

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

Herausgeber: Schweizerische Telegraphen- und Telephonverwaltung

Band: 23 (1945)

Heft: 5

Artikel: Wie erkennt man Art und Ursache der Schäden an Bleikabeln? = Comment reconnaît-on le genre et les causes des détériorations des câbles sous plomb?

Autor: Sandmeier, F.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-873198>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 27.03.2026

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

nous de voir, il est possible de coupler ce système de résonance mécanique à un circuit électrique. En taillant le cristal suivant des axes bien définis, on obtient une résonance pour une fréquence bien déterminée. La lamelle de quartz vibrera seulement pour cette fréquence-là. Si une telle lamelle de quartz est introduite dans un circuit parcouru par un courant alternatif dont la fréquence est voisine de la fréquence de résonance du quartz, on peut la considérer comme équivalente aux réseaux électriques suivants (figure 15), dont le graphique de réactance est donné en dessous. Une valeur positive de la réactance correspond à une inductance pure, alors qu'une valeur négative correspond à une capacité. Le point f_R où la réactance coupe l'axe des fréquences correspond à la fréquence de résonance, alors que la fréquence pour laquelle elle devient infinie correspond à l'autre résonance f_A . Des éléments pareils sont utilisés dans les filtres en forme de treillis, tels qu'ils sont représentés à la figure 16a; la figure 16b donne le circuit en pont équivalent.

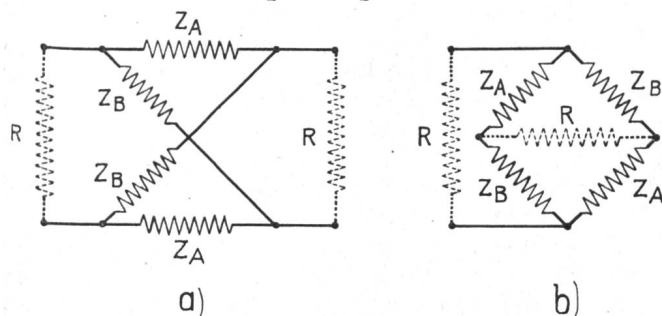


Fig. 16.

Dans un tel réseau, l'affaiblissement est nul si Z_A et Z_B sont de signes contraires, autrement dit si l'un des bras est une inductance pure et l'autre une capacité pure. Au contraire, pour avoir un affaiblissement très grand, il faut que $Z_A = Z_B$ c'est-à-dire que les inductances ou les capacités des deux bras soient égales. Ces conditions peuvent être réalisées au moyen de cristaux de quartz constituant les bras

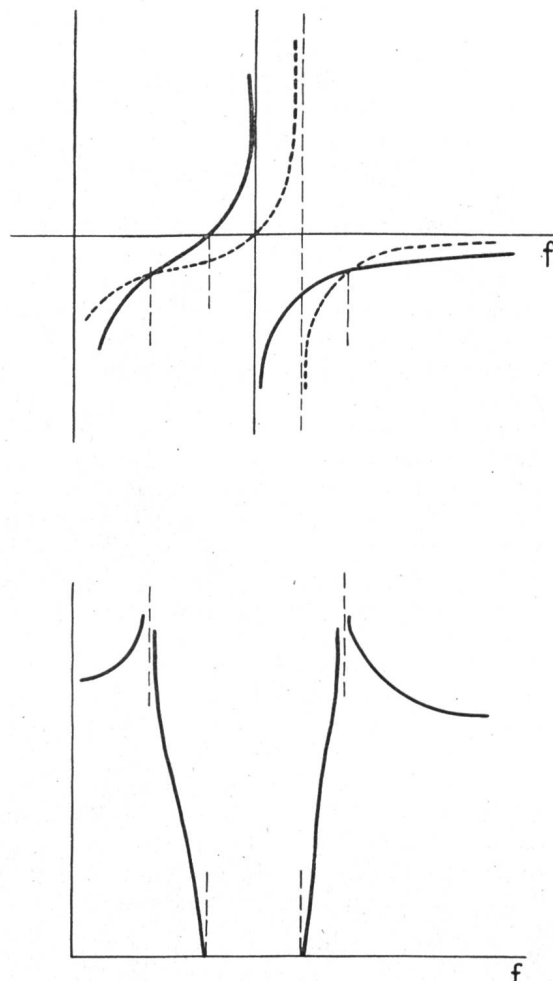


Fig. 17.

Z_A et Z_B , à condition que la fréquence d'anti-résonance d'un bras coïncide avec la fréquence de résonance de l'autre, c'est-à-dire que le point f_A d'un bras corresponde au point f_R de l'autre. Ceci est illustré à la figure 17 où l'on a indiqué également la courbe d'affaiblissement qui en résulte. (à suivre)

Wie erkennt man Art und Ursache der Schäden an Bleikabeln?*)

Von F. Sandmeier, Bern. 621.315.2.004.6

II. DIE UNTERSUCHUNG DER KABEL- SCHÄDEN.

1. Gang der Untersuchung.

Der Gang der Untersuchung richtet sich naturgemäß ganz nach den Umständen. Wenn z. B. bei Bauarbeiten vom Unternehmer gemeldet wird, es sei durch die Unvorsichtigkeit eines Arbeiters ein Kabel beschädigt worden, bedarf es weiter keiner Untersuchung. Ähnlich verhält es sich bei Terrainbewegungen, bei Rutschungen, Felssturz usw., kurz in allen Fällen, in denen der Schaden offen zutage tritt.

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

Par F. Sandmeier, Berne. 621.315.2.004.6

II. RECHERCHES SUR LES DÉTÉRIORATIONS DE CABLES.

1. Procédé des recherches.

Le procédé qui est à la base des recherches dépend entièrement des circonstances. Si, p. ex., un entrepreneur signale au cours de travaux de construction que, par inadvertance, un de ses ouvriers a endommagé un câble, des recherches ne sont dans ce cas nullement nécessaires. Il en est de même si la détérioration est due à des mouvements de terrain, à des éboulements, des chutes de rochers, etc., soit dans tous les cas où le dommage est visible. Mais lorsqu'un

*) I. Teil siehe Techn. Mitt'". Schweiz. Telegr.- u. Teleph.-Verw. 1944, Nr. 5, S. 187—201 u. Nr. 6, S. 231—237.

* I^e partie voir Bull. techn. Adm. suisse télégr. et téléph. 1944, No 5, p. 187 à 201 et No 6, p. 231 à 237.

Lässt dagegen eine infolge sinkenden Isolationswiderstandes drohende oder bereits eingetretene Betriebsstörung auf einen „nichtgemeldeten“ Kabelfehler schliessen, so muss die Fehlerstelle durch Eingrenzen gesucht werden. Das Kabel wird durch Aufgraben oder durch Aufdecken eines Schachtes blossgelegt und hier setzt nun die eigentliche Fehleruntersuchung ein. Vor allem wird man danach trachten, festzustellen, ob mechanische Beschädigung oder Korrosion vorliegt. Häufig trifft man beide Arten an. Die Untersuchung vollzieht sich dann beispielsweise nach dem folgenden Schema:

- a) Feststellen der äusseren Umstände;
Zustand des Kabels an der Fehlerstelle und in ihrer Umgebung;
Zustand der Umhüllung;
Zustand des Kabelkanals, Vorhandensein von Wasser und Schlamm im Kanal oder Schacht;
Beschaffenheit und Zustand des Bodens.
- b) Entnahme von Proben, wenn der Fall im Laboratorium untersucht werden muss: Kabelabschnitte, Stücke des Bleimantels, Proben der Umhüllung, der Armierung, Stücke des Kabelkanals, Proben von Schlamm, Wasser und Boden und eventuell abgefallene Korrosionsprodukte.
- c) Untersuchung im Laboratorium;
mikroskopische Untersuchung des Bleimantels, besonders der Fehlerstellen, sowie des Korrosionsproduktes und des Bodens, chemische Nachweise, Analysen, metallographische Bearbeitung.
- d) Messung der Erd- und Mantelströme und -spannungen, Nachforschung nach den Quellen etwa vorhandener Fremdströme.
- e) Umfrage zur Abklärung der Einwirkung von Abwässern, Düngemitteln, Gasen usw.

Bei der Probenahme ist darauf zu achten, dass möglichst wenig am Material verändert wird. Wasser-, Schlamm- und Bodenproben müssen in einwandfrei saubere Gefässe gesammelt werden. Der Bleimantel soll nicht „gereinigt“ werden; jedes unnötige Stochern und Bohren in den Freßstellen ist zu vermeiden. Wenn mit der Nadel oder Ahle festgestellt werden muss, ob man den Fehler, z. B. eine Durchlöcherung infolge Korrosion, gefunden hat, ist, nebst der angebohrten Fehlerstelle, soviel Blei mit Angriffstellen wegzunehmen, dass genügend solcher Freßstellen „im Originalzustande“ vorhanden sind, sofern sich dies nicht aus Betriebs- oder anderen Gründen verbietet. Als Regel gilt: Lieber mehr als weniger. An einigen Quadratzentimetern Bleimantel mit einem ausgebohrten Loch, oder an einem grösseren Stück Kabel, das unter Zuhilfenahme der Lötlampe „gereinigt“ oder gar mit dem Messer geschabt wurde oder an dem die Freßstellen sonstwie entsteht, oder mit Asphalt und Stearin verschmiert sind, lässt sich eine erfolgreiche Untersuchung schwer oder gar nicht durchführen.

2. Merkmale der Kabelschäden.

Fabrikationsfehler und nachträgliche *mechanische Beschädigungen* sind an ihrer Form unschwer zu erkennen. Die Erkennung der Art und Ursache von *Korrosionsschäden* dagegen ist oft ein ausserordent-

derangement d'exploitation risque de se produire ou s'est déjà produit du fait d'une diminution de la résistance d'isolement et qu'il s'agit par conséquent d'un défaut de câble „non signalé“, on se trouve dans l'obligation de localiser le défaut. On dégage le câble en ouvrant les fouilles ou en mettant une chambre souterraine à découvert, et c'est ici que commencent les recherches proprement dites du défaut. Avant tout on s'efforcera de constater s'il s'agit d'un endommagement mécanique ou d'un cas de corrosion, ou même simultanément de ces deux cas. On procédera aux recherches p. ex. selon le schéma suivant:

- a. Circonstances extérieures;
état du câble au lieu du défaut et à proximité de celui-ci;
état de l'enveloppe;
état de la canalisation, présence d'eau et de limon dans la canalisation ou dans la chambre;
constitution et état du sol.
- b. On prendra des échantillons si le cas doit faire l'objet de recherches au laboratoire, bouts de câble, morceaux de la gaine de plomb, échantillons de l'enveloppe et de l'armure, des parties du canal, des échantillons de limon, de l'eau, du sol et éventuellement de produits de la corrosion qui se seront détachés.
- c. Recherches au laboratoire;
examen microscopique de la gaine de plomb, notamment aux points du défaut, ainsi que du produit de la corrosion et des échantillons du sol, constatations chimiques, analyses, études métallographiques.
- d. Mesure de l'intensité et du potentiel des courants vagabonds et des courants circulant dans la gaine de plomb, recherches au sujet de la provenance de courants étrangers éventuels.
- e. Enquête en vue d'éclaircir la question de l'influence d'eaux industrielles, d'engrais, de gaz, etc.

En prenant des échantillons, on aura soin de modifier le moins possible les matières en cause. Les échantillons d'eau, de limon et du sol doivent être recueillis dans des *recipients absolument propres*. La gaine de plomb ne doit pas être nettoyée, et on évitera de gratter inutilement les parties rongées par la corrosion. Lorsqu'on veut constater à l'aide d'une aiguille ou d'une alêne si l'on a trouvé le défaut, p. ex. une perforation due à la corrosion, on enlèvera en plus du morceau troué une certaine quantité de plomb accusant des points attaqués (à moins qu'on doive éviter de le faire pour des raisons d'exploitation ou autres), ceci afin de disposer d'un nombre suffisant de ces points de corrosion dans leur état original; en règle générale: plutôt un peu trop que trop peu. Des recherches utiles ne peuvent que difficilement ou pas du tout être entreprises sur quelques cm² de gaine de plomb accusant un trou foré, ou sur un bout de câble plus grand nettoyé à l'aide d'une lampe à souder ou raclé au moyen d'un couteau, ou encore sur lesquels les points d'attaque ont été défigurés de toute autre façon ou enduits d'asphalte ou de stéarine.

2. Caractéristiques des détériorations de câbles.

D'après leur forme, il n'est pas difficile de reconnaître les défauts de fabrication et les *détériorations*

lich verwickeltes Problem. Dies gilt ganz allgemein. Beim Eisen z. B. sind die charakteristischen Merkmale so spärlich, dass eine Diagnose in vielen, vielleicht in den meisten Fällen, auf Grund des Aussehens der Freistellen und der chemischen Zusammensetzung des Korrosionsproduktes unsicher, wenn nicht gar unmöglich ist.

Beim Blei ist die Sachlage glücklicherweise günstiger. Die Untersuchung der Schäden an Kabelmänneln erfährt eine wesentliche Erleichterung durch den Umstand, dass sowohl bei chemischen, als auch bei elektrolytischen Angriffen, eine Reihe charakteristischer Merkmale entsteht. Bei der Bewertung dieser Merkmale spielt naturgemäss die *Erfahrung* eine wichtige Rolle. Ein ausgiebiger Erfahrungsaustausch wäre in dieser Hinsicht der Sache ungemein förderlich. Leider findet man in den Publikationen bis jetzt selten detaillierte Angaben. Vielleicht sind die hier beschriebenen Beobachtungen dazu geeignet, einen Beitrag zum Ausfüllen dieser Lücke zu bilden.

2. 1. *Fabrikationsfehler.*

Ist man heute einerseits berechtigt zu sagen, die Kabeltechnik habe einen hohen Stand der Vollkommenheit erreicht, so muss man andererseits gestehen, dass doch noch Fehler in der Fabrikation vorkommen; die Praxis liefert noch häufig genug Beweise dafür. Sehen wir dabei ab von Beschädigungen der Adern, der Isolierung und des Bleimantels, die zufällig, z. B. durch Unachtsamkeit, entstehen können, dann bleiben noch die charakteristischen *Pressfehler*, die mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit immer zu erwarten sind, die indessen nicht in allen Fällen, oder erst nach einer Reihe von Jahren, zu Störungen zu führen scheinen. Sie sind bedingt durch die Art, in welcher das fertige Aderbündel mit Blei umpresst wird und die heute noch keine volle Gewähr dafür bietet, dass der Bleimantel nicht irgendwo offene, oder doch unvollkommen geschlossene Stellen aufweist.

2. 1. 1. *Längsnähte.*

Im I. Teile wurde unter 2. 1. darauf aufmerksam gemacht, dass für den Beurteiler von Kabelschäden ein Unterschied besteht zwischen offenen Längsnähten und Längsrissen. Dieser Unterschied zeigt sich indessen nur in der Wirkung, die Ursache ist dieselbe, nämlich die Eigenart der verwendeten Bleipressen. Für Einzelheiten sei auf die Spezialliteratur verwiesen (z. B. 53, 54) und hier davon nur folgendes erwähnt: Das Blei muss sich in der Presse, um sich rings um das Aderbündel zu legen, in zwei Ströme teilen, die dann, vor dem Eintritt in die Matrize, zusammenfliessen und ein „nahtloses“ Rohr bilden sollen. In dieser technisch notwendigen Zweiteilung des Bleistromes liegt der schwache Punkt des Verfahrens, da die Bleiströme nur zusammenschweissen, wenn das Blei an den zu schweisenden Stellen absolut metallisch rein ist. Es wurde festgestellt, dass schon die Berührung mit der Luft eine Oxydhaut erzeugt, die die Schweissung verhindert (55). Um die Bildung der Oxydhaut zu vermeiden, wird da und dort die Pressung unter Schutzgas ausgeführt. An andern Orten wird die Möglichkeit des Luftzutrittes überhaupt verneint. Da aber das Aderbündel auf seinem Wege durch die Presse mit gefetteten

mécaniques ultérieures. En revanche, il est souvent excessivement compliqué de déterminer le genre et la cause des *détériorations provoquées par la corrosion*. Il s'agit là d'une règle générale. Pour le fer, p. ex., les indices qui caractérisent la corrosion sont en si petit nombre que, dans la majorité des cas, un diagnostic sur la base de l'aspect des parties corrodées et de la composition du produit de la corrosion est peu sûr ou même impossible.

Pour le plomb, les conditions sont heureusement plus favorables. Les recherches sur les détériorations de gaines de plomb sont sensiblement facilitées du fait qu'une série d'indices caractérisent aussi bien les attaques chimiques que les attaques électrolytiques. *L'expérience* joue évidemment un rôle important pour la mise en valeur de ces indices. Un abondant échange de résultats d'expériences serait très utile dans ce domaine. Il est malheureusement rare qu'on trouve à ce sujet des notes détaillées dans les périodiques. Les observations relevées dans le présent exposé contribueront peut-être à remplir cette lacune.

2. 1. *Défauts de fabrication.*

Si l'on est en droit d'affirmer aujourd'hui que la technique des câbles a atteint un haut degré de perfection, on est obligé de reconnaître, d'autre part, qu'au cours de la fabrication, des défauts se produisent tout de même de temps à autre; la pratique en fournit encore trop souvent la preuve. Sans tenir compte des endommagements de conducteurs, de l'isolation et de la gaine de plomb dus généralement à l'imprudence, il reste encore les *défauts caractéristiques de la presse à plomb* qui se produiront probablement toujours et qui, sinon dans tous les cas, semblent néanmoins devoir provoquer des dérangements seulement après un certain nombre d'années. Ces dérangements proviennent de la manière dont le faisceau des conducteurs est enveloppé de plomb et qui, aujourd'hui encore, n'offre pas de garantie absolue que la gaine soit sans fissures.

2. 1. 1. *Sutures longitudinales.*

Dans la première partie de notre exposé, nous avons fait remarquer sous 2. 1 qu'il existe une différence entre les sutures longitudinales et les fissures longitudinales. La différence n'apparaît que dans l'effet; la cause est la même, soit la particularité des presses à plomb utilisées. Quant aux détails, nous renvoyons à la bibliographie (p. ex. 53, 54), et nous mentionnerons uniquement ce qui suit: Dans la presse, le plomb doit se diviser en deux „fleuves“ pour s'appliquer autour du faisceau des conducteurs. Ces deux fleuves se réunissent avant d'entrer dans la matrice pour former un tube exempt de suture. Le point faible du procédé réside dans la nécessité de diviser le plomb en deux fleuves vu que, pour bien se souder, le plomb doit être métalliquement absolument pur sur les surfaces à réunir. On a constaté que le seul contact de l'air produit une pellicule d'oxyde qui empêche la soudure de s'accomplir (55). Pour exclure la formation de la pellicule d'oxyde, la pression se fait, dans certaines fabriques, sous du gaz protecteur. D'autres fabriques n'admettent pas la possibilité d'accès de l'air. Mais comme le faisceau des conducteurs est en contact, sur son parcours à travers la presse, avec des surfaces graissées, il se peut aussi que des traces de graisse parviennent jusqu'aux points de jonction du plomb et y forment ladite

Teilen in Berührung kommt, besteht auch die Möglichkeit, dass Spuren von Fett bis zu den Vereinigungsstellen der Bleiströme gelangen und dort eine „schützende“ Haut auf dem Blei bilden. Die Folge aller Filmbildungen, sei es durch Oxyd oder Fett, ist, dass das *Blei auf längeren oder kürzeren Strecken entweder nur auf einer Teilzone der Manteldicke, oder gar nicht geschweisst wird.*

Je nach der Konstruktion der Bleipresse entstehen eine, zwei oder noch mehr Längsnähte, die sich am fertigen Mantel immer erkennen lassen, auch wenn sie gut geschweisst sind. Sind sie nicht geschweisst, so kann beispielsweise ein Bild entstehen, wie es Figur 5 veranschaulicht.

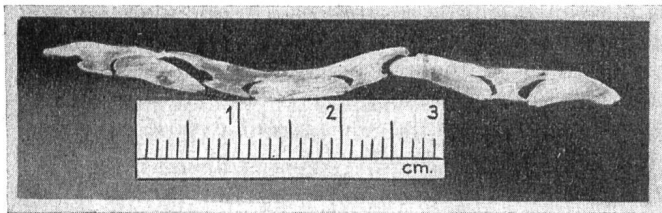


Fig. 5.

Merkmale: Der Bleimantel besteht nicht aus einer homogenen Röhre, sondern aus aneinander gefügten Lamellen. (In der Figur ist der Mantel aufgebogen.)

Da der Bleimantel bald nach dem Pressen mit bitumen- oder teergetränkten Papierbändern und Jutegarn fest umwickelt wird, machen sich die undichten Stellen nicht sofort bemerkbar; sie widerstehen sogar häufig der Druckprobe. Werden die Kabel armiert, so mag dies noch, infolge der Druckwirkung, zur Abdichtung der mangelhaften Nähte beitragen. Offene Stellen entstehen dann erst im Laufe der Zeit, wenn die Jute und das Papier weggefault sind, oder wenn, infolge von Erschütterungen oder durch spätere Arbeiten, z. B. beim Einlegen oder Einziehen neuer Kabel, das Kabel bewegt wird.

Ein Beispiel einer dreizehn Jahre nach der Auslegung zutage getretenen *offenen Längsnaht* zeigt die Figur 6.

Merkmale: Schlitz von 10,5 cm Länge, durch das Herausschneiden erweitert, Ränder scharf.

Es sind schon offene Stellen von 60 cm Länge gefunden worden.

Gefährlich für die Längsnähte — es brauchen nicht einmal schwache Stellen zu sein — ist das Verdrehen der Kabel. Figur 7 zeigt einen charakteristischen Fall. Die Drehung kam durch das bekannte

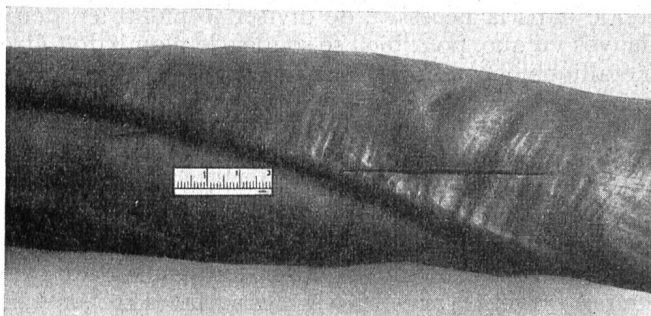


Fig. 7.

pellicule. Il s'ensuit — peu importe que la pellicule soit constituée d'oxyde ou de graisse — *que le plomb ne se soude, sur un parcours plus ou moins long, que sur une zone partielle de l'épaisseur de la gaine, ou même pas du tout.*

Suivant le genre de construction de la presse de plomb, il se produit une, deux ou plusieurs sutures que l'on arrive toujours à distinguer sur la gaine achevée, même si la soudure en elle-même est parfaite. Lorsqu'elles ne sont pas convenablement soudées, ces sutures ont p. ex. l'aspect représenté à la figure 5.

Caractéristique: La gaine de plomb n'est pas constituée par un tube homogène, mais par plusieurs lames assemblées.

Vu que, immédiatement après la sortie de la presse, la gaine de plomb est fortement enserrée de rubans de papier imprégnés de bitume ou de goudron et ensuite de jute également imprégné, les points non étanches n'apparaissent pas tout de suite; ils résistent même souvent à l'essai de pression. Si le câble est armé, la pression des fils d'armure contribue encore à l'étanchéité des mauvaises sutures. Elles ne s'ouvrent que plus tard, lorsque le jute et le papier se sont désagrégés à la suite d'ébranlements ou que le câble a été bougé à l'occasion de travaux ultérieurs, p. ex. lors de la pose ou du tirage de nouveaux câbles.

La figure 6 montre une *suture longitudinale ouverte* qui n'est apparue que 13 ans après la pose du câble.

Caractéristique: Fente d'une longueur de 10,5 cm, élargie par le sectionnement de la gaine, bords aigus.

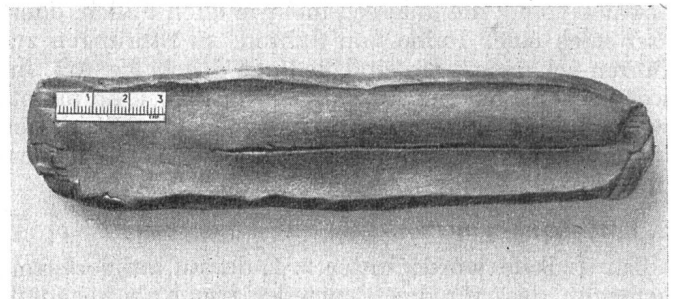


Fig. 6.

Des fentes ont été découvertes dont la longueur atteignait 60 cm.

Pour les sutures longitudinales — il ne doit pas nécessairement s'agir de points faibles — les efforts de torsion des câbles sont particulièrement néfastes. La figure 7 est un cas caractéristique de ce genre. La torsion s'est produite à la suite du phénomène connu du „rampement“ du câble provoqué par les ébranlements du sol. Le câble était fixé dans une chambre à épissures; à cet endroit, le rampement était donc entravé. Comme les fils d'armure hélicoïdaux ont la tendance de se redresser sous un effort de tension, la gaine de plomb a été tordue sous un angle faible mais sous un effort relativement considérable.

Caractéristique: Formation de plis à la gaine de plomb de 3,5 mm d'épaisseur; une suture longitudinale s'est ouverte à deux endroits.

Si le sol n'est pas très humide, il peut se passer un certain temps avant que le défaut se manifeste dans

Wandern oder Kriechen des Kabels infolge von Bodenerschütterungen zustande. Das Kabel war in einer Spleissmuffe festgehalten, die Kriechbewegung wurde also an jener Stelle gehemmt. Da die schraubenförmig gewundenen Armierungsdrähte das Bestreben haben, sich beim Strecken aufzudrehen, wurde der Bleimantel um einen kleinen Winkel, aber mit starken Kräften, gedreht.

Merkmale: Faltenbildung am 3,5 mm dicken Bleimantel, Aufreißen einer Längsnaht an zwei Stellen.

Wenn der Boden nicht sehr feucht ist, kann eine geraume Zeit vergehen, bis sich der Fehler als Betriebsstörung bemerkbar macht. Während dieser Zeit können die Ränder der Aufreißstellen chemisch angegriffen werden, wenn die Bedingungen vorhanden sind, was ja meistens der Fall ist. Solche Fehler werden meistens zuerst als Korrosionen angesehen, besonders wenn die Öffnungen nur klein sind. Die eingehende Untersuchung zeigt dann aber deutlich, dass der primäre Schaden eine offene Längsnaht, somit ein Fabrikationsfehler war. Figur 8 zeigt ein solches Beispiel.

Merkmale: Eine Reihe kleiner Schlitzte von 2 bis 4 mm Länge, Ränder chemisch angegriffen.

Auch die im I. Teil unter 2. 3. 2. 4. erwähnte und später noch näher zu beschreibende *Innenkorrosion* (siehe auch nachstehend unter 2. 3. 2. 4.) kann das Bild fälschen. Die Figuren 9 und 10 zeigen einen typischen Fall.

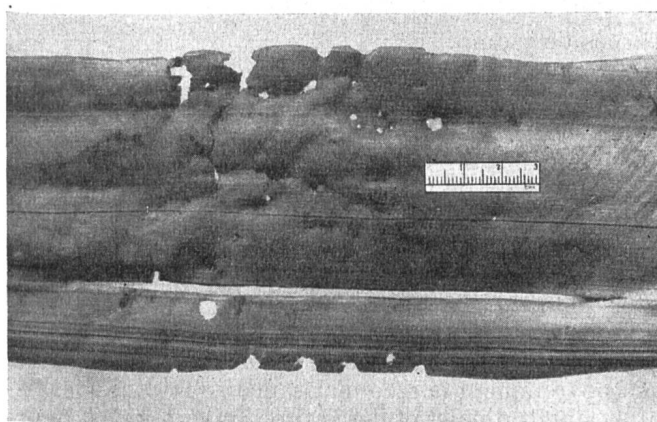


Fig. 9.

Merkmale: Der elektrolytische Angriff von innen hat an der Fehlerstelle eine beträchtliche Verheerung angerichtet; verschiedene Freßstellen sind nach außen durchgebrochen. Der ursprüngliche Schaden war aber die offene Längsnaht, durch welche Wasser eindrang und so erst die Elektrolyse von innen ermöglichte. Figur 10 zeigt einen Schnitt durch den Bleimantel quer zur Kabelachse. Die schlecht verbundenen Ränder sind deutlich zu erkennen.

Wie bereits früher erwähnt wurde, kann eine Längsnaht auch nur *teilweise* geschweisst sein, wie Figur 11 zeigt.

Merkmale: In der äusseren Hälfte des Mantels ist das Blei durch Schweissung metallisch verbunden, innen jedoch waren die Ränder ohne metallische Verbindung zusammengepresst. Durch das Aufbie-

l'exploitation. Pendant ce temps, les bords de l'ouverture peuvent être attaqués chimiquement suivant les circonstances, ce qui est presque toujours le cas. Le plus souvent, ces défauts sont d'abord considérés comme des cas de corrosion, surtout si les ouvertures sont très petites. Les minutieuses recherches montrent ensuite clairement que le dommage primaire consistait en une suture longitudinale ouverte, qu'il s'agit donc d'un défaut de fabrication. La figure 8 est un exemple de ce genre.

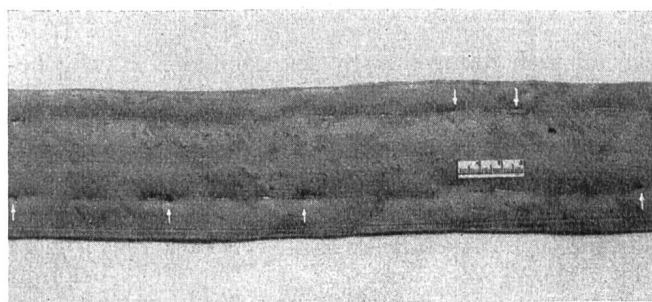


Fig. 8.

Caractéristique: Une série de petites fentes de 2 à 4 mm de longueur; bords attaqués chimiquement.

La *corrosion intérieure* mentionnée dans la première partie sous 2. 3. 2. 4 et que nous décrirons encore plus en détail (voir 2. 3. 2. 4 ci-après) peut fausser l'aspect. Un cas typique de ce genre est représenté aux figures 9 et 10.

Caractéristique: L'attaque électrolytique depuis l'intérieur a causé des ravages considérables à l'endroit du défaut; plusieurs points de corrosion ont traversé la gaine de part en part. Mais le premier dommage consistait en une suture longitudinale ouverte, par laquelle l'eau avait pénétré à l'intérieur et qui, ainsi, avait rendu possible le processus d'électrolyse intérieure. La figure 10 montre une coupe transversale de la gaine de plomb. On reconnaît distinctement les bords mal joints.

Nous avons déjà dit plus haut qu'une suture longitudinale ne peut être aussi que *partiellement* soudée, comme on le voit à la figure 11.

Caractéristique: Dans la moitié extérieure de la gaine, le plomb est soudé; à l'intérieur les bords étaient serrés l'un contre l'autre sans qu'il y eut liai-

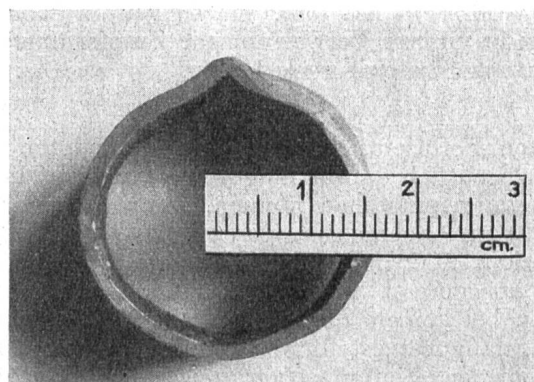


Fig. 10.

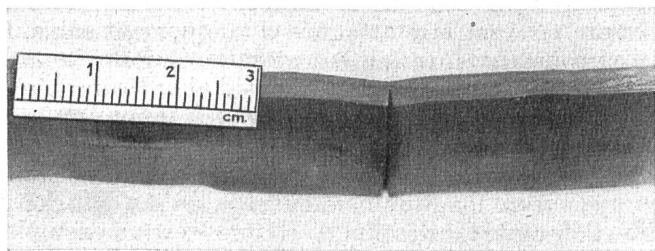


Fig. 11.

gen hat sich dann eine Spalte gebildet. Häufig befindet sich die schlechte Schweissung aussen.

Solche Stellen sind dicht und halten auch der Druckprobe stand, reissen aber gern infolge der mechanischen Beanspruchung der Kabel.

Nicht immer sehen die Ränder unvollständig geschweisster Längsnähte so sauber aus wie dies Fig. 11 zeigt. Durch Vorgänge, die zur Zeit nicht bekannt sind, können bei der Herstellung der Längsnaht verzweigte Hohlräume entstehen, die das Ansehen haben, als wären Bleischichten in der Nähe der Aussenfläche über tiefer liegende Schichten hinweg „gewalzt“ worden. Diese Stellen nennen wir deshalb Ueberwalzungen. Die Figur 12 zeigt schematisch ihre Form.

Merkmale: Links und rechts der Längsnaht haben sich *Taschen* gebildet, die über der Naht nach aussen offen sind. Die seitliche Ausdehnung dieser Taschen beträgt nach den bis heute vorliegenden Messungen bis zu 8 mm, die Dicke der äusseren Bleischicht 0,1 bis 1,0 mm. Die Aussenfläche des „inneren“ Mantels zeigt oft Längsriefen, manchmal ist die Aussenhaut mit dem „inneren“ Mantel durch Blei-„Stege“ verbunden.

Da für die „restliche“ Dichtigkeit des Bleimantels der in der Naht verbliebene, gut verschweisste Teil massgebend ist, hätten diese „Seitentaschen“ keine Bedeutung. Wie wir aber bei der Besprechung der chemischen Korrosion noch sehen werden, bilden sie oft Korrosionsnester und vermehren dadurch die infolge mangelhafter Längsnähte zu erwartende Störungsanfälligkeit.

Zum Abschluss des Kapitels über mangelhafte Längsnähte kann noch erwähnt werden, dass anscheinend da und dort die Erkennung der Ursache von Längsrissen und offenen Längsnähten Schwierigkeiten verursacht hat (56). Im Gegensatz dazu bestanden in unserer Verwaltung nie Zweifel über Art und Ursache dieser Kabelschäden.

2. 1. 2. Einschlüsse.

In den Veröffentlichungen über Bleimantelfehler wird gelegentlich darauf hingewiesen, dass undichte Stellen dann entstehen können, wenn in der Bleipresse vom Schmelzen des Bleies herrührende „Schlacken“ (Oxyde) in den Bleistrom gelangen und damit ausgepresst werden (5, 56). Solche Fehler konnten bei keinem der bis jetzt hier untersuchten Störungsfälle festgestellt werden. In den unter 2. 1. 1. beschriebenen „Seitentaschen“ zeigte sich manchmal eine bleikrätzähnliche Masse. Es war aber nie möglich zu entscheiden, ob es sich wirklich um Krätze oder

son metallische. Par le redressement du câble, une fente s'est formée. La mauvaise soudure se trouve souvent à l'extérieur.

Les points de ce genre sont étanches et ils supportent même l'essai de pression.

Les bords des sutures longitudinales incomplètement soudées n'ont pas toujours le bel aspect représenté à la figure 11. Par des phénomènes que l'on ne connaît pas encore, une ramification d'espaces vides peut se produire en même temps que la suture longitudinale; on dirait dans ces cas qu'à proximité de la surface extérieure, des couches de plomb ont été laminées sur les couches plus profondes. C'est pourquoi l'on dit que ces surfaces sont „feuilletées“. La figure 12 montre la forme schématique de ce phénomène.



Fig. 12.

Caractéristique: Des poches se sont formées à gauche et à droite de la suture longitudinale, et elles se sont ouvertes à l'extérieur et au-dessus de la suture. D'après les mesures faites jusqu'à ce jour, l'extension latérale accuse jusqu'à 8 mm et l'épaisseur de la couche de plomb extérieure de 0,1 à 1,0 mm. A la surface extérieure de la gaine „intérieure“, on remarque souvent des rainures longitudinales, et la couche extérieure est parfois reliée à la couche intérieure par des petites barbes de plomb.

Vu que, pour l'étanchéité réduite de la gaine de plomb, c'est la partie bien soudée de la suture qui importe, il en résulte que ces „poches latérales“ n'auraient pas grande importance. Mais comme nous le verrons dans la description de la corrosion chimique, ces poches sont souvent des nids de corrosion, et elles augmentent de ce fait les possibilités de perturbation dues à la présence de sutures longitudinales défectueuses.

Pour terminer le chapitre sur les sutures longitudinales défectueuses, nous pouvons encore signaler qu'apparemment la reconnaissance de la cause des fissures longitudinales et des sutures ouvertes s'est heurtée par ci par là à certaines difficultés (56). Dans notre administration, par contre, il n'y eut jamais de doute au sujet du genre et de la cause de ces détériorations de câbles.

2. 1. 2. Inclusions de matières dans le plomb.

Dans les publications sur les défauts de gaines de plomb, il est souvent fait mention que des défauts d'étanchéité peuvent se produire lorsque des „scories“ (oxydes) provenant de la fonte du plomb se sont introduites dans la presse à plomb et sont pressées dans la gaine (5, 56). Dans aucun des cas que nous avons examinés, un défaut de ce genre n'a été constaté jusqu'à ce jour. On trouve quelquefois dans les „poches latérales“ décrites sous 2. 1. 1. une masse ressemblant à des résidus de plomb. Mais on ne put jamais déterminer s'il s'agissait réellement de résidus ou d'un produit de corrosion. Ces inclusions n'ayant été vues que dans lesdites poches, on ne pouvait les considérer comme étant la cause d'un dérangement.

um ein Korrosionsprodukt handelte. Da die Einschlüsse sich nur in den Taschen fanden, konnten sie nicht als Ursache einer Störung angesehen werden.

2. 1. 3. Querbrüche.

Auch auf Querbrüche als Fabrikationsfehler wird hie und da in Publikationen hingewiesen. Sie können entstehen beim Neu-Füllen des Rezipienten resp. beim Wieder-„Anfahren“ der Presse, sei es an schlecht verschweissten Stoßstellen („Bambusknoten“), oder hinter diesen, infolge des stossweisen „Anfahrens“. Solche Fehler sind hier seit vielen Jahren nie mehr bemerkt worden, so dass wir uns nicht weiter damit

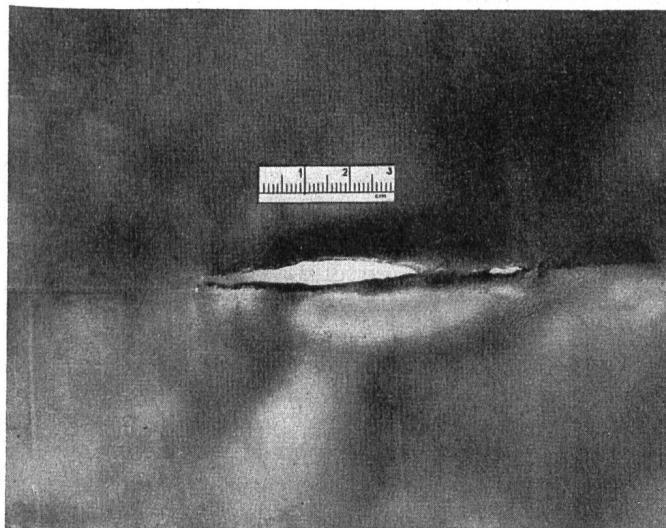


Fig. 13.

beschäftigen müssen, es sei denn, wir wollten auf die sorgfältige Arbeit unserer Kabelfabriken aufmerksam machen, was hiermit getan sei.

Die Figur 13 zeigt einen aufgeplatzten „Bambusknoten“ von innen gesehen.

2. 2. Mechanische Beschädigungen.

Mechanische Beschädigungen des Bleimantels sind, wenn sie frisch sind, die am leichtesten identifizierbaren Mantelschäden. Oft ist nicht nur der Bleimantel durchlöchert, sondern es sind auch die Adern beschädigt. Liegt das Kabel in einem Kanal, so wird schon die Zertrümmerung oder Durchbohrung des Kanals auf die Ursache hindeuten. Ist der Boden nicht sehr feucht, so kann der Fehler während längerer Zeit unbemerkt bleiben. In diesem Falle korrodieren die Ränder des Loches gewöhnlich und die Untersuchung hat dann nachzuweisen, dass die mechanische Beschädigung die primäre Ursache der Störung war, nicht die Korrosion.

2. 2. 1. Montagefehler.

Im I. Teile wurden als Montagefehler genannt: Querrisse, Einbuchtungen oder Stauchungen und Verletzungen mit Werkzeugen. Ein Beispiel mit Querrissen zeigt Figur 14.

Merkmale: Der Bleimantel zeigt quer zur Achse Risse von wenigen Millimetern Länge und bis zu drei Vierteln des Kabelumfangs.

Die nähere Untersuchung zeigte, dass das Reißen durch eine vorangegangene Ermüdung des Bleies be-

2. 1. 3. Cassures transversales.

Les périodiques mentionnent de temps à autre des cassures transversales considérées comme défauts de fabrication. Ces cassures peuvent survenir à la suite d'un nouveau remplissage du récipient ou de la nouvelle mise en marche de la presse, et se produire, du fait du démarrage par chocs, soit aux points de jonction mal soudés (nœuds de bambou), soit derrière ceux-ci. En Suisse, des défauts de ce genre n'ont plus été constatés depuis de nombreuses années, de sorte que nous n'avons pas à nous en occuper, si ce n'est pour relever le travail soigné de nos fabriques.

La figure 13 montre l'éclatement d'un de ces „nœuds de bambou“, vu de l'intérieur.

2. 2. Endommagements mécaniques.

Quand ils sont encore tout récents, les endommagements mécaniques de la gaine de plomb sont ceux que l'on peut le plus facilement identifier. Dans de nombreux cas, non seulement la gaine de plomb est perforée, mais les conducteurs sont aussi endommagés. Si le câble se trouve dans un caniveau, la démolition ou la perforation du caniveau en indiquera déjà la cause. Si le sol n'est pas très humide, on ne s'apercevra pas du défaut pendant un espace de temps assez long. Dans ce cas, les bords du trou sont attaqués par la corrosion, et les recherches devront prouver que c'est la détérioration mécanique qui a été la cause primaire du dérangement, et non la corrosion.

2. 2. 1. Défauts de montage.

Dans la première partie, nous avons désigné comme défauts de montage les fissures transversales, les enfoncements ou les foulures et les endommagements au moyen d'outils. Un exemple de fissure transversale est représenté à la figure 14.

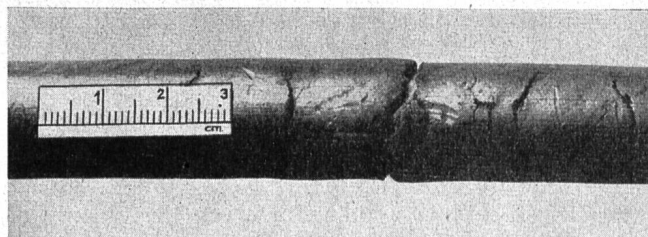


Fig. 14.

Caractéristique: La gaine de plomb accuse transversalement à l'axe des fissures de quelques millimètres jusqu'aux trois quarts de la circonférence du câble.

Les recherches ont montré que la fissure a été favorisée par la fatigue préalable du plomb. Le câble reposait depuis 11 ans sur un pont léger et avait ensuite été enroulé sur une bobine pour cause de démolition du pont. Les vibrations du pont avaient provoqué une fatigue assez prononcée du câble, sans toutefois le désagréger. L'effort mécanique pendant l'enroulement et lors de la nouvelle pose suffit à produire les fissures transversales.

Les enfoncements se forment en premier lieu lorsqu'on courbe les câbles; ils peuvent s'accroître jusqu'à l'état de flexion. Il y a notamment danger lorsque la gaine de plomb n'enserme pas fortement le

günstigt wurde. Das Kabel war elf Jahre auf einer leichten Brücke ausgelegt gewesen und dann, wegen Abbruch der Brücke, aufgehängt worden. Durch die Erschütterungen der Brücke war das Blei ziemlich stark, aber noch nicht bis zum Auftreten von Disglomerationen, ermüdet worden. Die mechanische Beanspruchung beim Aufhaspeln und Wiederauslegen genügte dann zur Erzeugung von Querrissen.

Einbuchtungen entstehen wohl am ehesten beim Biegen der Kabel; sie können sich zu eigentlichen Knickungen auswachsen. Besondere Gefahr besteht, wenn der Mantel nicht satt am Aderbündel anliegt und wenn das Mantelmaterial zu hart ist (legiertes Blei). Bei dicken Kabeln werden dann die Adern so gequetscht, dass die Papierisolation reißt, es entstehen Ader-Kurz- und Nebenschlüsse. Ist die mechanische Beanspruchung allzu rauh, so kann der Bleimantel brechen. Figur 15 zeigt ein Beispiel eines solchen „vermurksten“ Kabels.

Merkmale: Der Bleimantel war verbogen, gestaucht, gefaltet. In einer Falte hatte sich ein Riss gebildet.

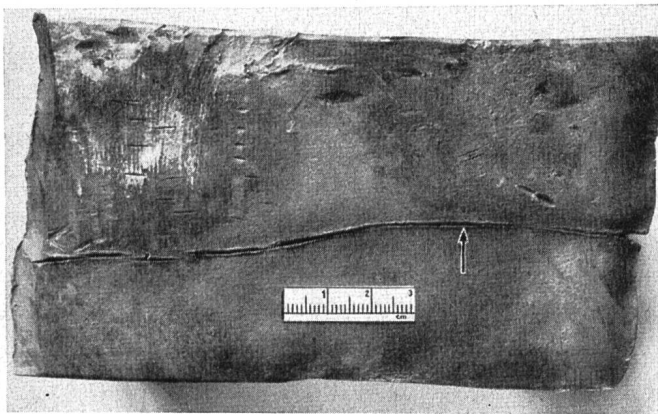


Fig. 16.

Der Fehler bestand anscheinend ziemlich lange; die Fehlerstelle ist durch elektrolytische Innenkorrosion entsteht, die ursprüngliche Form der Perforation ist fast nicht mehr zu erkennen.

Wie die Praxis zeigt, kommt es gar nicht so selten vor, dass einem Kabelmonteur bei der Arbeit, z. B. beim Abschneiden der Jute, das Messer „ausrutscht“. Das Resultat ist dann eine Kerbe im Blei, die zwar in den meisten Fällen keine bösen Folgen hat. Manchmal ist der Erfolg aber „durchschlagend“. Figur 16 zeigt ein Beispiel davon.

Merkmale: Messerschnitt auf dem ganzen Umfang des Bleimantels. An der mit einem Pfeil bezeichneten Stelle durchgehender Schlitz, 4 mm lang und Bruchteile eines Millimeters breit.

Der Fehler verursachte erst siebzehn Jahre nach seiner Entstehung die ersten Störungen in einem Masse, das eine Eingrenzung nötig bzw. möglich machte.

2. 2. 2. Beschädigungen durch höhere Gewalt oder fremde Hand.

Wie bereits bemerkt, ist ihre Art leicht zu erkennen. Die Figuren 17, 18, 19 und 20 zeigen typische Beispiele.

faisceau des conducteurs et que le matériel constituant la gaine est trop dur (alliage). S'il s'agit de gros câbles, les conducteurs sont écrasés à tel point que l'isolation de papier se déchire, ce qui provoque des courts-circuits entre les conducteurs ou des mélanges. Si l'effort mécanique est par trop brusque, la gaine de plomb peut se briser. La figure 15 est un exemple de ces câbles maltraités.

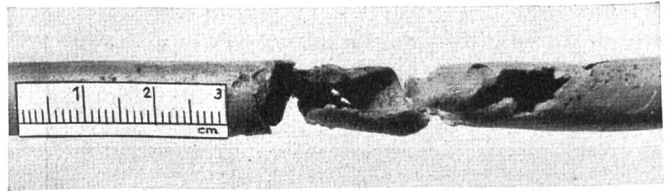


Fig. 15.

Caractéristique: La gaine de plomb est courbée, et elle accuse des foudres et des plis.

Selon toute apparence, le défaut était assez ancien; l'endroit du défaut est déformé par une corrosion électrolytique intérieure; on ne peut presque plus reconnaître la forme primitive de la perforation.

Dans la pratique, il n'est pas rare que le couteau manipulé par un monteur en vue d'enlever l'enveloppe de jute lui échappe et qu'il en résulte une entaille qui, le plus souvent, n'entraîne pas de suites. Mais il arrive que le couteau pénètre trop profondément dans la gaine, comme on le voit à la figure 16.

Caractéristique: Coupure sur toute la circonférence de la gaine de plomb. L'endroit marqué par une flèche accuse une fente de 4 mm de long et d'une fraction de millimètre de large.

C'est seulement après 17 ans que ce défaut provoqua à tel point des dérangements qu'on dut et qu'on put le localiser.

2. 2. 2. Endommagements d'origine étrangère.

Comme nous l'avons déjà dit, on reconnaît facilement le genre de ces endommagements. Les figures 17, 18, 19 et 20 sont des exemples typiques.

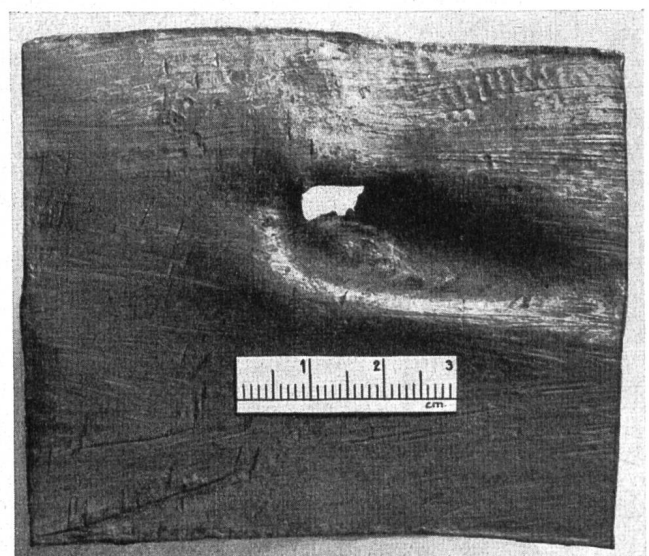


Fig. 17.

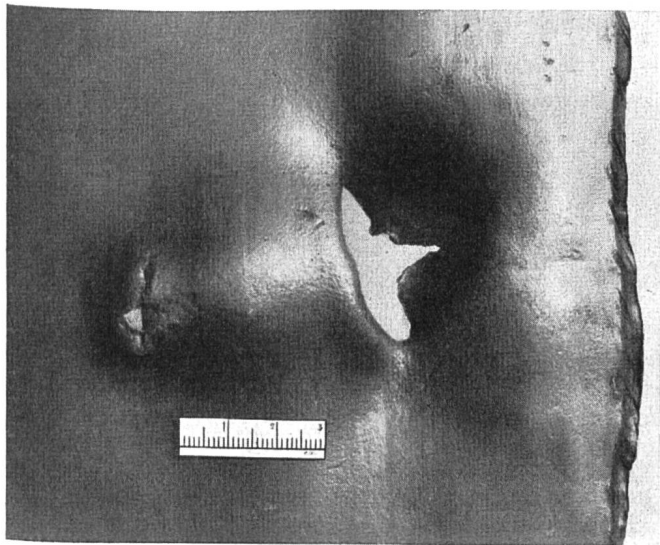


Fig. 18.

Sie betreffen:

Einen Pickelhieb in Figur 17. *Merkmal*: Viereckiges Loch im Bleimantel von ungefähr 10 mm Seitenlänge.

Eine Durchlöcherung mit einem Pressluftmeissel in Figur 18. *Merkmal*: Zwei Löcher von unregelmässiger Form von ungefähr 20 bzw. 5 mm Durchmesser; der Meissel durchbohrte das Kabel vollständig.

Einen Durchschlag infolge eines Sprengschusses in Figur 19. *Merkmal*: Fast kreisrundes Loch von 3 mm Durchmesser.

Eine Quetschung infolge Eisbildung in Figur 20. *Merkmal*: Bleimantel stark eingedrückt, Längsfurche, darin Längsrisse. Ausserdem Korrosionsspuren.

2. 2.3. Beschädigungen durch Tiere.

Es wurde bereits gesagt, dass für das Durchnagen des Bleimantels, sowohl durch Nagetiere als auch durch Insekten, bis heute noch keine glaubwürdige Erklärung gefunden wurde. Das Benagen durch Insekten ist bei uns äusserst selten anzutreffen. Die

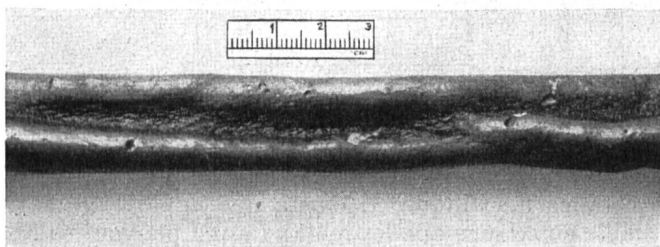


Fig. 20.

Beschädigung durch Mäuse und Ratten ist nach dem Dafürhalten des Verfassers auf die für das Gebiss dieser Nagetiere unbedingt nötige Befriedigung des Nagertriebes zurückzuführen. Nahrungstrieb käme nur in jenen Fällen in Frage, wo die angenagte Stelle vom Lötten her mit Talg verschmiert war. Dieser Annahme widerspricht aber die Feststellung, dass

Il s'agit

à la figure 17: d'un coup de pioche. *Caractéristique*: trou carré dans la gaine de plomb, d'environ 10 mm de côté.

à la figure 18: d'un trou provenant d'une perforatrice pneumatique. *Caractéristique*: deux trous de forme irrégulière d'un diamètre de 20 et de 5 mm; la mèche perfora le câble de part en part.

à la figure 19: d'une perforation provenant d'explosifs. *Caractéristique*: trou presque rond de 3 mm de diamètre.

à la figure 20: d'un écrasement dû à la congélation de l'eau. *Caractéristique*: gaine de plomb fortement comprimée, cannelure longitudinale accusant des fentes longitudinales. En outre, des traces de corrosion.

2. 2. 3. Endommagements causés par des bêtes.

Comme nous l'avons déjà dit, on ne connaît pas encore les raisons qui pourraient expliquer de façon plausible pourquoi les rongeurs et même certains insectes rongent la gaine de plomb des câbles. En Suisse, les cas sont très rares où une gaine de plomb

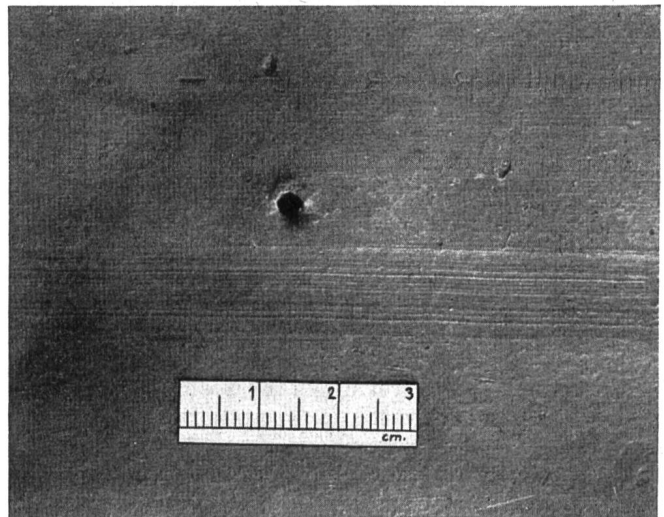


Fig. 19.

ait été rongée par des insectes. A l'avis de l'auteur du présent exposé, les endommagements causés par des souris et des rats sont dus au besoin qu'éprouvent ces animaux de satisfaire leur instinct de rongeurs et, partant, de faire travailler leurs incisives. Le besoin de se nourrir pourrait entrer en considération dans les cas où les parties attaquées auraient été enduites de suif pour la soudure. Mais ce raisonnement est en contradiction avec le fait que la partie rongée ne s'étend que sur une zone relativement étroite et non sur toute la partie enduite de suif, et que les déchets de plomb et de jute ne sont pas avalés par les rongeurs, car on les trouve entassés sous ou à côté du câble. D'ailleurs la plupart des endommagements de ce genre ont été constatés sur des parties de câbles non enduites de matières grasses.

Les endommagements de ce genre sont facilement discernés à cause de l'évidence des traces laissées sur le plomb et de la dimension des trous. La figure 21 montre le travail encore tout récent d'un rongeur.

die Nagestelle sich nur auf eine verhältnismässig schmale Zone, nicht auf den ganzen „fetthaltigen“ Bezirk erstreckt, und dass die abgenagten Krümel von Blei und Jute von den Tieren nicht verschluckt werden, sondern an einem Häufchen unter oder neben dem Kabel gefunden werden. Schliesslich finden sich die meisten Nageschäden an Stellen, die nicht mit Fett beschmiert waren.

Die Art dieser Schäden ist auf alle Fälle leicht an den Nagespuren und an der Grösse der Löcher zu erkennen. Figur 21 zeigt einen „Mäusefrass“, der in frischem Zustande entdeckt wurde.

Merkmale: Loch von ungefähr 20 cm² Fläche. Die Spuren der Zähne sind deutlich zu erkennen.

Der in Fig. 22 dargestellte Schaden blieb längere Zeit unentdeckt, so dass das blossgelegte Blei zu korrodieren begann.

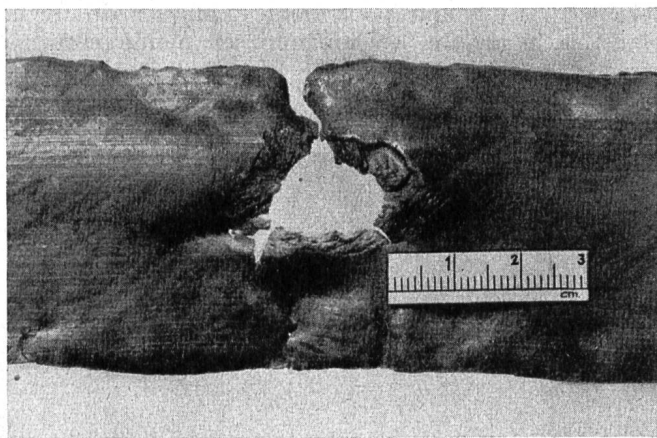


Fig. 22.

Merkmale: Loch von ungefähr 2 cm² Fläche. Das Blei ist leicht chemisch ankorrodiert, Zahnspuren sind aber noch zu erkennen.

Die Figur 23 ist die photographische Aufnahme des Falles, der im I. Teile unter 2. 2. 3. erwähnt wurde.

Merkmale: Am Rande der Kabelhülle ist das Blei ringsum auf einer Breite von 1 bis 1,5 cm weggenagt. Sogar die Kupferadern zeigen Spuren der Nagezähne.

2. 2. 4. Ermüdungsbrüche.

Der Ausdruck Ermüdung ist aus dem Wortschatz der Physiologie entlehnt. Er bedeutet dort eine Abnahme der Leistung von Muskeln und Nerven infolge von geleisteter Arbeit; auf Metalle oder andere Werkstoffe angewendet ist es eine Abnahme der mechanischen Festigkeit. Eine bemerkenswerte Analogie besteht darin, dass auch Metalle sich erholen können. An Stahl wurde festgestellt, dass durch Einschaltung geeigneter Ruhepausen in die „Arbeitszeit“ der Wechselbeanspruchung die „Lebensdauer“ eines Werkstückes um 60% verlängert werden kann (57). Für Blei liegen keine Angaben vor.

Die physiologische Ermüdung ist von chemischen Umsetzungen begleitet. Im Gegensatz dazu scheint die Ermüdung der Metalle ein rein mechanischer Vorgang zu sein, da keine chemischen Veränderungen wahrnehmbar sind. Wären sie vorhanden, so müsste man von Korrosion sprechen. Damit ist ein

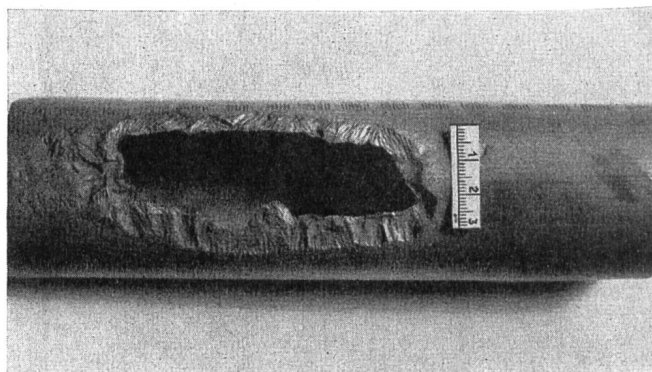


Fig. 21.

Caractéristique: Trou d'environ 20 cm² de surface. On reconnaît distinctement les marques de dents.

L'endommagement représenté à la figure 22 n'a pas été découvert de longtemps, de sorte que le plomb mis à nu avait déjà commencé à être attaqué par la corrosion.

Caractéristique: Trou d'environ 2 cm² de surface. Le plomb a été légèrement attaqué par la corrosion chimique. Toutefois, on distingue encore les marques de dents.

La figure 23 est une photographie du cas mentionné sous 2. 2. 3 dans la première partie de l'exposé.

Caractéristique: Au bord de l'enveloppe du câble, une largeur de 1 à 1,5 cm est rongée sur le pourtour de la gaine. Même les conducteurs de cuivre accusent des traces de dents.

2. 2. 4. Ruptures dues à la fatigue.

Le terme „fatigue“ est emprunté à la terminologie de la physiologie, où il est défini par une diminution du rendement des muscles et des nerfs ensuite de l'exécution d'un travail. Appliqué aux métaux ou à



Fig. 23.

d'autres matériaux, il signifie une diminution de la résistance mécanique. Il existe une analogie remarquable en ce sens que les métaux aussi peuvent se régénérer. Pour l'acier on a constaté que la durée d'une pièce de machine peut être augmentée de 60% si l'on intercale des pauses convenables dans le temps durant lequel elle est sollicitée par des efforts alternés (57). Aucune mention n'est faite pour le plomb.

La fatigue physiologique est accompagnée de phénomènes chimiques. Dans les métaux, par contre, la fatigue semble être un phénomène purement mécanique, vu qu'on ne constate aucun changement chimique. Si de tels changements existaient, il s'agirait

wesentliches Merkmal der Metall-Ermüdung bereits charakterisiert.

Ein Metallkörper ist zusammengesetzt aus Kristallen. Die Art der Herstellung der uns interessierenden Metallkörper — der Kabelmäntel — (wie auch der meisten in der Technik verwendeten Metallkörper) verhindert die Ausbildung der Kristalle in ihrer streng geometrischen Form. Die Kristalle werden zu unregelmässig geformten Körnern mit Ecken, Kanten und teils ebenen, teils gebogenen Flächen deformiert, den *Kristalliten*.

Das Blei unserer Kabelmäntel ist nie hundertprozentig rein; es enthält, abgesehen von den Fällen, in denen andere Metalle als Legierungsbestandteile in grösseren Mengen zugesetzt werden, immer Beimengungen von Fremdstoffen, metallischen und nichtmetallischen, wie Eisen, Kupfer, Wismut, Cadmium, Arsen in Bruchteilen von Prozenten. Diese Verunreinigungen sind zwischen den Kristalliten eingelagert, sie bilden gewissermassen den Kitt, mit dem die Kristallite zusammengeklebt sind. Ausserdem muss man nach den Anschauungen der modernen Metallkunde annehmen, dass zwischen den Kristalliten — wenigstens zum Teil — Kapillarlücken bestehen und schliesslich, dass jedes Korn von einer Haut aus demselben Metall, aber von anderer Struktur, umgeben ist (58). Wird nun der Bleimantel, wie im I. Teile unter 2. 2. 4 beschrieben, überanstrengt, so reissen die „Kittfugen“, die Kristallite fallen auseinander, der Ermüdungsbruch ist da.

Aus dem vorstehenden folgt, dass die Widerstandsfähigkeit der Bleimäntel gegen das Ermüden bis zu einem gewissen Grade vom Kitt, der die Kristallite zusammenhält, abhängt und dass man offenbar durch Wahl geeigneter Beimengungen diese Widerstandsfähigkeit in günstigem Sinne beeinflussen kann. Es gelingt in der Tat, durch Legieren des Bleies mit Zinn, Kupfer, Kalzium, Tellur u. a., die Widerstandsfähigkeit gegen das Ermüden merklich zu erhöhen. Am meisten wird eine Bleilegierung mit 1, 2 oder 3% Zinn angewendet für Kabel, die der Ermüdung besonders ausgesetzt sind. Völlig vermeiden lassen sich die Ermüdungsbrüche aber auch durch das Legieren nicht, wie die praktischen Erfahrungen in unserem Kabelnetz, in Übereinstimmung mit denen im Auslande, zeigen (8, 21, 59, 60).

Die Grösse der Kristallite kann bei ein und demselben Metall, besonders beim Blei, sehr verschiedene Werte annehmen. Die Frage nach dem Einfluss dieser *Korngrösse* kann zur Zeit noch nicht eindeutig beantwortet werden. Es wird oft die Ansicht vertreten, dass die Brüchigkeit von der Korngrösse unabhängig sei. Demgegenüber zeigt die Praxis, dass das Blei an den Bruchstellen meistens ein gröberes Korn aufweist, als in den gesunden Zonen. Nach dem heutigen Stande der Erkenntnis kann man sagen: Die Disglomeration („Entkittung“) hat nicht grobes Korn zur Voraussetzung, sondern in der Hauptsache Wechselbeanspruchung; sie wird aber durch Grobkörnigkeit gefördert.

Die Korngrösse eines Metallgegenstandes wird beeinflusst durch die Art seiner Herstellung. Beim Blei entsteht das grösste Korn durch Giessen und lang-

de corrosion. Un symptôme important de la fatigue du métal se trouve ainsi déjà caractérisé.

Un corps métallique se compose de cristaux. Le genre de confection de ceux des corps métalliques qui nous intéressent — les gaines de plomb — (comme aussi de tous les corps métalliques employés dans la technique), empêche les cristaux de se constituer sous leur forme géométrique absolue. Les cristaux sont déformés en grains irréguliers accusant des coins, des arêtes et des surfaces en partie planes et en partie recourbées; ces grains sont appelés des *cristallites*.

Le plomb de nos gaines de câbles n'est jamais complètement pur. Abstraction faite des cas où d'autres métaux sont ajoutés en assez grandes quantités pour les alliages, le plomb accuse toujours en fractions de pourcent des additions de matières étrangères métalliques ou non-métalliques, telles que du fer, du cuivre, du bismuth, du cadmium et de l'arsenic. Ces impuretés occupent les interstices entre les cristallites et constituent pour ainsi dire leur liant. Au point de vue de la métallographie moderne, on doit admettre qu'il existe des interstices capillaires entre les cristallites — ou du moins en partie — et que chaque grain est entouré d'une pellicule de même métal mais de structure différente (58). Si, comme nous l'avons déjà décrit dans la première partie sous 2. 2. 4, la gaine de plomb est „surmenée“, les joints par les liants se disloquent, les cristallites se désagrègent et la cassure due à la fatigue s'accomplit.

Il résulte de ce qui précède que la faculté des gaines de plomb de résister à la fatigue dépend dans une certaine mesure du liant unissant les cristallites, et qu'en choisissant des mélanges appropriés, on a de toute évidence la possibilité d'influencer favorablement cette résistance. En effet, on réussit à augmenter sensiblement la résistance à la fatigue en mélangeant de l'étain, du cuivre, du calcium, du tellure, etc., au plomb. Le plus souvent, on utilise un alliage de 1, 2 ou 3% d'étain pour les câbles particulièrement exposés à la fatigue. Il n'est toutefois pas possible d'éviter complètement par des alliages les ruptures dues à la fatigue, comme le prouvent les expériences dans notre réseau des câbles, en concordance avec les expériences faites à l'étranger (8, 21, 59, 60).

La grosseur des cristallites peut atteindre des valeurs très différentes dans le même métal, notamment dans le plomb. On ne peut, pour le moment, se prononcer de façon absolument certaine sur l'influence que pourrait avoir la *grosseur du grain*. Parfois l'opinion est émise que la résistance à la rupture ne dépend pas de la grosseur du grain. Contrairement à cette opinion, il résulte d'observations faites dans la pratique qu'aux points de rupture le plomb accuse un grain plus gros que dans ses zones saines. Aujourd'hui on peut prétendre que la désagrégation n'est pas due au gros grain, mais en majeure partie aux efforts alternés; elle est cependant favorisée par la grosseur du grain.

La grosseur du grain d'un objet métallique est influencée par le genre de sa fabrication. Le grain le plus grossier du plomb se produit par la fonte et le lent refroidissement. La pression, p. ex. dans les presses à plomb, donne un fin grain. Les alliages avec d'autres métaux ont également pour effet de diminuer la gros-

sames Abkühlen. Pressen, z. B. das Ausstossen in der Kabelpresse, gibt kleines Korn. Ebenso wirkt das Zulegieren anderer Metalle immer kornverkleinernd. Die grössten am Blei beobachteten Kristallite hatten einen Durchmesser von 8 mm (reinstes Hüttenblei), die kleinsten von 0,03 mm (Antimonblei) (60). An Kabelmänteln aus unlegiertem Blei wird man mit einem Korndurchmesser von 0,5 mm rechnen können.

Das Erwärmen eines Metallgegenstandes hat eine Kornvergrösserung (Rekristallisation) zur Folge. Blei zeigt diese Rekristallisation in besonders auffälliger Weise. Während dazu bei anderen Metallen höhere Temperaturen nötig sind, beispielsweise von 200° C aufwärts, beginnt beim Blei die Rekristallisation schon bei Zimmertemperatur. Es wurden Kornvergrösserungen auf 2 bis 3 mm beobachtet durch Erwärmen auf 40 bis 50° C (59).

Diese Tatsachen sind die Erklärung dafür, dass nicht nur Luftkabel, sondern auch Kabel, die an Brücken, Strassenstützmauern und anderen, der Sonnenbestrahlung ausgesetzten Bauten verlegt sind, eine kurze Lebensdauer aufweisen.

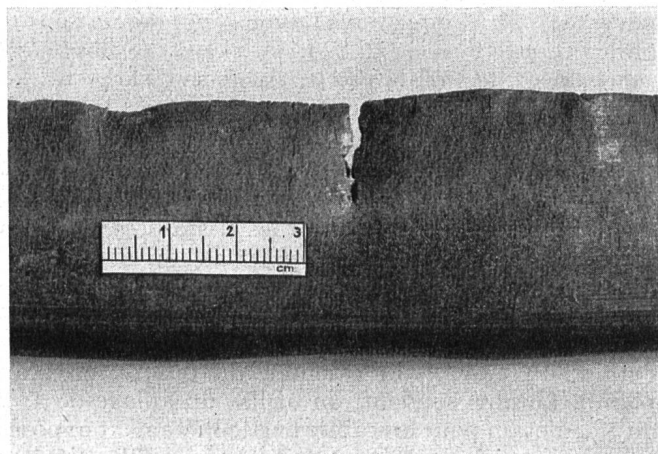


Fig. 24.

Die Figuren 24, 25 und 26 zeigen typische Ermüdungsbrüche. Die Figur 24 betrifft ein Luftkabel, die Figur 25 ein Kabel, das, aus den örtlichen Verhältnissen zu schliessen, weniger erwärmt wurde, während die Figur 26 ein Brückenkabel zeigt.

Merkmale: Allen gemeinsam ist der zackige Bruch. Das Luftkabel war mit 3% Zinn legiert, die Korngrösse ist, trotz Erwärmung durch intensive Sonnenbestrahlung, am kleinsten. Die beiden anderen Kabel hatten Mäntel aus unlegiertem Blei, doch ist am Brückenkabel die Korngrösse deutlich erkennbar grösser als am andern.

Unter dem Mikroskop zeigen die Flächen der Kristallite keinen wesentlichen chemischen Angriff; sie sind jedoch von einer dünnen Oxydhaut bedeckt, erkennbar an den Regenbogenfarben (Farbe dünner Schichten), die entstanden ist unter dem Einflusse des Luftsauerstoffs.

Die Bleikörner haften oft so lose aneinander, dass sie leicht mit einer Nadel aus ihrem Verbande herausgehoben werden können, oder beim Biegen von selbst herausfallen.

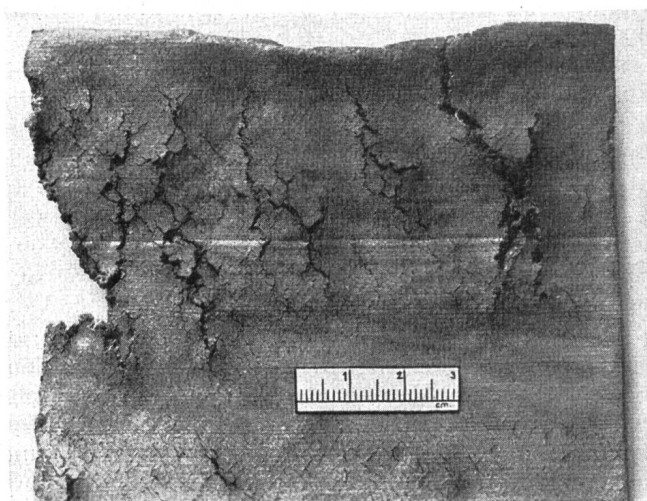


Fig. 25.

seur du grain. Les cristallites les plus gros observés au plomb avaient un diamètre de 8 mm (plomb très pur sortant de la fonderie), les plus petits accusaient 0,03 mm de diamètre (plomb-antimoine) (60). Pour le plomb des gaines de câbles non-alliées d'un autre métal, on peut admettre une grosseur de grain de 0,5 mm.

Lorsqu'on chauffe un objet métallique, le grain augmente de grosseur (recristallisation). La recristallisation est particulièrement apparente au plomb. Tandis que d'assez hautes températures sont nécessaires pour d'autres métaux, p. ex. à partir de 200° C, la recristallisation du plomb commence déjà à la température ordinaire. En chauffant le plomb à 40 et 50°, on a pu constater une augmentation de la grosseur du grain jusqu'à 2 et 3 mm (59).

Ceci explique non seulement pourquoi les câbles aériens mais aussi les câbles fixés aux ponts, aux murs de soutènement et à d'autres constructions exposées au soleil ont une courte durée.

Les figures 24, 25 et 26 montrent des ruptures typiques dues à la fatigue. La figure 24 concerne un câble aérien, la figure 25 un câble qui, à en juger par les conditions des lieux, fut moins exposé à la chaleur du soleil, et la figure 26 un câble qui était monté sur un pont.

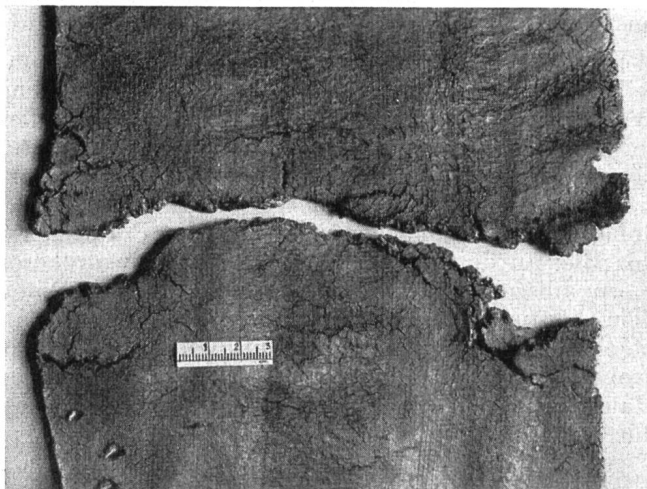


Fig. 26.

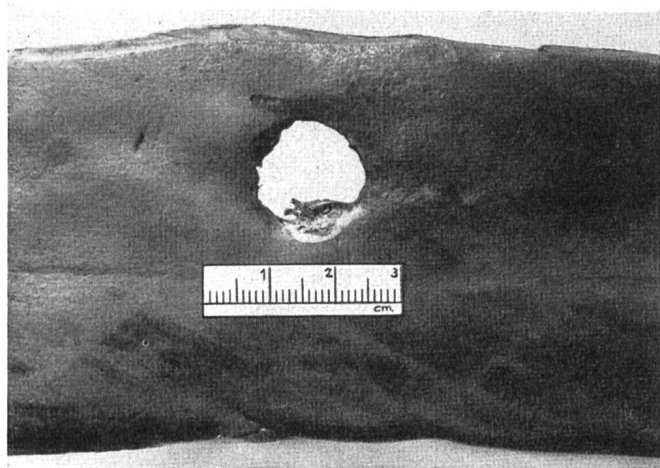


Fig. 27.

2. 2. 5. Elektrische Durchschläge.

Beschädigungen der Bleimäntel von Fernmeldekabeln durch elektrische Durchschläge entstehen naturgemäss nicht unter dem Einfluss der Betriebsspannungen in den Fernmeldeanlagen, sondern nur dann, wenn den Kabeln von aussen hohe Spannungen aufgedrückt werden. Dies kann geschehen durch atmosphärische Entladungen, oder durch Erdschlüsse benachbarter Starkstromanlagen. Durchgeschlagen wird natürlich nicht der Bleimantel, sondern das Dielektrikum, also die Aderisolierung oder die Kabelumhüllung, wenn der Bleimantel schlecht geerdet ist. Der dabei entstehende Lichtbogen brennt dann ein Loch in den Bleimantel und schmelzt öfters die Kupferadern ab.

Die entstehenden Löcher sind meistens fast vollkommen kreisrund, wie gestanzt. Ein untrügliches Merkmal sind die häufig noch anzutreffenden Schmelzperlen. Wenn die Entladung nicht zwischen den Adern und dem Bleimantel, sondern zwischen dem Bleimantel und dem Zoreskanal (bzw. Erde) erfolgt und der Boden nicht sehr feucht ist, kann der Schaden auch hier längere Zeit unbemerkt bestehen bleiben, so dass die Ränder der Oeffnung zu korrodieren beginnen. In diesem Falle bilden dann die

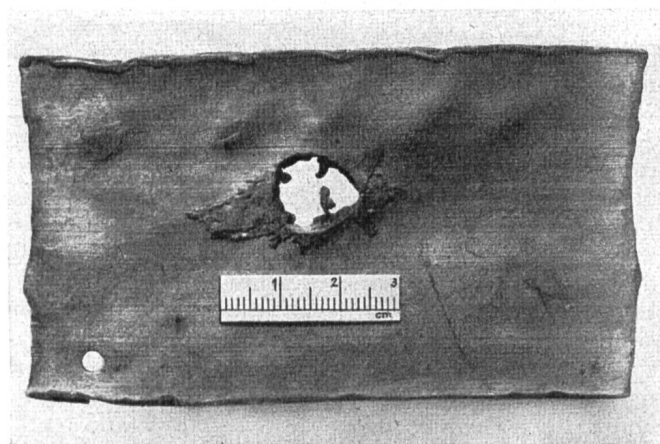


Fig. 28.

Caractéristique: La caractéristique commune à ces trois échantillons est une cassure dentelée. La gaine du câble aérien est un alliage avec 3 % d'étain; malgré l'échauffement intense par les rayons du soleil, le grain est ici le plus petit. La gaine des deux autres câbles est sans alliage, mais le grain du plomb du câble posé sur un pont est distinctement plus gros que celui de l'autre échantillon.

Vues au microscope, les surfaces des cristallites n'accusent pas de corrosion chimique importante; cependant elles sont recouvertes d'une fine pellicule d'oxyde que l'on reconnaît aux couleurs d'arc-en-ciel (les couleurs des couches très minces), pellicule qui s'est formée sous l'influence de l'oxygène de l'air.

Souvent les grains de plomb adhérent si peu les uns aux autres qu'il est facile de les détacher de leur agglomération ou qu'ils se détachent d'eux-mêmes lorsqu'on recourbe le plomb.

2. 2. 5. Perforations électriques.

Les endommagements des gaines de plomb des câbles interurbains à la suite de perforations électri-

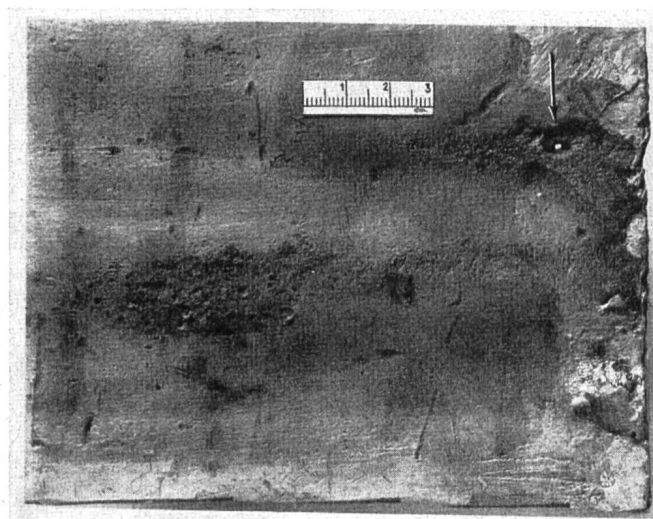


Fig. 29.

ques ne se produisent pas sous l'influence des tensions d'exploitation des installations téléphoniques, mais uniquement lorsque de hautes tensions provenant de l'extérieur sont appliquées aux câbles, ce qui peut se produire soit par des décharges atmosphériques soit par des mises à la terre d'installations à fort courant voisines. La décharge ne se fait naturellement pas par la gaine de plomb, mais par le diélectrique, donc par l'isolation des conducteurs ou l'enveloppe du câble lorsque la mise à la terre de la gaine de plomb est insuffisante. L'arc qui se produit brûle alors un trou dans la gaine de plomb et fait aussi souvent fondre les conducteurs.

Généralement, les trous sont presque parfaitement circulaires, comme s'ils étaient estampés. La présence de petites perles fondues que l'on trouve fréquemment en ces points est un indice infallible. Si la décharge ne se fait pas entre les conducteurs et la gaine, mais entre celle-ci et le caniveau zorès (soit la terre) et que le sol n'est pas très humide, il arrive que l'on ne s'aperçoive longtemps pas de l'endommagement, de sorte que les bords des trous commencent à se corroder.

vorhandenen Schmelzperlen oft den einzigen schlüssigen Beweis für das Vorliegen eines Durchschlages. Die Figuren 27 und 28 zeigen Beispiele von Ausbrennstellen, die leicht als solche zu erkennen sind.

Merkmale: Figur 27, von aussen gesehen, fast rundes Loch von zirka 16 mm mittlerem Durchmesser, Schmelzperlen. Figur 28, von innen gesehen, ovales Loch von ungefähr 13 mm mittlerem Durchmesser, Schmelzperlen, Bleifahren, dadurch entstanden, dass Blei zwischen den Mantel und das Aderbündel floss.

Eine besondere Art von Ausbrennstellen bilden die Schäden, die entstehen, wenn die Spannung gegen Erde, die dem Bleimantel aufgedrückt wird, nicht zu einem kräftigen Lichtbogen ausreicht. Es entstehen in diesem Falle kleine, kurzdauernde Bogen — Funken — die nach und nach kleine Partikel aus dem Blei herausbrennen, bis eine Perforation und damit eine Kabelstörung entsteht. Die so entstandene Oeffnung hat unregelmässige Form, ihre Umgebung sieht in Form und Farbe so aus, als wäre das Blei „angebrannt“, oder auf eine besondere Art korrodiert. Figur 29 zeigt einen solchen Fall, der als Korrosion oder Fabrikationsfehler („verbrannte Blei“) gemeldet wurde.

Merkmale: Unregelmässig geformte, schief gerichtete Oeffnung, Umgebung braun-rötlich verfärbt, mit grauen Flecken, Blei porös. Eingebrennte Eisenkörner.

Die Untersuchung ergab folgendes: Der Schaden war ein Ausbrennloch. Das Kabel liegt an einer Bahnstrecke, die wegen öfteren Erdschlüssen bekannt ist. Der Bleimantel hatte an der Fehlerstelle schlechten Kontakt mit der Eisenkonstruktion einer Brücke; offenbar sprangen längere Zeit Funken über.

2. 3. Korrosionen.

Das Hauptmerkmal eines *Korrosionsschadens* ist immer die an der Fehlerstelle eingetretene *chemische Veränderung des Werkstoffes*, durch die ja der Korrosionsschaden als solcher definiert ist. Korrosionsuntersuchungen gehören deshalb nicht nur im Forschungslaboratorium, sondern auch in der Praxis, in den Aufgabenkreis des Chemikers. Es ist die Arbeit des Chemikers, die dem Techniker den Weg zeigt, der zur Erkennung der Korrosionsursachen und damit zum Endziel der Korrosionsforschung, der Korrosionsverhütung, führt (5, 61).

Wie unter 2. bemerkt, entstehen bei der Bleikabelkorrosion einerseits charakteristische Formen der Anfressung, andererseits bestimmte Bleiverbindungen als Korrosionsprodukte. Aus beiden Erscheinungen ergibt sich vorerst die Möglichkeit, die beiden Hauptgruppen der Korrosion, *chemische* und *elektrolytische* Anfressung, voneinander zu unterscheiden. Im weiteren lassen sich aus der Form der Anfressungen und der vorliegenden Form der Korrosionsprodukte Schlüsse auf die Mitwirkung eines Katalysators ziehen, und endlich weist eine Vergleichung der Art der Korrosionsprodukte mit dem Gehalt an gelösten Substanzen von Boden, Kanalschlamm und -wasser auf die möglichen Ursachen hin. Die Tabellen 1 und 2 enthalten einige dieser Merkmale, die im Ausland beobachtet wurden.

Dans ces cas, ce ne sont souvent que les petites perles fondues qui prouvent qu'il s'agit d'une décharge. Les figures 27 et 28 sont des exemples de points de fusion que l'on reconnaît facilement comme tels.

Caractéristique: La figure 27 montre un trou presque rond vu de l'extérieur, d'un diamètre moyen d'environ 16 mm, avec des petites perles fondues; la figure 28 un trou ovale d'environ 13 mm de diamètre moyen vu de l'intérieur, avec des petites perles fondues et des barbes qui se sont produites du fait que du plomb a coulé entre la gaine et le faisceau des conducteurs.

Un genre spécial de points fondus est celui des endommagements qui se produisent lorsque la tension contre terre appliquée à la gaine de plomb ne suffit pas à former un arc d'une certaine intensité. Dans ce cas, on a affaire à des arcs de courte durée — des étincelles — qui, peu à peu, font fondre de petites particules du plomb jusqu'à ce qu'il en résulte une perforation et, de ce fait, un dérangement du câble. Le trou accuse une forme irrégulière, ses environs donnent l'aspect, par leurs formes et leurs couleurs, de plomb attaqué par le feu ou un certain genre de corrosion. La figure 29 montre un de ces cas qui avait été signalé comme étant de la corrosion ou un défaut de fabrication (plomb brûlé).

Caractéristique: Trou oblique de forme irrégulière, couleur autour du trou brun-rouge avec taches grises, plomb poreux, particules de fer incrustées.

Le résultat des recherches fut le suivant: L'endommagement consistait en un trou fondu. Le câble se trouvait à proximité d'une ligne de chemin de fer connue par ses fréquents courts-circuits. A l'endroit du défaut, la gaine de plomb était en mauvais contact avec la construction métallique d'un pont; il est certain que des étincelles jaillissaient depuis longtemps.

2. 3. Corrosion.

Une *détérioration par la corrosion* est toujours caractérisée par la *modification chimique de la matière* se produisant à l'endroit du défaut et par laquelle elle se définit d'elle-même. C'est la raison pourquoi les recherches sur la corrosion font partie de la sphère d'activité du chimiste non seulement dans les laboratoires mais aussi dans la pratique. Le résultat du travail du chimiste doit montrer au technicien le chemin à suivre pour reconnaître les causes de la corrosion et aboutir au but des recherches sur la corrosion, soit aux mesures de prévention contre la corrosion (5, 61).

Comme nous l'avons fait remarquer sous 2, il se produit dans la corrosion des câbles sous plomb, d'une part, des formes caractéristiques de la corrosion même et, d'autre part, certaines combinaisons de plomb dont résultent les produits de la corrosion. On a ainsi la possibilité de faire d'abord une distinction entre les deux groupes principaux de la corrosion: la corrosion *chimique* et la corrosion *électrolytique*. En outre, on arrive, selon la forme des surfaces attaquées et celle des produits de la corrosion, à faire certaines déductions sur la coopération d'un catalyseur; enfin, une comparaison entre le genre des produits de la corrosion et la teneur du sol, du limon et de l'eau de la canalisation en substances dissoutes permet d'en reconnaître les causes probables. Les tableaux 1 et 2 contiennent quelques-uns de ces indices caractéristiques observés à l'étranger.

Chemische Korrosion.

Tabelle 1.

Form der Freßstellen	Korrosionsprodukt	Beobachter
Gleichmässiger Angriff. Kristallgrenzen sind nicht bevorzugt. Höhlungen ohne unterschrittene Ränder, eher flach, tellerartig.	Karbonat Oxyd Hydroxyd Undurchsichtige, pulverige Produkte oder rote, kristalline Bleiglätte. Korrosionsprodukt ist im wesentlichen Karbonat oder Oxyd. Nitrite können vorhanden sein.	O. Hänel (4, 36, 39) W. G. Radley C. E. Richards (5)
Flächenhafte Anfressungen.		Bartholomew (35)

Elektrolytische Korrosion.

Tabelle 2.

Form der Freßstellen	Korrosionsprodukt	Weitere Merkmale	Beobachter
Steilseitige Höhlungen Lange Furchen. Höhlungen unregelmässig verteilt oder in geraden Linien längs des Kabels. Interkristalliner Angriff.	Grosse Mengen Chlorid sicher für Elektrolyse (Ströme nicht immer messbar). Durchsichtige wässrige Kristalle oder weisse Nadeln. Verbindungen reich an Chloriden und Sulfaten, oft Bleisuperoxyd. Bleisuperoxyd sicher für Elektrolyse, jedoch gibt Elektrolyse nicht unbedingt PbO_2 (PbO_2 wird leicht zersetzt).	Anwesenheit von Säureresten, von Sauerstoff. Der elektrische Strom drängt sich auf gut leitende Stellen zusammen.	O. Hänel (3, 36, 39) W. G. Radley C. E. Richards (5) T. D. F. Messmer (42) C. C. I. (2) Bartholomew (35)
Löcher, Grübchen, Krater.			

Die in den Tabellen 1 und 2 enthaltenen Hinweise beschreiben natürlich bei weitem nicht alle zu beobachtenden Erscheinungen, sie bilden aber eine brauchbare Grundlage für unsere weiteren Betrachtungen. Wir wollen nun im folgenden versuchen, auf Grund eigener Beobachtungen die Merkmale noch etwas eingehender zu schildern. Es kann hier noch vorausgeschickt werden, dass nur die Elektrolyse einheitliche Formen der Anfressung, nämlich kraterartige Aushöhlungen, erzeugt. Bei der chemischen Korrosion entstehen Kavernen mit den mannigfaltigsten Formen.

Les indications contenues aux tableaux 1 et 2 sont naturellement loin de représenter tous les phénomènes observés; mais elles forment une base utile pour les considérations qui suivent. Nous voulons essayer de décrire ci-après plus en détail les caractéristiques sur la base de nos propres observations. Au préalable, nous ferons remarquer que seule l'électrolyse produit une corrosion d'une certaine uniformité, soit des cavités à l'aspect de cratères. La corrosion chimique produit des cavernes aux formes multiples, dépendant de la manière dont l'agent corrosif arrive au plomb.

Corrosion chimique

Tableau 1.

Forme des surfaces corrodées	Produits de la corrosion	Observateur
Corrosion régulière. Les bords des cristaux ne sont pas attaqués plus fortement. Cavités avec bords non évidés, plutôt plates, en forme d'assiette.	Carbonate Oxyde Hydroxyde Produits poudreux opaques ou protoxyde de plomb en cristaux rouges. Le produit de la corrosion est en majeure partie du carbonate ou de l'oxyde. Il peut y avoir présence de nitrites.	O. Hähnel (4, 36, 39)
Attaques corrosives superficielles		W. G. Radley C. E. Richards (5) Bartholomew (35)

Corrosion électrolytique

Tableau 2.

Forme des surfaces corrodées	Produits de la corrosion	Autres indices caractéristiques	Observateur
Cavités à bords raides. Longues cannelures. Cavités réparties irrégulièrement ou en lignes droites le long du câble. Attaque intercrystalline.	Les grandes quantités de chlorure prouvent qu'il s'agit d'électrolyse (les courants ne peuvent pas toujours être mesurés) Cristaux transparents aqueux ou aiguilles blanches. Combinaisons riches en chlorures et sulfates, souvent du peroxyde de plomb.		O. Hähnel (3, 36, 39)
	Le peroxyde de plomb prouve qu'il s'agit d'électrolyse, mais l'électrolyse ne donne pas nécessairement PbO_2 (PbO_2 est légèrement décomposé).	Présence de restes d'acides, d'oxygène. Le courant électrique se concentre sur les parties bonnes conductrices.	W. G. Radley C. E. Richards (5) T. D. F. Messmer (42)
Trous, fossettes, cratères			C. C. I. (2) Bartholomew (35)

tigsten Formen, je nachdem wie das angreifende Agens Zutritt zum Blei findet.

2. 3. 1. Chemische Korrosion.

Im allgemeinen ist die chemische Korrosion gekennzeichnet durch die folgenden Merkmale:

a) Form der Anfressung.

Die Freßstellen sind flache Gruben mit nicht scharf ausgeprägten, eher abgerundeten Rändern. Die

2. 3. 1. Corrosion chimique.

D'une manière générale, les signes distinctifs de la corrosion chimique sont les suivants:

a) Formes des parties corrodées.

Les parties corrodées sont des creux plats dont les bords ne sont pas très marqués et plutôt arrondis. Leur forme est très irrégulière, leur étendue peut être considérable, et la gaine de plomb est souvent atta-

Form der Freßstellen ist ganz unregelmässig, ihre Ausdehnung kann beträchtlich werden, der Bleimantel kann ringsherum und auf Meterlänge gleichmässig angefressen sein.

Ausgesprochene Tiefenwirkung ist nie festzustellen.

Kraterförmige Gruben und nadelstichtartige Durchbohrungen kommen nicht vor.

Interkristalliner Angriff, der zum Zerfall führt, ist nie festzustellen.

An den angefressenen Stellen ist das Blei etwas rau, die Flächen zeigen aber keine auffälligen Erscheinungen.

Manchmal befinden sich in grösseren Freßstellen Inseln, d. h. nicht angegriffene, bis zum natürlichen Niveau (d. h. der Aussenfläche des Bleimantels) reichende Stellen.

Bei langer Dauer des Angriffs kann der Bleimantel auf Längen von mehreren Dezimetern vollständig in Korrosionsprodukt verwandelt werden, dabei aber nicht zerfallen, sondern in seiner ursprünglichen Form vorhanden sein.

Wo sich an der Längsnaht Seitentaschen gebildet haben, kann der korrosive Angriff in diesen Taschen zu ausgedehnten Zerstörungen führen, während die darüberliegende Bleischicht die Unversehrtheit des Mantels vortäuscht.

b) Korrosionsprodukt.

Die Zusammensetzung des Korrosionsproduktes entspricht der Art des angreifenden Mittels.

Wenn aus der Art des Korrosionsproduktes Schlüsse auf die Korrosionsursache gezogen werden sollen, ist zu bedenken, dass bei der Untersuchung häufig nicht das primäre Zersetzungsprodukt vorliegt. Oft findet man in der Hauptsache Bleikarbonat. Es scheint, dass das Bleikarbonat überhaupt das Endprodukt der Bleikorrosion im Boden ist.

Die vorgenannten allgemeinen Merkmale der chemischen Korrosion entstehen überall dort, wo der Angriff sich ungestört, d. h. ohne zusätzliche Einflüsse, abwickeln kann. Wenn die vorgenannten Merkmale angetroffen werden, ist immer daraus zu schliessen, dass sich der Zerstörungsprozess sehr langsam abgespielt hat.

2. 3. 1. 1. Bodenkorrosion.

Im I. Teile wurde unter 2. 3. 1. 1. gesagt, die Bodenkorrosion sei die allgemeinste und häufigste Form der chemischen Kabelschäden. Zahlenmässig bilden aber im Kabelnetz der Schweizerischen Telegraphen- und Telefonverwaltung die Korrosionen in Naturböden, d. h. in Böden, die als angreifende Agenzien nur die Lösungen von Salzen, Säuren und Basen enthalten, wie sie im Boden natürlicherweise vorkommen, einen ganz kleinen Teil der Korrosionsschäden. Der Grund dafür liegt darin, dass diese Bodenkorrosion sehr langsam fortschreitet, und dass andere Einflüsse, wie diejenigen von Fremdstoffen und Katalysatoren, viel eher zu Durchlöcherungen führen. Der Einfluss der Naturböden wird von den anderen Einflüssen verdeckt. Wir müssen also, um der im I. Teile gemachten Einteilung zu folgen, die meisten chemischen Korrosionen in die Kategorien „bodenfremde Stoffe“ und Katalyse einreihen.

quée de façon régulière sur toute sa circonférence et sur une longueur atteignant un mètre ou plus.

On ne constate jamais des effets très prononcés en profondeur.

Des creux en forme de cratères et des perforations en forme de piqûres d'épingles ne se produisent pas.

Des attaques intercrystallines, cause de la désagrégation, ne sont jamais constatées.

Aux parties corrodées, le plomb est un peu rêche, mais les surfaces n'ont pas un aspect particulier.

On trouve quelquefois des îlots sur des surfaces d'une certaine étendue, c'est-à-dire des parties qui n'ont pas été attaquées et dont le niveau naturel (surface extérieure de la gaine) n'a pas varié.

En cas de longue durée de l'attaque corrosive, la gaine de plomb peut être complètement transformée en produit de corrosion sur un espace de plusieurs décimètres, et cela sans se désagréger mais en conservant sa forme primitive.

Là où des poches latérales se sont formées près de la suture longitudinale, l'attaque corrosive peut provoquer de vastes détériorations dans ces poches, tandis que l'aspect de la couche de plomb superposée peut faire croire que la gaine est intacte.

b) Produits de la corrosion.

La composition du produit de la corrosion correspond à la nature de l'agent corrosif.

Si l'on veut tirer des conclusions sur la cause de la corrosion d'après la nature de son produit, on doit tenir compte de ce que, au moment des essais, on n'est souvent pas en présence du produit primaire de la désagrégation. On trouve dans la majorité des cas surtout du carbonate de plomb. Il semble d'ailleurs que le carbonate soit le produit final de la corrosion du plomb dans le sol.

Les indices caractéristiques précités de la corrosion chimique apparaissent partout où le processus de la corrosion se déroule sans être dérangé, c'est-à-dire sans subir d'autres influences. Lorsqu'on est en présence de ces indices, on peut en déduire que la désagrégation a eu lieu très lentement.

2. 3. 1. 1. Corrosion due à la constitution du sol.

Nous avons fait remarquer dans la première partie sous 2. 3. 1. 1 que ce genre de corrosion est celui qui provoque le plus fréquemment des dommages d'origine chimique. Dans le réseau des câbles de l'administration des télégraphes et des téléphones suisses, les cas de corrosion en sol naturel, c'est-à-dire dans les sols ne contenant comme agents corrosifs que des dissolutions de sels, d'acides et de bases telles qu'elles se trouvent à l'état naturel dans le sol, sont en très petit nombre. La raison en est que la corrosion due à la constitution du sol agit très lentement et que d'autres influences comme celles de substances étrangères et de catalyseurs provoquent plus rapidement des perforations. L'influence des sols naturels est supplantée par d'autres influences. En vue d'observer la classification établie dans la première partie, nous devons donc ranger la plupart des corrosions chimiques selon les catégories: „substances étrangères au sol“ et „catalyse“.

La figure 30 montre un cas qui a été considéré comme étant dû à la seule constitution du sol, vu que d'autres influences n'ont pas pu être prouvées.

Figur 30 zeigt einen Fall, der als reine Bodenkorrosion angesprochen werden musste, da andere Einflüsse nicht nachweisbar waren.

Merkmale: Flache Mulden von unregelmässiger Form, keine scharfen Ränder. Das Korrosionsprodukt besteht in der Hauptsache aus rotem Bleioxyd, das als glänzende, harte und rissige Schicht rings um den Bleimantel herum dem Blei fest anhaftet. An einigen Stellen findet sich gelbes Bleioxyd. Die Bleioxydschichten sind stellenweise, teils oberflächlich, teils in der ganzen Dicke, in pulveriges, basisches Bleikarbonat verwandelt.

Das Kabel war bei der Hebung des Fehlers 43 Jahre alt. Die Umhüllung — Papier und Jute — war zu einer dünnen mulmigen Schicht verrottet.

Einen weiteren Fall zeigt Figur 31.

Merkmale: Flache Mulden von beträchtlicher Ausdehnung, ohne scharfe Ränder. Das Korrosionsprodukt war an der Oberfläche weiss, pulverig, in der Tiefe weiss-grau-grünlich, sodaähnlich. Das Weisse war Karbonat, das übrige bestand aus viel Sulfat, etwas Nitrat und Spuren von Chlorid.

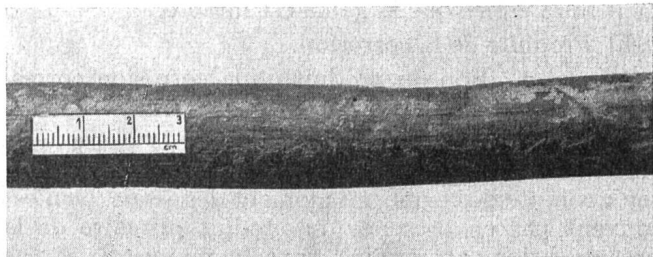


Fig. 31.

Das Kabel war bei der Fehlerhebung 40 Jahre alt. Die Jute war verhältnismässig gut erhalten, das Papier dagegen völlig verrottet.

(Fortsetzung folgt)

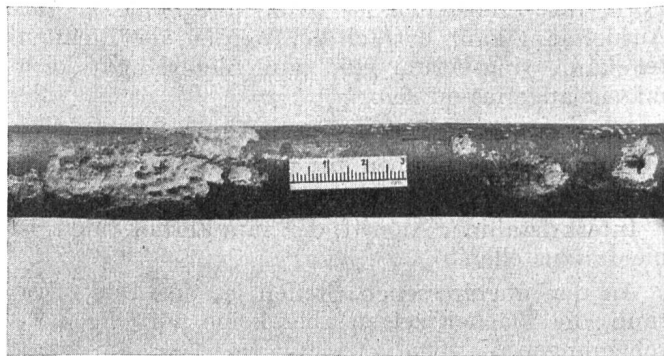


Fig. 30.

Caractéristique: Dépressions plates de forme irrégulière, pas de bords vifs. Le produit de la corrosion est en majeure partie de l'oxyde de plomb rouge qui adhère fortement tout autour de la gaine de plomb en couche brillante, dure et crevassée. A quelques endroits, on trouve de l'oxyde de plomb jaune. Par places, les couches d'oxyde de plomb sont en partie superficielles et en partie transformées dans toute leur épaisseur en carbonate de plomb basique pulvérulent.

Au moment de la levée du défaut, le câble avait 43 ans. L'enveloppe constituée par du papier et du jute était complètement pourrie.

Un autre cas est représenté à la figure 31.

Caractéristique: Dépressions plates d'une étendue considérable sans bords vifs. A la surface, le produit de la corrosion était blanc, pulvérulent, et en profondeur de couleur blanc-gris-vert, ressemblant à de la soude. La substance blanche était du carbonate, le reste était composé de beaucoup de sulfate, d'un peu de nitrate et de traces de chlorure.

Au moment de la levée du défaut, le câble avait 40 ans. Le jute était relativement bien conservé, le papier par contre était complètement pourri.

(à suivre)

Der optische Nummernanzeiger.

Von Ernst Bühler, St. Gallen. 621.395.632.21

Bereits vor zehn Jahren hat die Firma Hasler A.G. in Bern einen sogenannten optischen Nummernanzeiger (Opt.Nr.) geschaffen. Er erlaubt die Vermittlung telephonischer Verbindungen von Teilnehmern automatischer Zentralen zu den Teilnehmern einer Handzentrale, oder über diese zu den Teilnehmern einer angeschlossenen automatischen Zentrale. In den Technischen Mitteilungen Nr. 1 vom Jahre 1934 hat A. Kehl eine solche Einrichtung, wie sie in der Zentrale Thun im Betrieb stand, beschrieben. Inzwischen ist diese sinnreiche Einrichtung noch wesentlich verbessert worden und hat sich zu einem wichtigen Behelf im Fernverkehr entwickelt. Obwohl der optische Nummernanzeiger nur eine vorübergehende Verwendung finden dürfte, wird er doch noch während Jahren recht gute Dienste leisten und dazu beitragen, die sukzessive Einführung des vollautomatischen Telephonbetriebes zu erleichtern und zu fördern.

L'indicateur optique de numéro.

Par Ernest Bühler, St-Gall. 621.395.632.21

Il y a dix ans déjà que la maison Hasler S. A. a créé ce qu'on appelle l'indicateur optique de numéro. Cet appareil permet d'établir des communications téléphoniques d'un abonné d'un central automatique à un abonné d'un central manuel ou, par ce central, à un abonné d'un central automatique qui y est raccordé. Dans le premier numéro du bulletin technique de 1934, A. Kehl décrit déjà ce dispositif tel qu'il était en service à cette époque à Thoun. Depuis lors, cette ingénieuse installation a été sensiblement perfectionnée et est devenue un des dispositifs auxiliaires les plus précieux pour les relations interurbaines. Bien que l'indicateur optique soit destiné à disparaître avec le temps, il rendra encore de grands services pendant des années et facilitera et accélérera l'introduction successive du service téléphonique automatique intégral.

Par suite du retard apporté à l'automatisation par la guerre, l'administration des téléphones a été