

Wie erkennt man Art und Ursache der Schäden an Bleikabeln? [Schluss] = Comment reconnaît-on le genre et les causes des détériorations des câbles sous plomb? [Suite et fin]

Autor(en): **Sandmeier, F.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Technische Mitteilungen / Schweizerische Telegraphen- und Telephonverwaltung = Bulletin technique / Administration des télégraphes et des téléphones suisses = Bollettino tecnico / Amministrazione dei telegrafi e dei telefoni svizzeri**

Band (Jahr): **22 (1944)**

Heft 6

PDF erstellt am: **25.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-873130>

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.

Wie erkennt man Art und Ursache der Schäden an Bleikabeln?

Von F. Sandmeier, Bern.

(Schluss.) 621.315.2.004.6

Ist die Summe aus Polarisationsspannung und Spannungsabfall in der Metallmasse gleich oder grösser als die Klemmenspannung des Elementes, so nimmt der Strom den Weg durch den Boden, die Metallmasse wird nicht beeinflusst; im anderen Fall dagegen wirkt sie als Zwischenleiter (41). Ob das eine oder das andere eintritt, hängt von der Natur des Metalles und des Elektrolyten ab; unter günstigen Bedingungen kann die Wirkung des Elementes verstärkt werden.

Der Strom im Bleimantel des chemisch korrodierenden Kabels kann beträchtliche Werte annehmen. Es sind Fälle bekannt, wo Mantelströme bis 100 mA und austretende Ströme bis 6 mA/dm² vorkamen. Die Stromstärke ist abhängig von der Grösse der als Elektrode wirkenden Fläche des Bleimantels. Durch Versuche wurde im telegraphentechnischen Reichsamt Berlin festgestellt, dass an einem Kabel ein Strom von 70 mA auf 100 m Länge auftreten kann (36).

Die Vermutung liegt nahe, dass die Ströme, die infolge Elementwirkung eines chemisch korrodierenden Kabels in einem benachbarten Kabel fliessen, hier, wie auch an der Austrittsstelle des ersten Kabels, als Fremdströme, elektrolytische Korrosion verursachen. An die Stelle des korrodierenden Kabels könnte auch der korrodierende Kabelkanal treten. Solche Fälle wurden bis jetzt nicht nachgewiesen. Die Klärung dieser Frage bildet eine Aufgabe der nächsten Zeit.

Eine weitere Möglichkeit der Elementbildung ergibt sich allgemein aus der Verwendung eiserner Kabelkanäle samt Zubehör. Die Gefahr der Elementbildung durch unsere Zoreskanäle wurde wiederholt zur Frage gestellt, kann aber heute noch nicht beantwortet werden. Auch sie bildet eine Aufgabe, deren Lösung in der nächsten Zeit gesucht werden soll. Es verhält sich damit kurz folgendermassen: Grundsätzlich sind Blei und Eisen geeignet, ein Element zu bilden, da sie verschiedene elektrochemische Normalpotentiale besitzen. Blei zeigt gegen die Wasserstoffelektrode $-0,12$ V, Eisen $0,43$ V (zweiwertig) und $0,04$ V (dreiwertig). Wenn Streifen beider Metalle mit *blanker Oberfläche* in einen Elektrolyten gestellt werden, z. B. in gewöhnliches Leitungswasser, ist Blei zunächst negativ gegen das Eisen und zeigt etwa $0,14$ V. Bald beginnt die Oberfläche sich zu oxydieren (weil im Wasser Luft gelöst ist), die Spannung nimmt ab, geht durch Null und erreicht in etwa zwei Stunden den positiven Endwert von etwa $0,22$ V. Mit anderen Elektrolyten verläuft der Versuch langsamer oder schneller und ergibt andere Spannungswerte; grundsätzlich ist das Resultat dasselbe. Das Eisen oxydiert natürlich auch; massgebend ist aber die Oxydierung des Bleies. Wenn man dafür sorgt, dass der Elektrolyt *am Blei* sauerstofffrei ist, bleibt das Blei negativ gegen Eisen (36).

Comment reconnaît-on le genre et les causes des détériorations des câbles sous plomb?

Par F. Sandmeier, Berne.

(Suite et fin.) 621.315.2.004.6

Si la somme de la tension de polarisation et de la chute de tension dans la masse métallique est égale ou supérieure à la tension aux bornes de l'élément, le courant passera par le sol, et la masse métallique ne sera pas influencée; dans le cas contraire, la masse fonctionnera comme conducteur intermédiaire (41). Quant à savoir lequel des deux cas se produira, cela dépend de la nature du métal et de l'électrolyte; si les conditions sont favorables, l'effet de l'élément pourra être accru.

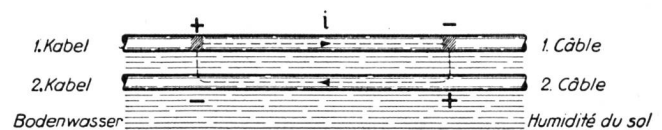


Fig. 3.

Le courant circulant dans la gaine de plomb du câble attaqué par la corrosion chimique peut atteindre des valeurs considérables. On connaît des cas où ce courant atteint jusqu'à 100 mA et le courant sortant jusqu'à 6 mA/dm². L'intensité du courant dépend de la grandeur de la surface de la gaine de plomb agissant comme électrode. Des essais auxquels a procédé le „Telegraphentechnisches Reichsamt“ ont démontré que le courant circulant sur une longueur de câble de 100 m peut atteindre une valeur de 70 mA (36).

Or, on pourrait aussi supposer que les courants qui, par l'effet d'élément d'un câble attaqué chimiquement circulent dans un câble voisin, produisent ici comme au point de sortie du premier câble une corrosion électrolytique à cause de leur caractère de courants étrangers. Il se pourrait aussi que le caniveau corrodé se substitue au câble attaqué par la corrosion. De tels cas n'ont pas été constatés jusqu'à ce jour. Cette question devra être éclaircie dans les prochains temps.

Les canalisations en fer avec tous leurs accessoires favorisent également la formation d'éléments. On s'est souvent demandé si l'emploi de nos caniveaux zorés n'impliquait pas le danger de formation d'éléments; il n'est pas encore possible de répondre à cette question qui, elle aussi, fera l'objet de prochaines études. A ce sujet, il y a lieu de faire remarquer ce qui suit: D'une façon générale, le plomb et le fer peuvent former entre eux un élément, vu que leurs potentiels électrochimiques normaux sont différents. Vis-à-vis de l'électrode hydrogène, le plomb accuse $-0,12$ V, le fer $-0,43$ V (bivalent) et $-0,04$ V (trivalent). Si l'on place des lames des deux métaux avec leur *surface décapée* dans un électrolyte, p. ex. dans de l'eau prise au robinet, le plomb est d'abord négatif contre le fer et montre environ $0,14$ V. Peu après, la surface commence à s'oxyder (parce que de l'air se trouve à l'état dissous dans l'eau), la tension

Da das Blei praktisch immer oxydiert ist, muss man annehmen, es sei im Falle der Elementbildung positiv gegen das Eisen; es müsste also das Eisen zerlegt werden, nicht das Blei. In der Tat findet man bei Untersuchungen häufig grössere Stellen, an denen der Bleimantel mit Eisenrost bedeckt ist. Da diese Stellen noch von der unversehrten Papier-Jute-Umhüllung bedeckt sind, kann der Rost nicht etwa vom rostigen Zoresisen mechanisch auf das Blei gestreift worden sein — dagegen spricht auch schon die Verteilung und Anordnung der Rostflecken —, sondern er muss von elektrolytisch auf dem Blei niedergeschlagenem (und dann gerostetem) Eisen herkommen. Es wurde denn auch schon vor Jahren nachgewiesen, dass z. B. die Folgen einer Elementbildung aus einem Kabelmantel und einem eisernen Pupinkasten nicht zu fürchten sind (42).

2. 3. 2. 3. Tellurische Ausgleichsströme.

Eine dritte, ernst zu nehmende Ursache der elektrolytischen Korrosion sind, neben Streuströmen elektrischer Anlagen und Elementströmen, die tellurischen Ausgleichsströme, d. h. Ströme, die infolge von Schwankungen des magnetischen Erdfeldes und von luftelektrischen Vorgängen im Boden fließen. Es sind also Induktionsströme. Sie sind wohl noch jedem Telegraphisten aus der Zeit des „eindrätigen“ Telegraphenbetriebes in Erinnerung.

Es ist z. Z. noch nicht bekannt, welcher Anteil an Kabelschäden auf diese Ursache fällt.

2. 3. 2. 4. Innenkorrosion.

Bei den meisten Kabelschäden, die in der jüngsten Zeit näher untersucht wurden, war der Bleimantel auf der Innenseite, in der Umgebung des Defektes, stärker oder schwächer elektrolytisch angegriffen. Die Ursache ist die geerdete Betriebsbatterie der Automaten- oder der ZB-Zentrale, an die das Kabel angeschlossen ist.



Fig. 4.

Sobald der Bleimantel als Folge eines Angriffs, gleichgültig welcher Art, so durchlöchert ist, dass die Bodenfeuchtigkeit eindringen kann, beginnt die Umhüllung der Adern und der Aderbündel — trockene Papierstreifen und Baumwollbänder — sich mit Wasser, d. h. der Salz- oder Säurelösung, dem Elektrolyten, vollzusaugen. Das System Batterie-Kabeladern-Bleimantel bildet eine Zelle, wie aus Fig. 4 ersichtlich ist (die eingeschalteten Apparate sind weggelassen); die Zerstörung nimmt ihren Lauf, und zwar wird, genau wie vorauszusehen war, sowohl der Bleimantel als auch der mit dem positiven Pol der Batterie verbundene Draht angegriffen.

Diese Art der elektrolytischen Korrosion ist deshalb bemerkenswert, weil die Verhältnisse genau überblickt werden können und somit jeden Zweifel ausschliessen. Sie führt rasch zu Betriebsstörungen, die

diminuit, passe par zéro et atteint au bout d'environ deux heures la valeur finale positive d'environ 0,22 V. Avec d'autres électrolytes, l'essai est plus long ou plus court et donne d'autres valeurs de tension; en principe, le résultat est cependant le même. Le fer s'oxyde naturellement aussi; mais c'est l'oxydation du plomb qui importe. Si l'on fait en sorte que l'électrolyte n'accuse pas d'oxygène *au plomb*, le plomb reste négatif contre le fer (36).

Le plomb étant pratiquement toujours oxydé, on doit admettre qu'en cas de formation d'un élément il est positif contre le fer; c'est donc le fer qui devrait se décomposer et non le plomb. Lors d'essais, on observe en effet souvent que d'assez grandes places de la gaine de plomb accusent de la rouille. Comme ces places sont encore recouvertes de l'enveloppe intacte de papier et de jute, la rouille ne peut pas avoir été déposée mécaniquement depuis le fer zorès rouillé sur le plomb — la répartition et la disposition des taches de rouille s'opposent à cette hypothèse — mais elle doit provenir du fer déposé par l'électrolyse sur le plomb et qui, ensuite, s'est rouillé. Il y a déjà un certain nombre d'années, on constata qu'on ne devait pas craindre les suites résultant de la formation d'un élément entre la gaine de plomb et les caissons Pupin en fer (42).

2. 3. 2. 3. Courants telluriques d'équilibrage.

Une troisième cause sérieuse de la corrosion électrolytique, en plus des courants vagabonds d'installations électriques et des courants formés par des éléments, sont les courants telluriques d'équilibrage, c'est-à-dire les courants engendrés dans le sol par les variations du champ magnétique terrestre et les phénomènes électriques de l'air. Il s'agit donc de courants d'induction. Les télégraphistes qui, autrefois, travaillaient sur des lignes „à un fil“ s'en souviennent certainement.

Actuellement, on ne connaît pas encore la part que ces courants peuvent avoir dans les dommages causés aux câbles.

2. 3. 2. 4. Corrosion intérieure.

Dans toutes les détériorations de câbles qui ont été examinées ces derniers temps, la surface intérieure de la gaine de plomb était plus ou moins rongée par l'électrolyse aux environs de la place endommagée. La cause est due à la batterie reliée à la terre du central automatique ou du central BC auquel le câble est raccordé.

Dès que la gaine de plomb est percée, du fait d'une attaque quelconque, à tel point que l'humidité du sol pénètre à l'intérieur du câble, l'enveloppe des conducteurs et des faisceaux de conducteurs — rubans de papier sec et de coton — s'imprègne petit à petit d'eau, c'est-à-dire de dissolutions salines ou acides formant l'électrolyte. Le système batterie — conducteurs de câble — gaine de plomb constitue une cellule d'électrolyse, comme on le voit dans la fig. 4 (les appareils connectés n'y figurent pas); la désagrégation suit son cours et, comme il était à prévoir, non seulement la gaine de plomb est attaquée, mais aussi le fil relié au pôle positif de la batterie.

Ce genre de corrosion électrolytique est intéressant parce que les conditions sous lesquelles elle se produit sont claires et excluent par conséquent tout doute

durch die primäre Ursache, z. B. eine geringfügige mechanische Beschädigung, noch längere Zeit nicht entstanden wären.

2. 3. 2. 5. Wechselstromkorrosion.

Bei dem bis jetzt über elektrolytische Korrosion Gesagten wurde stillschweigend angenommen, die Ströme seien konstant oder ändern ihre Stärke, nicht aber ihre Richtung. Was geschieht nun, wenn vagabundierende Wechselströme streckenweise den Kabelmantel als Leitungsweg benützen?

Häufig wird angenommen, dass Wechselströme der gebräuchlichen Frequenzen keine Korrosionen hervorrufen, da die Ionenwanderungsgeschwindigkeit zu klein sei. Beobachtungen in der Praxis und Ergebnisse von Laboratoriumsversuchen führten aber zu einem gegenteiligen Schluss. Die Diskrepanz der Meinungen rührt wohl davon her, dass die Anfangsbedingungen nicht immer genügend berücksichtigt werden. So wurde z. B. gefunden, dass die Grenzfrequenz, bei der Korrosion zu befürchten ist, für Eisen bei 15 Hz, für Blei dagegen bei über 60 Hz liegt (43). Die Netzfrequenz 50 Hz ist somit für Bleikabel als gefährlich anzusehen.

Aus zahlreichen Publikationen geht hervor, dass die Korrosion durch Wechselströme keineswegs vernachlässigt werden darf (44, 45). Es wurde sogar Korrosion durch Hochfrequenz nachgewiesen, was anscheinend durch eine Gleichrichtwirkung des Korrosionsproduktes bewirkt wird (46, 47).

Zu der Gefährdung durch Wechselströme als solche und der Gleichrichtwirkung durch das Korrosionsprodukt tritt noch die Möglichkeit der Gleichrichtwirkung durch den Boden. Vielleicht bringt die nächste Zeit auch in dieser Frage Aufschluss.

3. Interkristalline Korrosion.

Die Bezeichnung „interkristalline Korrosion“ hat wohl schon oft Anlass zu Irrtümern gegeben. Wie schon unter 2. 2. 5 gesagt wurde, ist die Anwendung des Ausdrucks auf Ermüdungsbrüche durchaus falsch. Dies geht schon aus der Definition der Korrosion als „von der Oberfläche ausgehend“ oder „mit Gewichtsverminderung verbunden“ hervor.

Aber auch bei echten Korrosionen kann der interkristalline Angriff nicht als besondere Korrosionsart bezeichnet werden. Es gilt als wissenschaftlich erwiesen, dass jede Korrosion interkristallin, d. h. an den Korngrenzen beginnt (48, 49). Bei der Bleikorrosion ist dies besonders stark ausgeprägt und häufig von freiem Auge sichtbar bei elektrolytischen Anfressungen und bei der chemischen Korrosion unter Mitwirkung von Phenol als Katalysator.

Korrosionen mit bevorzugt interkristallinem Angriff sollen also folgerichtig dort eingereiht werden, wo sie ihrer Natur und ihrer Ursache nach hingehören.

4. Korrosionsschutz.

Vieles wurde bis jetzt als Schutzmassnahme vorgeschlagen, manches wurde ausprobiert, aber keine der Massnahmen zeitigte unbedingten Erfolg. Technisch wäre die Frage leicht zu lösen, nämlich durch die Verwendung von praktisch absolut wasserdichten Rohrkanälen. Dass ihre Verwendung sich aus wirtschaftlichen Gründen verbietet, ist bereits gesagt worden (siehe auch 27).

sur le genre de la corrosion, et parce qu'elles provoquent rapidement des dérangements d'exploitation qui, de longtemps, n'auraient pas été occasionnés par la cause primaire seule, p. ex. par une détérioration mécanique peu importante.

2. 3. 2. 5. Corrosion par courants alternatifs.

Dans ce qui a été dit ci-haut sur la corrosion électrolytique, il était sous-entendu que les courants étaient constants ou que leur intensité se modifiait mais non leur sens. Que se passe-t-il lorsque des courants alternatifs vagabonds utilisent sur certains parcours la gaine de plomb comme conducteur?

On admet généralement que les courants alternatifs aux fréquences habituelles ne provoquent pas de corrosion, la vitesse de propagation des ions étant trop minime. Les observations faites dans la pratique et les recherches de laboratoire prouvent le contraire. Les divergences d'opinion à ce sujet proviennent probablement de ce qu'on ne tient pas toujours suffisamment compte des conditions initiales. On a, p. ex., reconnu que la fréquence-limite à laquelle la corrosion peut se produire est de 15 Hz pour le fer et, par contre, de 60 Hz pour le plomb (43). La fréquence de 50 Hz du courant-réseau doit donc être considérée comme présentant du danger pour les câbles sous plomb.

Il ressort de nombreuses publications qu'on ne doit nullement négliger la corrosion par les courants alternatifs (44, 45). Il a même été prouvé que la corrosion pouvait être provoquée par la haute fréquence, ce qui, fort probablement, est dû à l'effet redresseur des produits formés par la corrosion (46, 47).

Au danger provoqué par des courants alternatifs comme tels ou par suite de l'effet redresseur des produits de la corrosion s'ajoute celui de la possibilité de l'effet redresseur par le sol. Peut-être les prochains temps apporteront-ils la lumière aussi à ce sujet.

3. Corrosion interkristalline.

La désignation de „corrosion interkristalline“ a déjà souvent donné lieu à des erreurs. Comme nous l'avons déjà fait remarquer sous 2. 2. 5, l'emploi de ce terme pour des ruptures dues à la fatigue est erroné, ce qui résulte déjà de la définition de la corrosion précisant „qu'elle part de la surface“ ou „qu'elle est caractérisée par une diminution du poids“.

Mais aussi dans la corrosion véritable, l'attaque interkristalline ne peut pas être considérée comme étant un genre spécial de la corrosion. Il a été prouvé par la science que chaque corrosion commence par un phénomène interkristallin, c'est-à-dire à la limite du grain (48, 49). Dans la corrosion du plomb, ce phénomène est particulièrement apparent, et il est visible à l'œil nu en cas de corrosion électrolytique et de corrosion chimique produite par l'intermédiaire du phénol comme catalyseur.

En conséquence, la corrosion provenant notamment d'attaques interkristallines doit être rangée logiquement là où, de par sa nature et ses causes, elle doit être placée.

4. Protection contre la corrosion.

Une multitude de choses ont été proposées jusqu'à ce jour comme mesures de protection; certaines de ces mesures ont été essayées, mais aucune n'a donné

Da einerseits eine eingehende Behandlung der Schutzmassnahmen nicht zum Ziel dieser Arbeit gehört, andererseits aber gewisse Massnahmen die Korrosion in einzelnen Fällen fördern können, seien die bekanntesten Schutzmassnahmen im folgenden nur kurz erwähnt.

4. 1. Die Kabelumhüllung.

Die Notwendigkeit einer Umhüllung der in die Erde verlegten Leitungen wird treffend durch den folgenden Ausspruch charakterisiert: „Ebenso wie ein schwer bewaffneter Gegner, der sich aber nicht bewegen kann, nicht zu fürchten ist, so bedeutet an sich die Tatsache eines stark angreifenden Bodens nichts, wenn die angreifenden Stoffe nicht die Gelegenheit haben, an den anzugreifenden Werkstoff heranzukommen“ (50).

Diese Gelegenheit soll in erster Linie durch die Kabelumhüllung, die zugleich den ersten mechanischen Schutz bietet, ausgeschaltet werden. Die Kabelumhüllung besteht bei uns gegenwärtig aus drei Lagen Papierband und einer Lage Jutegarn. Früher benützte man Stoffbänder anstatt Papier. Beide, Papier und Jute, sind mit Asphalt getränkt und auf dem Bleimantel festgeklebt. Was geschieht, wenn man Teer anstatt Asphalt verwendet, wurde bereits unter 2. 3. 1. 4 gesagt. Aber auch bei Verwendung von reinem Asphalt ist der Korrosionsschutz problematisch. Einmal ist (kompakter) Asphalt nicht ganz wasserdicht, wenn auch besser als Teer. Sodann ist die Imprägnierung von Papier und Jute nie vollkommen, beide bleiben bis zu einem gewissen Grade saugfähig. Schliesslich gelingt es anscheinend nicht, und das ist der schwächste Punkt des Verfahrens, den Bleimantel faktisch lückenlos mit dem Papierband zu verkleben; es bleiben immer „hohle Stellen“, d. h. luffterfüllte Räume zwischen Blei und Papier. Wie lange eine solche Kabelhülle dem Eindringen von Wasser Widerstand leistet, zeigt der folgende Versuch:

Ein Stück neuen Kabels wurde in Leitungswasser getaucht und der Widerstand zwischen Wasser und Blei gemessen. Er betrug:

Am Anfang	15,2	Megohm
Nach 2 Stunden	3,4	„
Nach 12 Stunden	0,006	„

Das Wasser hatte also schon nach zwei Stunden die Umhüllung teilweise durchdrungen und nach 12 Stunden den Bleimantel vollständig benetzt (0,006 Megohm = 6000 Ohm betrug der Widerstand des Wassers).

Die Wirkung einer restierenden Saugfähigkeit der imprägnierten Jute lässt sich in vielen Fällen an der Form der Anfressungen beweisen; die Freßstellen folgen genau den spiraligen Windungen des Jutegarns, wie in einem II. Teil der Abhandlung gezeigt wird.

Schliesslich dauert die, wenn auch geringe, doch immerhin vorhandene Schutzwirkung der Jute nicht lange. Die Jutefaser verwest im feuchten Boden ziemlich leicht, trotz der Imprägnierung. An älteren Kabeln ist die Umhüllung oft völlig verrottet, ohne dass der Bleimantel korrodiert wäre.

des résultats pouvant être considérés comme succès absolu. Au point de vue technique, la question pourrait être facilement résolue par l'usage de canalisations en tuyaux absolument étanches. Nous avons déjà dit plus haut que leur emploi exclusif se heurtait à des raisons d'ordre économique (voir aussi 27).

Vu que le présent exposé n'a pas pour but de traiter à fond la question des mesures de protection à envisager, et que, d'autre part, certaines mesures sont même appelées à favoriser la corrosion dans des cas bien déterminés, nous mentionnerons ci-après brièvement les mesures de protection les plus connues.

4. 1. Les enveloppes des câbles.

La nécessité de munir d'une enveloppe les câbles à placer dans le sol est très bien caractérisée par les mots suivants: „Tout comme un adversaire armé jusqu'aux dents mais qui ne peut se mouvoir n'est pas à craindre, l'existence d'un sol corrosif ne signifie en lui-même rien si les substances corrosives n'ont pas de possibilité d'accès vers la matière attaquable“ (50).

Cette possibilité doit être exclue en premier lieu par l'enveloppe du câble qui, en même temps, assure la première protection mécanique. L'enveloppe de nos câbles est actuellement constituée par trois couches de papier et une couche de jute. Autrefois, on utilisait des rubans de coton au lieu de papier. Le papier et le jute sont imprégnés d'asphalte et sont collés sur la gaine de plomb. Nous avons dit sous 2. 3. 1. 4 ce qui se produit lorsqu'on utilise du goudron au lieu d'asphalte. Même si l'on emploie de l'asphalte pur, la protection contre la corrosion reste problématique. L'asphalte (compacte) n'est pas étanche, bien qu'il le soit davantage que le goudron. D'autre part, l'imprégnation du papier et du jute n'est jamais parfaite; ces deux matières restent perméables jusqu'à un certain degré. Enfin, et ceci est le point le plus faible du procédé, il ne paraît pas possible de coller absolument sans interstices le ruban de papier sur la gaine de plomb; il restera toujours des creux, c'est-à-dire des espaces d'air entre le plomb et le papier. L'essai suivant montre combien de temps une enveloppe de ce genre résiste à la pénétration de l'eau:

Un bout d'un câble neuf fut trempé dans de l'eau et l'on mesura la résistance entre l'eau et le plomb. Elle fut:

de 15,2 mégohms au début,
de 3,4 „ après 2 heures d'immersion
et de 0,006 „ après 12 heures d'immersion.

Donc au bout de deux heures l'eau avait pénétré en partie dans l'enveloppe, et après douze heures elle avait complètement mouillé la gaine de plomb (la résistance de l'eau était de 0,006 mégohms = 6000 ohms).

L'effet de la perméabilité qu'accuse encore le jute se reconnaît dans de nombreux cas d'après la forme de la corrosion; les parties rongées suivent exactement les spires du jute, comme nous le montrerons dans la deuxième partie de notre exposé.

En outre, la protection par le jute est relativement faible et ne dure pas longtemps. Les filaments du jute se décomposent assez vite dans le sol humide, bien qu'ils soient imprégnés. L'enveloppe de vieux câbles est souvent complètement pourrie, sans que la gaine de plomb accuse des marques de corrosion.

Die Unzulänglichkeit der Juteumhüllung wurde schon früh erkannt; in Amerika scheint sie vor mehr als zwanzig Jahren aufgegeben worden zu sein (35). Ein besserer Ersatz, zu einem wirtschaftlich tragbaren Preis, wurde, trotz verschiedener Vorschläge, noch nicht gefunden. Das C. C. I. empfiehlt z. B. „Denso“-Binden (51). Es ist dabei nicht zu vergessen, dass es schwer hält, durch Wickelbänder einen dichten Abschluss zu erzielen, weil die Kapillarwirkung der Ueberlappungsstellen nur durch Verschweissen oder Verleimen ausgeschaltet werden könnte.

Es kann hier bemerkt werden, dass Bestrebungen im Gange sind, durch Kunstharzüberzüge den gesuchten wasserdichten und elektrisch isolierenden Abschluss zu erzielen. Vielleicht hört man in der nächsten Zeit mehr davon.

4. 2. *Die Armierung.*

Die Armierung mit Stahldrähten oder -bändern dient in erster Linie dem mechanischen Schutz. Es wurde aber auch schon festgestellt, dass die Armierung verzögernd auf die chemische Korrosion wirkt, indem sie die Jute zusammenpresst und so das Eindringen der Bodenfeuchtigkeit erschwert (36).

4. 3. *Kabelkanäle.*

Da der ideale Kabelkanal, ein praktisch absolut wasserdichtes Rohr, in den meisten Fällen aus wirtschaftlichen Gründen nicht in Frage kommt, muss man sich mit Konstruktionen zweiter Güte behelfen. Eine solche stellt unser Zoreskanal dar. Er bietet guten mechanischen Schutz, verhindert die direkte Berührung der Kabel mit dem Erdboden und übt zudem eine dritte Funktion aus, nämlich die Abschirmung der Kabel gegen elektromagnetische Störfelder. Seine Nachteile liegen weniger in der Möglichkeit der Elementbildung Eisen-Blei als in der Konstruktionsart. Längs- und Querfugen können naturgemäss praktisch nicht gedichtet werden und gestatten somit den Eintritt von Bodenwasser, Schlamm und, worauf hier besonders aufmerksam gemacht werden soll, von Luft, also den zur Korrosion nötigen Gasen Sauerstoff und Kohlensäure.

Der Zoreskanal ist ein typischer Kompromiss zwischen Schutzwirkung und Wirtschaftlichkeit. Er ist in unserem Kabelnetz seit rund 60 Jahren im Gebrauch und hat in dieser Zeit verschiedene Konkurrenten gefunden, aber keinen, der ihn verdrängen konnte.

4. 4. *Chemische Abwehrmittel.*

Das Gegenstück zu den Katalysatoren, den Beschleunigern chemischer Reaktionen (siehe 2. 3. 1. 4), bilden die Verzögerer; ihre Anwesenheit wirkt hemmend auf den Ablauf chemischer Prozesse. Es lag nahe, solche Stoffe zum Korrosionsschutz heranzuziehen. Versuche haben ihre Wirksamkeit bewiesen. Die Anwendung geschah in der Weise, dass verzögernd wirkende Stoffe mit Fett vermischt auf den Bleimantel geschmiert wurden (5). Da diese Stoffe aber durch das Bodenwasser weggelöst werden, ist ihre Wirkung zeitlich begrenzt.

Auch die Bildung örtlicher Elemente mit Blei und einem unedleren Metall, z. B. Zink, wobei das Zink korrodiert und das Blei intakt bleibt, sowie Ver-

On a reconnu depuis longtemps l'insuffisance de l'enveloppe de jute; il semble qu'en Amérique on l'ait abandonnée depuis plus de 20 ans (35). Malgré les propositions diverses qui surgirent, on n'a pas encore trouvé une matière de remplacement dont le prix serait acceptable. Le C.C.I. recommande p. ex. l'emploi de bandes „Denso“ (51). Mais on ne doit pas oublier qu'il est toujours difficile d'obtenir une obturation parfaite au moyen de rubans dont on enroule la gaine de plomb, parce qu'on ne peut supprimer la capillarité des bords superposés qu'en les soudant ou en les collant.

Remarquons ici qu'actuellement des recherches sont en cours en vue d'obtenir une enveloppe imperméable et isolante au moyen de résine artificielle. Peut-être aurons-nous, dans les prochains temps, des nouvelles à ce sujet.

4. 2. *L'armure.*

L'armure en fils ou en rubans d'acier sert avant tout de protection mécanique. Toutefois on a aussi constaté qu'elle ralentissait la corrosion chimique parce qu'elle enserre le jute et rend ainsi l'infiltration de l'humidité du sol plus difficile (36).

4. 3. *Caniveaux de câbles.*

Le caniveau idéal, soit un tuyau absolument hermétique, n'entrant dans de nombreux cas pas en considération pour des raisons d'ordre économique, on doit avoir recours à des constructions de deuxième qualité. Notre caniveau zorès est une construction de ce genre. La protection mécanique qu'il offre est bonne, elle empêche le contact direct du câble avec le sol et exerce en outre une troisième fonction, soit le blindage des câbles contre les champs électromagnétiques perturbateurs. Ses désavantages consistent moins dans la possibilité de la formation d'un élément fer-plomb que dans le genre de sa construction. Les joints longitudinaux et transversaux ne peuvent naturellement pas être rendus étanches; l'eau et le limon peuvent y accéder et — nous devons attirer l'attention spécialement sur ce fait — aussi l'air, par conséquent l'oxygène et l'acide carbonique, c'est-à-dire les gaz nécessaires au processus de la corrosion.

Le caniveau zorès est un compromis typique entre ses effets à considérer aux points de vue de la protection et de l'économie. Nous l'utilisons dans notre réseau des câbles depuis 60 ans environ; durant cette époque il a eu plusieurs concurrents, mais aucun qui aurait pu le supplanter.

4. 4. *Moyens chimiques de protection.*

L'effet contraire à celui produit par les catalyseurs — les accélérateurs des réactions chimiques (voir 2. 3. 1. 4) — est obtenu par des substances retardant ces réactions; leur présence entrave le processus chimique. Il semblait indiqué d'utiliser de telles substances pour protéger les câbles contre la corrosion. Des essais ont prouvé leur efficacité. Leur emploi eut lieu de telle manière qu'on mélangea des substances retardatrices avec de la graisse dont on enduisit la gaine de plomb (5). Mais comme ces substances sont détachées et emportées par l'eau du sol, leur efficacité n'est pas durable.

On a aussi proposé de former des éléments locaux avec du plomb et un métal plus commun, p. ex. le zinc, où le zinc serait attaqué par la corrosion et où

zinkung des Bleimantels wurden vorgeschlagen (22). Da die Schutzwirkung aber nur so lange anhält, als Zink vorhanden ist, bleibt auch hier ein Dauererfolg aus.

4. 5. Schutz gegen vagabundierende Ströme.

Die Massnahmen gegen den Einfluss vagabundierender Ströme haben sich auf die Stromquelle und auf das gefährdete Objekt zu erstrecken. Eine Massnahme an der Stromquelle ist z. B. die Verbesserung der Schienenverbindungen bei elektrischen Bahnen, am gefährdeten Kabel die Vergrösserung des Leitungswiderstandes durch Einschalten von isolierenden Muffen in den Kabelmantel. Ein drittes Hilfsmittel ist die sog. elektrische Drainage, eine Verbindung des gefährdeten Kabelmantels mit den streuenden Schienen. Es kann hier nicht näher auf die Wirkungsweise dieser elektrischen Schutzmassnahmen eingegangen werden.

Ein interessanter Vorschlag ist die Verwendung des sog. Elektronenfilters (52). Es beruht auf der Tatsache, dass die Leitung der Elektrizität in einem Leiter erster Klasse, z. B. einem Metall, in einem Elektronenaustausch, in einem Leiter zweiter Klasse dagegen in einer Ionenwanderung besteht und dass bei der Elektrolyse durch den Strom nicht das Metall, sondern der Elektrolyt zersetzt wird, dessen eines Zersetzungsprodukt dann das Metall angreift. Das Elektronenfilter besteht aus einer Schicht eines isolierenden, dichten und chemisch widerstandsfähigen Materials, z. B. Gummi, das mit einem leitenden und chemisch ebenfalls indifferenten Stoff, z. B. Graphit, durchsetzt ist und auf diese Weise wohl den Elektronen, nicht aber den Ionen den Durchgang gestattet. Ueber Anwendung und Erfolg ist noch wenig bekannt.

Mit dem Vorstehenden soll nun das Nötigste über die Art der Kabelschäden, ihre Ursachen und ihre Bekämpfung gesagt sein. In einem zweiten Teil sollen die Merkmale und die Möglichkeiten ihrer Erkennung behandelt werden.

le plomb resterait intact, ou même de galvaniser la gaine de plomb au zinc (22). L'effet protecteur ne durant qu'aussi longtemps qu'il y a du zinc, on n'obtient pas d'effet durable non plus par ce procédé.

4. 5. Protection contre les courants vagabonds.

Les mesures contre l'influence des courants vagabonds doivent être appliquées à la source du courant et à l'objet en danger. Les mesures à prévoir à la source du courant consistent p. ex. à améliorer les joints des rails des chemins de fer électriques et à augmenter la résistance électrique du câble en insérant des manchons isolants dans la gaine de plomb. Un troisième moyen consiste à procéder au drainage électrique en reliant la gaine de plomb du câble aux rails d'où partent les courants vagabonds. Nous ne pouvons, ici, nous étendre sur la manière dont ces mesures de protection électrique agissent.

Une proposition intéressante prévoit l'usage de filtres électroniques (52). Elle est basée sur le fait que, dans un conducteur de première classe, p. ex. un métal, la circulation du courant électrique a lieu par un échange d'électrons, tandis que dans un conducteur de deuxième classe, elle se produit par un mouvement des ions; en outre, dans l'électrolyse ce n'est pas le métal qui est décomposé par le courant, mais l'électrolyte dont l'un des produits de décomposition attaque alors le métal. Le filtre électronique est constitué par une couche d'une matière isolante, étanche et résistante aux influences chimiques, p. ex. du caoutchouc entremêlée d'une substance conductrice également indifférente aux actions chimiques, p. ex. du graphite, et qui, de la sorte, donne passage aux électrons mais non aux ions. Les résultats obtenus par l'emploi de cette matière sont encore peu connus.

L'exposé ci-haut résume les indications les plus importantes sur le genre des dommages subits par les câbles, leurs causes et la lutte entreprise pour les combattre. Dans une deuxième partie, nous nous occuperons de leurs caractéristiques et des possibilités de les reconnaître.

Literaturnachweis — Bibliographie.

- (1) N. Goldowski: Ueber den Verlauf der Korrosion an Hand von Kontaktphotographien. *Korr. u. Metallsch.* 12 (1936) 108.
- (2) C. C. I. Weissbuch, Bd. II bis (1936) 105.
- (3) O. Hähnel: Eine neue Art von Bleikabelkorrosion. *El. Nachr. Techn.* 2 (1925) 74.
- (4) O. Hähnel: Bleikabelkorrosion. *El. Nachr. Techn.* 3 (1926) 97.
- (5) W. G. Radley and C. E. Richards: The Corrosion of Underground Cables. *Journ. of the Inst. of El. Eng.* 85 (1939) 685.
- (6) E. Archbutt: Fehler in der Bleihülle von Telegraphenkabeln. *The Metal Industry* 18 (1921) 341.
- (7) Koch und Kienzle: *Handwörterbuch der gesamten Technik.* Stuttgart 1935, Deutsche Verlagsanstalt.
- (8) O. Hähnel: Die interkristalline Brüchigkeit des Bleies. *Ztschr. f. Metallk.* 19 (1927) 492.
- (9) F. Müller: Grundlagen und Verfahren der neueren Korrosionsforschung. *Ztschr. V. D. I.* 82 (1928) 841.
- (10) E. K. O. Schmidt: Korrosionsforschung. *Ztschr. V. D. I.* 74 (1930) 953.
- (11) M. Straumanis: Die elektrochemische Theorie der Korrosion der Metalle. *Korr. u. Metallsch.* 9 (1933) 1.
- (12) E. Rabald: *Werkstoffe und Korrosion.* Leipzig, 1931, Spamer.
- (13) A. de la Rive, *Ann. chim., phys.* 43 (1830) 425.
- (14) W. Palmaer: Eine Schnellprüfungsmethode bei Korrosionsuntersuchungen. *Korr. u. Metallsch.* 12 (1936) 139.
- (15) W. J. Müller: Zur Theorie der Korrosionserscheinungen IV., *Korr. u. Metallsch.* 12 (1936) 132.
- (16) W. J. Müller: Die Grundlagen der Theorie der Metallkorrosion. *Korrosion V.* 1936, Berlin V. D. I.
- (17) Bauer, Kröhnke u. Masing: *Die Korrosion metallischer Werkstoffe.* Leipzig 1936, Hirzel.
- (18) U. R. Evans: *Die Korrosion der Metalle.* Zürich 1926, Orell Füssl.
- (19) M. Straumanis: Ueber den Einfluss des Sauerstoffs auf das Potential von Lokalkathoden. *Korr. u. Metallsch.* 12 (1936) 148.
- (20) A. Burkhardt: Einfluss von geringen Beimengungen auf das Verhalten von Weichblei gegen Säuren. *Metallwirtsch.* 10 (1931) 181.
- (21) J. C. Chaston: Eigenschaften der Kabelmäntel aus Blei und Bleilegerungen. *Elektr. Nachrichtenwesen* 13 (1934/35) 41.
- (22) O. Hähnel: Die Korrosion des Rheinlandkabels. *Ztschr. f. Werk- u. Gerätebau* 4 (1923) 35/49.
- (23) F. Lehmann: Chemische Korrosion von Bleikabeln. *Ztschr. f. Werk- u. Gerätebau* 7 (1926) 15.
- (24) O. Hähnel: Chemische Korrosion des Bleies in der Erde. *El. Nachr. Techn.* 5 (1928) 171.
- (25) H. W. Chem. App. 1926, Beil. „Korrosion“, 24.
- (26) H. Pallmann: E.T.H.-Tagung für Landesplanung 1924. Zürich, Gebr. Lehmann & Cie.
- (27) E. da Fano: Die katalytische Wirkung des Phenols bei der Korrosion der Bleikabel. *Telegr. u. Fernspr. Techn.* 21 (1932) 267.
- (28) W. Kordatzki: *Taschenbuch der praktischen pH-Messung.* München 1934. Müller & Steinicke.

- (29) J. Mahul: Corrosions possibles dans le contact du plomb avec les matériaux du bâtiment. La technique moderne 29 (1937) 383/414.
- (30) Jahresbericht des Niederländischen „Zentralen Korrosionsausschusses“ über das Jahr 1932. Korr. u. Metallsch. 9 (1933) 179.
- (31) Bericht der niederländischen Korrosionskommission III zum Studium der Anfressung von Kabeln durch den Einfluss des Bodens. Korr. u. Metallsch. 9 (1933) 205.
- (32) A. Schneider und E. Jenninger: Ueber den Angriff von Blei durch Benzolwaschöl. Gas u. Wasserfach 1923, 369.
- (33) O. Hähnel: Ueber die Widerstandsfähigkeit verschiedener Gebrauchsmetalle gegen die angreifende Wirkung der Dämpfe von Phenol und Kresol. Korr. u. Metallsch. 8 (1932) 260.
- (34) H. Bourquin: Korrosionen an Bleikabeln. Bulletin S.E.V. 29 (1938) 398.
- (35) Die Elektrolyse von Bleikabeln. The Electrical Review, 92 (1923) 432.
- (36) O. Hähnel: Beitrag zur Frage der Korrosion von Bleikabeln durch vagabundierende Ströme. El. Nachr. Techn. 4 (1927) 106.
- (37) Generalsekretariat des S.E.V.: Die Korrosion durch Erdströme elektrischer Bahnen. Bulletin S.E.V. 9 (1918) 135.
- (38) Besig, Buschbaum, Eindley, Michalke, Otto: Erläuterungen zu den Vorschriften zum Schutz der Gas- und Wasserröhren gegen schädliche Einwirkungen der Ströme elektrischer Gleichstrombahnen, die die Schienen als Leiter benützen. E.T.Z. 32 (1911) 511.
- (39) C. F. Meyerherm: Stray Earth Currents Increased by Salt. Electric Railway Journal 65 (1925) 881.
- (40) O. Hähnel: Eine interessante Bleikabelkorrosion. Elektr. Nachr. Techn. 2 (1925) 330.
- (41) H. Danneel: Elektrochemie IV, Berlin 1928 (Götschen).
- (42) T. D. F. Messmer: Korrosionen am Fernkabel Berlin-Hannover. Telegr. u. Fernspr. Techn. 10 (1921) 117.
- (43) Untersuchungen über Elektrolyse durch Wechselstrom. El. u. Masch. 34 (1916) 410. Ref. über: B. Mc Collum and G. H. Ahlborn in: Proceed. Am. Inst. El. Ing., March 1916.
- (44) St. Jellinek: Ueber Wechselstromkorrosion. El. u. Masch. 52 (1934) 577.
- (45) H. Hohn: Ueber Wechselstromkorrosion. El. u. Masch. 52 (1934) 580.
- (46) E. Maass u. V. Duffek: Untersuchungen über den Einfluss von Hochfrequenzstrom auf die Korrosion von Eisen. Korr. u. Metallsch. 10 (1934) 85.
- (47) M. Smialowski: Ueber den Einfluss von Wechselströmen auf die Korrosion der Metalle in wässrigen Lösungen. Korr. u. Metal sch. 10 (1934) 166.
- (48) V. Kohlschütter: Topochemische Züge in den Korrosionserscheinungen. Korr. u. Metallsch. 12 (1936) 118.
- (49) F. O. Anderegg and R. V. Achatz: Self Corrosion of Lead Cable Sheath. Bulletin No. 18, Engineering Experiment Station. Purdue University Lafayette Indiana 1924.
- (50) C. M. Tiemersma-Wichers: Die Untersuchung von Böden in Beziehung zum Korrosionsschutz von Röhren gegen Aussenkorrosion. Korr. u. Metallsch. 16 (1940) 39.
- (51) C.C.I. Bericht d. Studienkommission Nr. 27 über die 4. Plenarsitzung v. 13. bis 18. Januar 1936.
- (52) J. Borel: Protection des canalisations métalliques souterraines contre les corrosions électrolytiques par le filtre électronique. Bulletin S. E. V. 28 (1937) 54.

(Eingegangen am 15. Februar 1944.)

Klein-Hauszentralen nach dem Relaisystem.

Von E. Georgii, Zürich.

621.395.722:621.395.344
621.395.344

In den letzten zwei Jahrzehnten wurden nicht nur im Aufbau der öffentlichen Telephonämter, sondern auch im Aufbau der Hauszentralen grosse Fortschritte erzielt. Die Automatisierung in den privaten Betrieben hat parallel mit derjenigen der öffentlichen Aemter immer mehr an Boden gewonnen und erstreckt sich heute bis auf die Erfassung von Kleinstanlagen mit einer Zahl von 5 Teilnehmern. Die Entwicklung nahm diesen Verlauf zum wesentlichen Teil infolge der Uebernahme der Teilnehmeranlagen durch die PTT. Damit konnte auch die die Montage und den Unterhalt erschwerende Zweiteilung des Leitungsnetzes und der Stationen aufgegeben und durch ein Einschleifennetz, sowie einfache Stationen, ersetzt werden. Im folgenden sei kurz auf den Gang der Entwicklung bis zu den heutigen Klein-Hauszentralen hingewiesen.

Infolge der Automatisierung setzte man die vorhandenen handbedienten Vermittlungseinrichtungen, soweit sie für die Herstellung der internen Hausverbindungen eingerichtet waren, ausser Betrieb und gebrauchte nur noch den für die Vermittlung des Telephonverkehrs mit den Teilnehmern des öffentlichen Amtes bestimmten Teil der Zentrale. Für den Hausverkehr trat an Stelle der Handvermittlung die Automatik. Das bedeutete für den Betrieb schon eine grosse Erleichterung, denn der interne Hausverkehr belastete die Vermittlungseinrichtung und damit das Bedienungspersonal am stärksten. Nicht

Petits centraux domestiques du système à relais.

Par E. Georgii, Zurich.

621.395.722:621.395.344
621.395.344

Au cours des vingt dernières années, de grands progrès ont été réalisés non seulement dans la construction des centraux téléphoniques publics, mais aussi dans celle des centraux domestiques. L'automatisation des installations privées s'est étendue de plus en plus, parallèlement à l'automatisation des installations publiques, et englobe même aujourd'hui les petites installations comptant 5 abonnés. Ce développement est dû en grande partie au fait que les PTT ont repris les installations d'abonnés, ce qui a permis, entre autres, de supprimer la division en deux du réseau des lignes et des stations, qui compliquait le montage et l'entretien, et de la remplacer par un réseau à un seul lacet avec des stations simples. Dans l'exposé qui suit, nous décrirons brièvement les phases de ce développement jusqu'au stade actuel des petits centraux domestiques.

A la suite de l'automatisation, on mit hors service les installations commutatrices manuelles existantes, en tant qu'elles servaient à établir les communications internes, et l'on n'utilisa plus que la partie du central servant à l'écoulement du trafic avec les abonnés du réseau public. Pour la correspondance interne, l'automatique remplaça l'exploitation manuelle, ce qui soulagea considérablement le service car la correspondance interne était celle qui chargeait le plus les installations commutatrices et par conséquent le personnel les desservant. La correspondance avec les abonnés du réseau public en souffrait fréquem-