pas uniquement de quelques petits bouts de tuyaux. Où a passé le reste? Force nous est donc de protéger le plomb qui est enfoui dans le sol contre les influences avoisinantes, sinon le faisceau isolé au papier serait inondé au bout de quelque temps, étant donné que l'humidité du sol pourrait pénétrer à l'intérieur du câble à travers un trou provoqué par la corrosion. Certaines administrations tirent les câbles sous plomb nu dans des tuyaux (par exemple tuyaux en grès) ou les posent même directement dans le sol. En Suisse, en revanche, les câbles nus ne sont tirés que depuis tout récemment et ils ne le sont que dans des tuyaux en matière synthétique; tous les autres câbles enfouis dans le sol possèdent par-dessus la gaine de plomb une protection supplémentaire contre la corrosion.

Mais des corrosions étendues n'affectent pas tous les types de câbles ni tous les genres de pose, elles sont plutôt limitées à quelques combinaisons spéciales. Les dégâts dus à la corrosion, de loin les plus nombreux, se produisent sur des câbles non armés posés dans des canaux zorès [1].

2. Influence du genre de pose

Comparés à la fréquence des corrosions Y [2] et aux électrolyses sous l'effet de courants vagabonds nettement plus rares, tous les autres dégâts dus à la corrosion ne représentent qu'une collection minime de cas spéciaux. Seuls les dommages dus à la fatigue se produisent encore en grand nombre, mais ils sont principalement provoqués par des influences mécaniques et non pas électrochimiques [1].

La corrosion Y ayant déjà fait l'objet de plusieurs études, il suffit d'en résumer les caractères essentiels. Nous parlons d'une corrosion Y lorsque l'attaque suit de préférence les limites des grains. Le classement se fait donc exclusivement d'après la formation et l'aspect des attaques et indépendamment des causes possibles. Dans certains cas, l'attaque est si limitée aux surfaces de contact des cristalli-

zelne Stellen beschränkt ist und stets nur von der Oberfläche des Bleimantels ausgeht, kann man Ermüdung ausschliessen. Grössere Mengen von Korrosionsprodukten sind oft ebensowenig zu finden wie typische Verfärbungen oder ähnliche Merkmale, die sonst eine elektrochemische Reaktion begleiten. Um eine Y-Korrosion zu erzeugen, braucht es:

- a) Feuchtigkeit,
- b) eine gewisse Potentialdifferenz zwischen Metall und Elektrolyt,
- c) eine minimale Bleiionenkonzentration.

Diese Bedingungen sind sowohl bei blanken als auch bei Kabeln mit äusserem Korrosionsschutz, aber ohne Armierung, erfüllt, sobald sie direkt in den Boden verlegt werden. Auch in den Zoreskanälen sind die Voraussetzungen für das Entstehen einer Y-Korrosion günstig, während dichte Rohranlagen die Y-Korrosion verhindern. Betonkanäle schliessen zwar eine Y-Korrosion nicht aus, aber sie sind aus zwei Gründen günstiger als Zoreskanäle. Es hat sich gezeigt, dass ein mässig alkalisches Milieu wenig aggressiv wirkt und der Beton deshalb die interkristalline Korrosion hemmt. Ferner ist ein Betonkanal elektrisch neutral, während die Zoresen an den Stossstellen häufig unterschiedliche Potentiale aufweisen, so dass Ausgleichströme fliessen, die ihren Weg zum Teil durch den Bleimantel nehmen. An den Austrittsstellen des Stromes wird dann die Y-Korrosion merklich beschleunigt.

Korrosionen, die durch Fremdströme bedingt sind – ob es sich um Streuströme von Bahnen, galvanisch bedingte Ströme oder solche mit anderen Ursachen handelt, ist für den Korrosionsvorgang selber bedeutungslos –, treten nur dann auf, wenn aus dem Bleimantel Gleichstrom in den umgebenden Elektrolyten übertritt. Metallische Armierungen, die in nicht zu grossen Abständen mit dem Bleimantel verbunden sind, haben gleich wie durchverbundene Metallkanäle einen günstigen Einfluss. Ebenso werden Rohre aus Kunststoff den Stromaustritt unterbinden. Betonröhren und Kanäle aus Betonformsteinen sind dagegen eher besser leitend als der Boden, in dem sie liegen, und vermögen daher den Stromaustritt und damit die elektrolytische Korrosion nicht zu hemmen. Bei der Beurteilung von Korrosionsfällen ist es wichtig, zu wissen, dass bei mässiger Fremdstrombeeinflussung, das heisst bei Potentialverschiebungen von einigen hundert Millivolt, die so beschleunigte Y-Korrosion das Korrosionsbild vollständig beherrschen kann. Man wird daher in der Praxis oft vergeblich nach den typischen Kraterformen suchen, auch wenn eindeutig feststeht, dass eine Fremdstrombeeinflussung die primäre Korrosionsursache ist.

In unserem Kabelnetz treten weitaus am meisten Korrosionsschäden in Zoreskanalanlagen auf. Dies hat verschiedene Gründe. Einmal sind sehr viele Zoresanlagen gebaut

tes de plomb qu'on a de la peine à affirmer que la structure de plomb détruite est corrodée. On ne peut exclure la fatigue que parce que l'attaque se circonscrit à certains endroits et qu'elle part toujours de la surface de la gaine de plomb. Il arrive fréquemment qu'on ne trouve pas plus de grandes quantités de produits de la corrosion que de colorations typiques et de caractéristiques analogues qui accompagnent d'ordinaire une réaction chimique. Pour qu'une corrosion Y se développe, il faut:

- a) l'humidité,
- b) une certaine différence de potentiel entre le métal et l'électrolyte,
- c) une concentration minimale des ions de plomb.

Ces conditions sont satisfaites aussi bien pour les câbles nus que pour les câbles non armés qui ont une protection extérieure contre la corrosion, dès qu'ils sont posés dans le sol. Les canaux en fers zorès favorisent aussi le développement de la corrosion Y, tandis que les canalisations en tuyaux étanches y font obstacle. Si les canaux en béton n'excluent pas totalement la corrosion Y, du moins sont-ils préférables aux canaux en fers zorès pour deux raisons. Il s'est en effet révélé qu'un milieu modérément alcalin est peu agressif et que, par conséquent, le béton freine la corrosion interkristalline. De plus, un canal en béton est électriquement neutre alors que des potentiels différents apparaissent fréquemment aux joints des fers zorès, de sorte que des courants de compensation s'écoulent et passent partiellement par la gaine de plomb. Aux points de sortie du courant, la corrosion Y est accélérée de façon notable.

Les corrosions provoquées par l'effet de courants vagabonds – il importe peu pour le processus de corrosion lui-même qu'il s'agisse de courants vagabonds de chemins de fer, de courants galvaniques ou de courants ayant d'autres causes – n'apparaissent que lorsque du courant continu passe de la gaine de plomb dans les électrolytes avoisinants. Si les armures métalliques sont reliées à la gaine de plomb à des distances convenables, elles ont une influence aussi favorable que les canaux métalliques reliés de bout en bout. De même, les tuyaux en matière synthétique supprimeront la sortie du courant. En revanche, les tuyaux en béton et les canaux de briques en béton conduisent plutôt mieux le courant que le sol dans lequel ils sont posés et ne peuvent donc pas empêcher la sortie du courant et, partant, la corrosion électrolytique. En appréciant les cas de corrosion, il est important de savoir que, lors d'influence modérée de courants vagabonds, c'est-à-dire lors de décalages de potentiel de quelques centaines de millivolts, la corrosion Y ainsi accélérée peut complètement dominer l'image de la corrosion. C'est pourquoi, dans la pratique, on cherchera souvent en vain les formes de cratères typiques, même s'il appert de toute évidence qu'une influence

worden. Dann sind viele dieser Kanäle nicht nur Kabelkanäle, sondern gleichzeitig auch noch Drainageleitungen, die ständig oder zeitweise etwas Wasser führen und in der Folge leicht bis vollständig verschlammte sind. Wasser und Schlamm gelangen nicht nur durch die seitlichen Berührungsflächen der mit Klammern zusammengehaltenen Halbkanäle, sondern auch durch die Stossstellen ins Kanalinnere, deren Abstand entsprechend der Länge der Einzelstücke maximal 6 m beträgt. Durch den Einbau von Bogen, Abzweigstücken, Schutzmuffen usw. ist der mittlere Abstand der Stossstellen mancherorts aber oft noch kleiner. Trotzdem würden auch in den Zoreskanälen höchst selten Korrosionen auftreten, wenn in sie armierte und nicht unarmierte Kabel verlegt würden. Umgekehrt treten in den Rohrleitungen, auch wenn sie nicht trocken sind, kaum je Korrosionen auf, weil in diese Anlagen praktisch nur armierte Kabel eingezogen werden. Neuerdings werden nicht mehr Zoreskanäle mit einer Teer- oder Bitumschicht als Rostschutz verlegt, sondern feuerverzinkte Kanäle mit einer 0,1 mm dicken Zinkauflage. Hinsichtlich der Verschlammung und der Wasserführung wird diese Umstellung keine Änderung bringen, wohl aber in bezug auf die Potentialbeeinflussung. Werden nämlich die Kabel systematisch mit diesen neuen Kanälen verbunden, so erhält man einen wirksamen kathodischen Schutz, ähnlich jenem durch die verzinkten Zugdrähte bei armierten Kabeln. Während in den alten Kanälen die Korrosionen gefördert werden, weil die verrosteten Eisen im allgemeinen ein positiveres Potential aufweisen als die Bleimäntel, weil an den Stossstellen zudem häufig Ausgleichströme auftreten und weil die Klammern keine elektrische Durchverbindung gewährleisten, sind die neuen, verzinkten Kanäle in der Lage, selbst alte Kabel gegen eine weitere Korrosion wirksam zu schützen. Voraussetzung ist allerdings eine metallische Verbindung von Kabelmantel und Kanal.

3. Korrosionsanfälligkeit verschiedener Kabeltypen

Korrosionsbedingte Störungen treten praktisch immer nur an unarmierten Kabeln auf oder dann in Schächten und bei den Muffen, das heisst an Stellen, wo die Armierung entfernt ist. Früher glaubte man, das Phenol, das mit der Teerimprägnierung und den Gussmassen in die äussere Schutzhülle eines Kabels gelangt, sei die Ursache der interkristallinen Korrosion, und man nannte diese Korrosionsart deshalb «Phenolkorrosion». Ein striktes Verbot bei der Kabelfabrikation, Teer zum Imprägnieren und als Gussmasse zu verwenden, war die logische Folge dieser Ansicht. Leider blieb dieser Massnahme aber der erhoffte Erfolg versagt, und die Zahl der interkristallinen Korrosionsfälle nahm ständig zu. Nachdem man dann eine Zeitlang vermutete, selbst kleinste Spuren von Phenol könnten schädlich sein, ergaben neuere Untersuchungen [3], dass das Phenol nicht

des courants vagabonds est la cause primaire de la corrosion.

Dans notre réseau des câbles, les dégâts de loin les plus nombreux provoqués par la corrosion apparaissent dans les canaux en fers zorès, ce qui doit être attribué à différents motifs. D'une part, de très nombreuses installations en fers zorès ont été construites, d'autre part, nombre de ces canaux n'abritent pas uniquement des câbles mais font simultanément office de canalisations de drainage qui écoulent constamment ou temporairement un peu d'eau et qui, par la suite, se remplissent légèrement ou complètement de boue. L'eau et la boue ne pénètrent pas simplement à l'intérieur des canaux par les interstices latéraux des semi-canaux maintenus ensemble par des brides mais aussi par les joints, étant donné que la longueur maximale des canaux en fers zorès est de 6 mètres. Du fait du montage des coudes, des raccords d'embranchement, des manchons de protection, etc., la distance moyenne entre les joints est en maints endroits souvent encore plus petite. Malgré cela, les corrosions se produiraient très rarement dans les canaux en fers zorès, si ces derniers abritaient des câbles armés et non pas des câbles non armés. Inversement, on ne trouve pour ainsi dire pas de corrosions dans les canalisations en tuyaux, même si elles ne sont pas sèches, vu qu'on ne tire pratiquement que des câbles armés dans ces installations. Depuis peu, on ne pose plus de canaux en fers zorès avec couche de goudron ou de bitume antirouille mais des canaux zingués au feu ayant une couche de zinc de 0,1 mm d'épaisseur. Il convient de relever que cette transformation ne modifie nullement l'envasement et l'écoulement de l'eau, mais l'influence du potentiel. Si, en effet, les câbles sont reliés systématiquement à ces nouveaux canaux, on obtient une protection cathodique efficace, comparable à celle qu'assurent les fils de tirage zingués dans les câbles armés. Tandis que les corrosions progressent dans les anciens canaux, du fait que les fers rouillés ont généralement un potentiel plus positif que les gaines de plomb, qu'en outre des courants de compensation apparaissent fréquemment aux joints et que les brides n'assurent pas une continuité électrique, les nouveaux canaux zingués sont à même de protéger même d'anciens câbles contre une corrosion plus grave. Mais il est indispensable qu'une liaison métallique existe entre la gaine de câble et le canal.

3. Sensibilité à la corrosion de différents types de câbles

Les dérangements provoqués par la corrosion ne se produisent pratiquement que sur les câbles non armés ou alors dans les chambres et dans les manchons, c'est-à-dire aux endroits où l'armure est supprimée. On croyait autrefois que le phénol, qui pénètre dans l'enveloppe protectrice extérieure d'un câble avec l'imprégnation au goudron et les

nur die Ursache der nach ihm benannten Korrosionsform ist, sondern zusammen mit andern Teerstoffen befähigt ist, die interkristalline Korrosion zu hemmen [4]. Alte geteerte Kabel sind deshalb etwas beständiger, und die Korrosionsformen sind weniger ausgeprägt interkristallin (vgl. Fig. 1 und 2). Es war deshalb naheliegend, erneut auf das Teer zurückzugreifen, wenn auch nur bei den Imprägniermassen für das Papier und die Jute und nicht mehr bei den Gussmassen, wo Bitumen viele fabrikationstechnische Vorteile bietet. Durch die Wiedereinführung der Teerimprägnierung konnte auch die Verrottungsgeschwindigkeit der Papiere und besonders der Jute stark herabgesetzt werden.

Eine ganze Reihe von Versuchen hat aber auch die praktische Erfahrung erhärtet, dass Teer mit der Zeit seine guten Eigenschaften verliert, weil offenbar die aktiven Stoffe langsam ausgewaschen werden. Es galt daher, die Teerimprägnierung der Papiere, die der Bleioberfläche am nächsten liegt, möglichst auswaschsicher einzubauen. Um die Diffusion zu erschweren, liessen wir das geteerte Papier zwischen zwei Folienlagen aus Zellulosehydrat wickeln. Dass als Folienmaterial das nur sehr bedingt feuchtigkeitsbeständige Zellglas gewählt wurde, hat weniger technische als preisliche Gründe. Die Zellulosehydratfolie war praktisch das einzige Material, das bei genügender Reissfestigkeit für die Fabrikation im Wickelverfahren preisgünstig genug war, um allgemein eingesetzt werden zu können. Von 1960 bis und mit 1962 wurden dann Kabel mit folgendem Korrosionsschutz hergestellt:

Bleimantel, Bitumenschicht, Zellulosehydratfolie, teerimprägniertes Papierband, Zellulosehydratfolie, Bitumenschicht, teerimprägnierte Jute, Talkschiicht.

Diese Kabel haben sich bis anhin recht gut bewährt, indem erst vereinzelte korrosionsbedingte Störungen gemeldet wurden. Wir wissen aber, dass eine positive Potentialverschiebung um etwa 300 mV genügt, um bei diesen Kabeln auf dem Bleimantel schwere interkristalline Korrosionen auszulösen. Die Kabel mit zwei Folien aus Zellulosehydrat sind also nicht elektrolysenfest. Diesen Mangel vermochte auch eine Lackierung der Folien nicht zu beheben, obwohl dadurch die Überlappungsstellen etwas verklebt und der Diffusionswiderstand weiter vergrössert wurde. Wir suchten deshalb nach einer verbesserten Lösung, wobei wir gerne eine wasserbeständige Kunststoffolie verwendet hätten. Aber erst als es gelang, die Zellulosehydratfolie beidseitig mit Polyäthylen zu beschichten, stand uns ein Material zur Verfügung, das korrosionstechnisch befriedigte, für die Fabrikation keine grossen Probleme stellte und preislich tragbar war. Das neue Band hat eine viel geringere Wasserdurchlässigkeit und verklebt zudem an den Überlappungsstellen dauerhaft, falls beim Übergossen mit Bitumen von 130° C die Flächen satt aufeinanderliegen. Dass das neue Kabel aber noch weit besser ist,

masses de coulage, était la cause de la corrosion inter-cristalline; c'est pourquoi on appelait ce genre de corrosion «corrosion phénolique». On trouva tout logique d'interdire rigoureusement l'emploi du goudron pour l'imprégnation et comme masse de coulage dans la fabrication des câbles. Malheureusement, cette mesure n'apporta pas le succès escompté et le nombre des cas de corrosions inter-cristallines ne cessa d'augmenter. On supposa alors un certain temps que les traces mêmes les plus petites de phénol pouvaient être dangereuses, mais des analyses assez récentes [3] ont démontré que le phénol n'est non seulement pas la cause de la forme de corrosion désignée par son nom, mais que, en commun avec d'autres produits du goudron, il est à même d'enrayer la corrosion inter-cristalline [4]. C'est pourquoi les anciens câbles goudronnés sont un peu plus résistants et les formes de corrosion moins nettement inter-cristallines (cf. fig. 1 et fig. 2). Il était donc tout indiqué de revenir au goudron, quoique uniquement pour les masses d'imprégnation du papier et du jute et non plus pour les masses de coulage où le bitume offre de nombreux avantages techniques de fabrication. En réintroduisant l'imprégnation au goudron, on a aussi pu réduire sensiblement la rapidité de la décomposition des papiers et en particulier du jute.

Il est aussi vrai que toute une série d'essais sont venus étayer l'expérience pratique prouvant que le temps détruit les bonnes propriétés du goudron du fait que les matières actives sont, de toute évidence, lentement délavées. Il

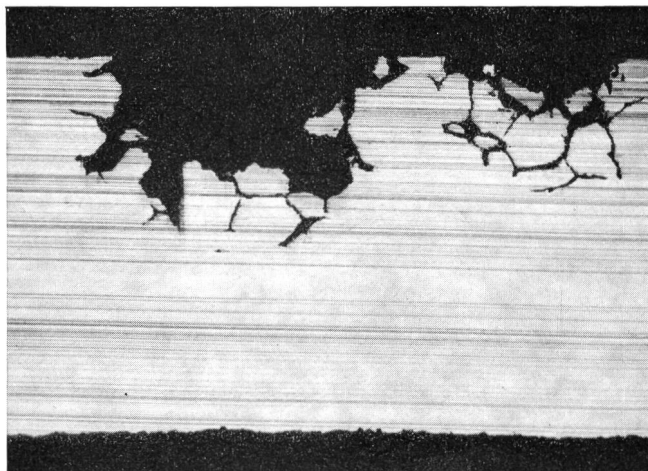


Fig. 1
Querschnitt durch einen Bleimantel mit ausgesprochen interkristalliner Y-Korrosion
Vergrösserung: 15 ×
Coupe à travers une gaine de plomb attaquée par une corrosion Y prononcée
Agrandissement: 15 ×

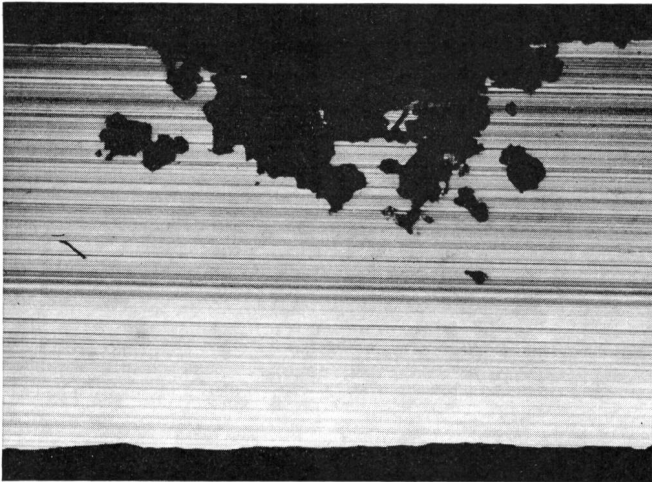


Fig. 2

Querschnitt durch den Bleimantel eines alten, mit Teer imprägnierten Kabels. Bei der abgebildeten Korrosionsstelle ist die interkristalline Korrosion durch Teerstoffe stark gehemmt worden, so dass keine Spalten, sondern Löcher und Kanäle entstanden sind. Dieses Korrosionsbild ist typisch für alte, mit Teer imprägnierte Kabel. Die Korrosionsgeschwindigkeit ist für den Fall einer Y-Korrosion mit interkristalliner Hemmung nur etwa halb so gross wie bei Kabeln mit Bitumenimprägnierung
Vergrösserung: 15 x

Coupe à travers la gaine de plomb d'un ancien câble imprégné au goudron. A l'endroit de la corrosion reproduit ici, la corrosion intercrystalline a été fortement freinée par des produits du goudron, de sorte qu'il ne s'est pas produit de fissures, mais des trous et des canaux. Cette image de la corrosion est caractéristique des anciens câbles imprégnés au goudron. Pour le cas d'une corrosion Y avec ralentissement intercrystallin, la vitesse de propagation de la corrosion n'est que de la moitié environ de celle des câbles imprégnés au bitume
Agrandissement: 15 x

als wir erwarten durften, haben wir einem günstigen Zufall zu verdanken. Es hat sich nämlich gezeigt, dass das zur Imprägnierung des Papiers und der Jute verwendete Teer langsam in das Polyäthylen hineindiffundiert und als Weichmacher wirkt. Das mit einer ziemlich grossen Überlappung gewickelte, beidseitig mit Polyäthylen beschichtete Band aus Zellulosehydrat verklebt in der Folge auch dort zu einem zähelastischen Schlauch, wo die Verklebung unter der Hitzeeinwirkung des Bitumengusses noch mangelhaft geblieben ist. Unsere Versuche und auch die Erfahrung seit der Einführung dieser Kabel anno 1963 haben bestätigt, dass der neue Typ – einwandfreie Fabrikation vorausgesetzt – nicht nur korrosionsfest bezüglich der Bodenfeuchtigkeit, sondern auch elektrolysenfest ist. Jetzt werden nicht nur die am stärksten korrosionsgefährdeten unarmierten, sondern alle Kabeltypen mit gewickelter Korrosionsschutz folgendermassen beschichtet (vgl. Fig. 3):

s'agissait donc de protéger le plus possible du délavage l'imprégnation au goudron des papiers qui se trouve la plus proche de la surface du plomb. A cet effet, le papier goudronné a été enroulé entre deux feuilles d'hydrate de cellulose qui, bien que très conditionnellement hydrofuge, a été choisi moins pour des motifs techniques que pour des raisons de prix. La feuille d'hydrate de cellulose était pratiquement le seul matériel qui, tout en ayant une résistance suffisante à la déchirure pour la fabrication selon le procédé d'enroulement, était d'un prix accessible pour pouvoir être employé d'une façon générale. De 1960 à 1962, des câbles ont été fabriqués avec la protection suivante contre la corrosion:

Gaine de plomb, couche de bitume, ruban d'hydrate de cellulose, ruban de papier imprégné au goudron, ruban d'hydrate de cellulose, couche de bitume, jute imprégné au goudron, couche de talc.

Jusqu'ici, ces câbles se sont très bien comportés, seuls des dérangements tout à fait isolés dus à la corrosion ayant été annoncés. Mais nous savons qu'un décalage de potentiel positif de quelque 300 mV suffit pour déclencher sur la gaine de plomb de ces câbles de graves corrosions intercrystallines. Les câbles munis de deux rubans d'hydrate de cellulose ne sont donc pas à l'abri de l'électrolyse et même un laquage des feuilles n'a pas réussi à éliminer cette déficience, bien que les chevauchements aient de ce fait été quelque peu collés et que la résistance à la diffusion ait été encore renforcée. C'est pourquoi nous avons continué de rechercher une solution nettement meilleure en envisageant d'employer une feuille en matière plastique étanche. Mais ce n'est que lorsque nous avons réussi à recouvrir de polyéthylène les deux côtés de la feuille d'hydrate de cellulose que nous avons obtenu un matériel qui répondait aux exigences de la prévention de la corrosion, ne posait pas de grands problèmes pour la fabrication et dont le prix était supportable. Le nouveau ruban est nettement moins perméable à l'eau et, en outre, colle solidement aux points de chevauchement lorsque les surfaces sont disposées régulièrement les unes sur les autres au moment du coulage du bitume à 130° C. Mais nous devons encore à un heureux hasard que le nouveau câble soit nettement meilleur que ce que nous pouvions espérer. Il s'est en effet révélé que le goudron, employé pour l'imprégnation du papier et du jute, diffuse lentement dans le polyéthylène et agit comme plastifiant. Le ruban d'hydrate de cellulose, recouvert des deux côtés de polyéthylène et enroulé avec un chevauchement assez grand, se soude par la suite pour former aussi un tuyau souple tenace là où le collage est encore resté imparfait sous l'effet de la chaleur de la coulée de bitume. Nos essais et aussi l'expérience acquise depuis l'introduction de ces câbles en 1963 ont confirmé que le nouveau type – sous réserve d'une

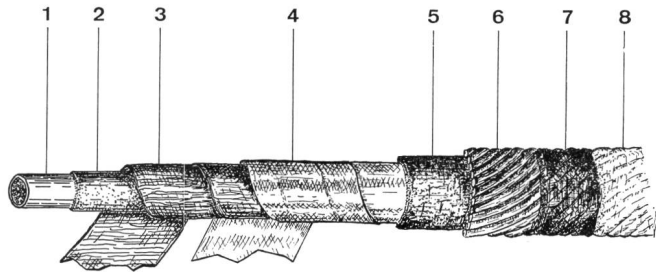


Fig. 3

Neuer Korrosionsschutz mit Bitumengüssen, teerimprägniertem Papier, teerimprägnierter Jute und einer beidseitig mit Polyäthylen beschichteten, überlappt gewickelten Folie aus Zellulosehydrat
Nouvelle protection contre la corrosion avec coulées de bitume, papier imprégné au goudron, jute imprégné au goudron et une feuille d'hydrate de cellulose recouverte de chaque côté d'une couche de polyéthylène et enroulée avec chevauchement.

- 1 Bleimantel
- 2 Bitumenguss (Bitumen mit Penetration 50–60, Temperatur ca. 130° C)
- 3 Überlappt gewickeltes, mit Teer imprägniertes Krepppapier
- 4 Überlappt gewickeltes Band aus Zellulosehydrat (0,02 mm), beidseitig mit je 0,02 mm Polyäthylen beschichtet
- 5 Bitumenguss
- 6 mit Teer imprägnierte Jute
- 7 Bitumenguss
- 8 Talkschiicht

Es sei aber nochmals betont, dass Korrosionen auf armierten Kabeln schon immer eine grosse Ausnahme bildeten und Schäden von der Art der Y-Korrosionen nur auf blanken oder unarmierten Kabeln aufgetreten sind. Wegen der Korrosionsbekämpfung bestand also kein zwingender Grund, auch die zugdraht- und bandarmierten Kabel mit dem neuen Korrosionsschutz zu versehen. Weil man eine einheitliche Fabrikation wünschte, weil in manchen Fällen erst nachträglich eine Armierung angebracht wird und weil die Kosten verhältnismässig gering sind, entschloss man sich trotzdem, den neuen Schutz für alle Kabeltypen einzuführen.

4. Bleiqualität und Korrosionsgeschwindigkeit

Zweifellos kann die Ermüdungsfestigkeit der Bleimäntel durch den Zusatz geeigneter Fremdmetalle, wie Antimon, Tellur, Silber, Kadmium und anderer, wesentlich verbessert werden. Haben derartige Bleilegierungen aber auch eine erhöhte Korrosionsbeständigkeit? Im Falle elektrolytischer Abtragungen bieten sie keinen Vorteil, denn der Korrosionsfortschritt ist bestimmt durch die je Flächen-

fabrication impeccable – ne résiste pas seulement à la corrosion due à l'humidité du sol mais aussi à l'électrolyse. Actuellement, tous les types de câbles, et non pas seulement les câbles non armés les plus exposés à la corrosion, sont recouverts de la protection enroulée contre la corrosion (cf. fig. 3):

- 1 Gaine de plomb,
- 2 Coulée de bitume (bitume à pénétration de 50–60, température d'environ 130° C),
- 3 Papier crêpé imprégné au goudron et enroulé avec chevauchement,
- 4 Ruban d'hydrate de cellulose (0,02 mm), recouvert de chaque côté d'une couche de polyéthylène de 0,02 mm, enroulé avec chevauchement,
- 5 Coulée de bitume,
- 6 Jute imprégné au goudron,
- 7 Coulée de bitume,
- 8 Couche de talc.

Il vaut la peine de souligner une nouvelle fois que les corrosions sur les câbles armés n'ont toujours constitué qu'une exception et que les dégâts de la nature des corrosions Y ne se sont produits que sur des câbles nus ou non armés. Dans la lutte menée contre la corrosion, il n'existait donc aucun motif impérieux de doter aussi de la nouvelle protection contre la corrosion les câbles armés de fils de tirage et de fers feuillards. Si on s'est néanmoins décidé à introduire la nouvelle protection pour tous les types de câbles, c'est parce qu'on désirait avoir une fabrication uniforme, que dans maints cas une armure n'est appliquée qu'après coup et que les frais sont relativement faibles.

4. Qualité du plomb et vitesse de progression de la corrosion

Il ne fait aucun doute que la résistance à la fatigue des gaines de plomb peut être sensiblement améliorée par l'adjonction de métaux étrangers appropriés, tels que l'antimoine, le tellure, l'argent, le cadmium, etc. Mais ces alliages de plomb offrent-ils aussi une résistance plus élevée à la corrosion? Dans le cas de décompositions électrolytiques, ils n'offrent aucun avantage, car la progression de la corrosion est déterminée par la charge transportée par unité de surface de la gaine de plomb dans les électrolytes. En revanche, les différentes qualités du plomb résistent diversement à la corrosion Y, ce qui s'explique par plusieurs raisons. Normalement, les grains des gaines de plomb allié sont particulièrement fins et le trajet que doit parcourir une corrosion longeant les limites des grains jusqu'à la perforation est beaucoup plus long que si des grains géants isolés, comme cela peut être le cas pour le plomb pur, traversent la paroi entière de la gaine de

einheit aus dem Bleimantel in den Elektrolyten übergetretene Ladung. Gegen Y-Korrosion sind dagegen die verschiedenen Bleiqualitäten unterschiedlich widerstandsfähig. Dies hat mehrere Gründe: Zunächst sind legierte Bleimäntel normalerweise besonders feinkörnig. Damit wird die Strecke, die eine den Korngrenzen folgende Korrosion bis zum Durchbruch zurückzulegen hat, viel grösser, als wenn einzelne Riesenkörner, wie dies bei Reinblei der Fall sein kann, die ganze Wandung des Kabelmantels durchsetzen. Reinbleimäntel mit grobkristallinem Aufbau sind deshalb besonders rasch durchkorrodiert. Ausgedehnte Laboratoriumsuntersuchungen haben ferner die praktische Erfahrung bestätigt, dass bei einigen Bleilegierungen gar keine interkristallinen Korrosionsformen auftreten. Typisch für dieses Verhalten sind zinnlegierte Kabelmäntel, sofern der Zinngehalt über 1 Prozent liegt. Die Theorie, nach welcher die interkristalline Korrosion die Korngrenzen deshalb bevorzugt angreift, weil die Randzone eines Kristallits stärker verunreinigt und deshalb elektronegativer ist als die Kernpartie, könnte auch erklären, warum bei gewissen Legierungen diese Potentialsteuerung nicht vorhanden ist. Wird nämlich Fremdmetall in grösseren Mengen zugesetzt, so können das Bleigitter und damit die Kristallite derart stark verunreinigt sein, dass der Unterschied von der Kern- zur Randzone nur noch klein ist. Die Grenzflächen werden sich vor allem dann nicht mehr wesentlich anders verhalten als die zentralen Partien, wenn die Fremdatome wenigstens teilweise ins Bleigitter eingebaut werden. Dies ist nun bei Zinn der Fall, was die ausgesprochene Widerstandsfähigkeit der zinnlegierten Bleimäntel erklären könnte. Die genaue Abklärung des Sachverhaltes ist indessen für uns nicht mehr so dringlich, seitdem wir einen preisgünstigen und trotzdem wirksamen Korrosionsschutz besitzen. Die Fragen der Ermüdungsfestigkeit können jetzt ohne Rücksicht auf das Korrosionsverhalten behandelt werden.

5. Korrosionsschutz mit Kunststoffen

Kunststoffe eignen sich ausgezeichnet, um Metalle vor Korrosionen zu schützen. Versuche mit Bandagen aus selbstklebenden Kunststoffbändern und mit extrudierten Kunststoffmänteln haben gezeigt, dass die meisten Kunststoffe einen sehr guten Korrosionsschutz ergeben, vorausgesetzt, dass die Hülle über dem Bleimantel keine Löcher, Risse, Fugen oder ähnliche Fehlstellen aufweist.

Sollte dies aber trotzdem einmal der Fall sein, sei es, weil der Mantel beim Einziehen verletzt wurde, ein naher Blitzschlag eine Brandstelle bewirkt hat, im Kunststoff spontan Risse entstanden sind oder aus irgendeinem andern Grund, so kann unter Umständen eine sehr rasch fortschreitende Korrosion auftreten. Weist nämlich der Bleimantel ein ungünstiges Potential auf, so wird an der nicht mehr geschützten Stelle ein Strom mit besonders hoher

câble. C'est pourquoi les gaines de plomb pur à structure cristalline grossière sont corrodées très rapidement. Des recherches faites sur une grande échelle en laboratoire ont, en outre, confirmé l'expérience pratique, à savoir qu'aucune forme de corrosion intercrystalline n'apparaît sur quelques alliages de plomb. Les gaines de câbles à alliage d'étain sont caractéristiques de ce comportement, en tant que la teneur en étain est supérieure à un pour cent. La théorie, voulant que la corrosion intercrystalline attaque de préférence les limites des grains du fait que la zone marginale d'un cristallite est beaucoup plus impure et, partant, plus électronégative que la partie nucléaire, pourrait aussi expliquer pourquoi ce régime de potentiel n'existe pas dans certains alliages. Si de plus grandes quantités de métal étranger sont ajoutées, le réseau de plomb et ainsi les cristallites peuvent être rendus si impurs que la différence entre le noyau et la zone marginale devient petite. Les surfaces limites ne se comporteront surtout plus de façon notablement différente des parties centrales si les atomes d'impureté sont tout au moins partiellement incorporés au réseau de plomb. Etant donné que c'est le cas pour l'étain, cela pourrait expliquer la capacité de résistance prononcée des gaines de plomb à alliage d'étain; mais nous ne sommes plus aussi pressés de tirer au clair cette question depuis que nous possédons une protection contre la corrosion efficace, malgré son prix avantageux. Les questions de la résistance à la fatigue peuvent, à présent, être traitées sans égard au comportement à la corrosion.

5. Protection contre la corrosion au moyen de matières synthétiques

Les matières synthétiques sont spécialement indiquées pour protéger les métaux contre la corrosion. Des essais réalisés avec des bandages de rubans en matière synthétique adhésifs et avec des gaines en matière synthétique extrudées ont démontré que la plupart des matières synthétiques fournissent une très bonne protection contre la corrosion, sous réserve que l'enveloppe protégeant la gaine de plomb n'ait ni trous, ni fissures, ni joints, ni déficiences analogues.

Si cela devait néanmoins se présenter une fois ou l'autre, soit que la gaine ait été endommagée lors du tirage, qu'un coup de foudre rapproché ait provoqué un point de brûlure, que des fissures se soient produites spontanément dans la matière synthétique ou pour tout autre motif, une corrosion progressant très rapidement peut éventuellement apparaître. La gaine de plomb a-t-elle un potentiel défavorable, un courant à densité superficielle particulièrement élevé passera de la gaine dans les électrolytes à l'endroit qui n'est plus protégé. S'agissant d'enveloppes protectrices à structure combinée de bandages et de masses coulées,

Flächendichte vom Bleimantel in den Elektrolyten übertreten. Bei Schutzhüllen mit einem kombinierten Aufbau aus Bandagen und Gussmassen besteht immer die Möglichkeit, dass sich ein kleines Loch schliesst und ein grösseres durch die Korrosionsprodukte ausgeweitet wird, wodurch sich die Stromstärke je Flächeneinheit bei sonst gleichen Bedingungen erheblich vermindert.

Um bei kunststoffummantelten Kabeln ähnliche Bedingungen zu erhalten, haben wir mit Erfolg zwischen Bleimantel und Kunststoffschlauch eine viskose Zwischenschicht einbauen lassen. Kleinere Leckstellen werden so durch die ausgepresste Masse selbständig abgedichtet.

Trotzdem hatten den kunststoffummantelten Kabeln immer noch einige Nachteile an. So wird bei einem gewöhnlichen Kabel die Jute beim Einziehen rasch gestrafft. Ein Kunststoffmantel ist dagegen derart leicht verformbar, dass er praktisch überhaupt keine Zugkraft übernehmen kann. Bei kunststoffummantelten Kabeln ist man deshalb genötigt, das Bündel ebenfalls unter Zug zu nehmen, was indessen keine weiteren Nachteile mit sich bringt. Schwerwiegender ist der Umstand, dass manche Kunststoffe in der Kälte spröde werden. Dies ist einer der Gründe, weshalb wir auch zur Aussenbeschichtung fast nur noch Polyäthylen verwenden, das genügend kältefest ist. Bleibt noch die Frage der Erdung. Bei kunststoffummantelten Kabeln sind die Übergangswiderstände natürlich besonders hoch. Leitende Kunststoffqualitäten würden dieses Problem elegant eliminieren, aber neben der oft schlechten Alterungsstabilität steht der allgemeinen Einführung der hohe Preis dieser Materialien entgegen. Auch bei Verwendung der nichtleitenden Qualitäten würde eine Verteuerung entstehen, die immer noch so hoch ist, dass sie die allgemeine Verwendung von Kunststoffmänteln als Korrosionsschutz verunmöglicht. Es ist aber zu hoffen, dass bei der fallenden Tendenz der Kunststoffpreise die Zeit naht, da Bitumenbad und Teerküche endgültig aus dem Areal einer Kabelfabrik verbannt werden können.

Bibliographie

- [1] *Hadorn E. und Hainfeld R.* Aus der Kabelfehlerstatistik 1957-1966. Techn. Mitt. PTT 1969, Nr. 11, S. 456...474.
- [2] *Vögtli K.* Probleme der Bleikorrosion (14. Mitteilung): Potentialverschiebungen und interkristalline Bleikorrosion. Techn. Mitt. PTT 1962, Nr. 9, S. 324...331.
- [3] *Vögtli K. und Brühlmann R.* Probleme der Bleikorrosion (12. Mitteilung): Die korrosive Wirkung stark verdünnter, wässriger Phenollösungen. Techn. Mitt. PTT 1962, Nr. 4, S. 117...122.
- [4] *Künzler H. und Vögtli K.* Probleme der Bleikorrosion (9. Mitteilung): Die korrosionshemmende Wirkung von Teeren und anderen Stoffen. Techn. Mitt. PTT 1959, Nr. 3, S. 81...96.

il est toujours possible qu'un petit trou se ferme et qu'un plus grand s'élargisse sous l'effet des produits de corrosion, l'intensité de courant par unité de surface diminuant sensiblement dans des conditions par ailleurs identiques.

Pour obtenir des conditions analogues sur les câbles à gaine en matière synthétique, nous avons fait insérer avec succès une couche intercalaire visqueuse entre la gaine de plomb et le tuyau en matière synthétique. Les petits points de fuites sont automatiquement bouchés par la masse pressée.

Malgré cela, les câbles à gaine en matière synthétique présentent toujours quelques inconvénients. Si, par exemple, le jute d'un câble ordinaire se tend rapidement lors du tirage, une gaine en matière synthétique est, en revanche, si facilement déformable qu'elle ne supporte en pratique absolument aucune force de traction. C'est pourquoi, pour les câbles à gaine en matière synthétique, on est obligé de mettre également le faisceau sous traction, ce qui n'entraîne toutefois aucun autre inconvénient. Plus grave est le fait que le froid rend cassantes maintes matières synthétiques, ce qui est un des motifs pour lesquels nous n'employons pour la couche extérieure plus que du polyéthylène qui résiste assez bien au froid. Reste encore la question de la mise à la terre. Les câbles à gaine en matière synthétique ont naturellement des résistances de passage spécialement élevées. Des matières synthétiques à qualités conductrices élimineraient ce problème de façon élégante, mais, outre la stabilité souvent mauvaise due au vieillissement, le prix élevé de ces matières est un obstacle à leur introduction générale. Même en employant les qualités non conductrices, on se heurterait à un renchérissement si élevé qu'il serait impossible d'utiliser les gaines en matière synthétique comme protection contre la corrosion. Il faut espérer que, les prix des matières synthétiques ayant tendance à baisser, on arrivera à bannir le bain de bitume et la « cuisine » au goudron des câbleries.

Bibliographie

- [1] *Hadorn E. et Hainfeld R.* Statistique des défauts de câbles de 1957 à 1966. Bull. techn. PTT 1969, N° 11, p. 455...474.
- [2] *Vögtli K.* Problèmes de la corrosion des câbles sous plomb (14^e communication): Décalage de potentiel et corrosion intercrystalline au plomb. Bull. techn. PTT 1962, N° 9, p. 324...331.
- [3] *Vögtli K. et Brühlmann R.* La corrosion des câbles sous plomb (12^e communication): L'action corrosive de solutions phénoliques aqueuses très diluées. Bull. techn. PTT 1962, N° 4 p. 117...122.
- [4] *Künzler H. et Vögtli K.* Problèmes de la corrosion des câbles sous plomb (9^e communication): L'action anticorrosive des goudrons et autres produits. Bull. techn. PTT 1959, N° 3, p. 81...96.