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: 6

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

Autor: Sandmeier, F.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-873204

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: 24.01.2026

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

meilleure qualité. La vitesse de propagation étant beaucoup plus grande sur les circuits non chargés, on n'aura pas de phénomènes d'écho comme sur les circuits à 4 fils ordinaires sur circuits chargés, et il n'y aura pas de précautions spéciales à prendre. Grâce à l'utilisation de nouveaux éléments, l'encombrement des équipements a été réduit, et la sécurité à l'exploitation augmentée par divers dispositifs de commutation automatique et de surveillance.

Les systèmes de courants porteurs à 12 voies sont appelés à être introduits à l'avenir sur une plus grande échelle dans les réseaux interurbains nationaux ou internationaux. On a même prévu de les utiliser comme groupes de base dans les systèmes de transmission sur câbles coaxiaux, où ils seraient transposés par modulation successive les uns à côté des autres dans le spectre de fréquences. Puisque de tels câbles coaxiaux peuvent transmettre une bande de fréquences allant jusqu'à 1000 kc/s on pourrait à la rigueur transmettre simultanément jusqu'à 240 conversations téléphoniques. De tels systèmes ne sont justifiés, il est vrai, que là où la densité des longs circuits interurbains est suffisamment grande.

Puisque la téléphonie multiple est appelée à se développer, il est bon que le personnel se familiarise davantage avec ses principes, et tel était le but de cet article.

Bibliographie.

Campbell, George A. Physical Theory of the Electric Wave-Filter. Bell Syst. Techn. J. 1 (1922), November, p. 1.

Chesnut, R. W., L. M. Ilgenfritz and A. Kenner. Cable Carrier Telephone Terminals. Bell Syst. Techn. J. 17 (1938), January, p. 106.

Clark, A. B. and B. W. Kendall. Carrier in Cable. Bell Syst. Techn. J. 12 (1933), July, p. 251.

de Groot, F. A. und P. J. den Haan. Modulatoren für Trägerfrequenztelephonie. Philips techn. Rdsch. 1942, Nr. 3, S. 87.

Düll, H. Das deutsche Zwölfband Trägerfrequenzsystem. Europ. Fernsprechdienst 1939, 51. Folge, S. 43.

Düll, H. und F. Strecker. Ein Streckenversuch mit dem U-System, einem 12fach-System mit unbelasteten Leitungen. Europ. Fernsprechdienst 1942, 60. Folge, S. 3.

Green, C. W. and E. J. Green. A Carrier Telephone System for Toll Cables. Bell Syst. Techn. J. 17 (1938), January, p. 80.

Holbrook, B. D. and J. T. Dixon. Load Rating Theory for Multi-Channel Amplifiers. Bell Syst. Techn. J. 18 (1939), October, p. 624.

Jacobsen, B. B. The Effect of Non-Linear Distorsion in Multi-Channel Amplifiers. Electrical Commun. 19 (1940—41), N° 1, p. 29.

Kruse, Sigurd. Theory of Rectifier Modulators. Ericsson Technics 1939, N° 2, p. 17.

Lane, C. E. Crystal Channel Filters for the Cable Carrier System. Bell Syst. Techn. J. 17 (1938), January, p. 125.

Mason, W. P. Electrical Wave-Filters employing Quartz Crystals as Elements. Bell Syst. Techn. J 13 (1934), July, p. 405.

Peterson, E. and L. W. Hussey. Equivalent Modulators Circuits. Bell Syst. Techn. J. 18 (1939), January, p. 32.

Peterson, E., J. M. Manley and L. R. Wrathall. Magnetic Generation of a Group of Harmonics. Bell Syst. Techn. J. 16 (1937), October, p. 437.

Schmid, A. Die Wirkungsweise der Ringmodulatoren. Siemens Veröff. a. d. Gebiete d. Nachrichtentechn. 1936, 3. Folge, S. 145.

Thierbach, D. und H. Jacoby. Ueber die Verteilung der Sprechspannungen bei der Uebertragung zahlreicher trägerfrequenter Gespräche. Z. f. techn. Physik 1936, H. 12, S. 553.

van der Pol, Balth. et Th. J. Weijers. Filtres électriques. Rev. techn. Philips 1 (1936) N° 8, p. 240; N° 9, p. 271; N° 10, p. 298; N° 11, p. 331; N° 12, p. 376.

Zobel, Otto J. Theory and Design of Uniform and Composite Electrical Wave-Filters. Bell Syst. Techn. J. 2 (1923), January, p. 1.

Wie erkennt man Art und Ursache der Schäden an Bleikabeln?

Von *F. Sandmeier*, Bern.

(Fortsetzung und Schluss.) 621.315.2.004.6

2. 3. 1. 2. *Korrosion durch bodenfremde Stoffe.*

Die Gefährdung durch bodenfremde Stoffe ist, wie unsere Praxis zeigt, viel grösser, als die Gefährdung durch Naturböden. Das ist leicht verständlich, wenn man in Betracht zieht, dass die meisten Kabel einerseits in dichtbesiedelten Gegenden, anderseits häufig in Kulturböden liegen, wo die Wahrscheinlichkeit der Infiltrierung mit Abwässern oder Düngstoffen gross ist.

Die Form der Anfressungen ist die gleiche, wie beim Angriff in Naturböden. Im Korrosionsprodukt findet man aber Bleiverbindungen, die in bezug auf Menge und Zusammensetzung in Naturböden nicht entstehen können und deshalb auf Fremdstoffe hinweisen. Als hauptsächlichste Bleiverbindungen sind hier Chloride, Nitrate und Sulfate anzutreffen. Da diese Verbindungen sonst als charakteristisch für elektrolytische Korrosion angesehen werden, muss durch eingehende Untersuchung nach Elektrolysemerkmalen gefahndet werden.

Die Figuren 32 bis 35 zeigen vier charakteristische Fälle.

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

2. 3. 1. 2. *Corrosion par des substances étrangères au sol.*

Nos expériences ont prouvé que les dangers provenant de substances étrangères au sol sont beaucoup plus grands que les dangers dus au sol naturel, ce qui est fort compréhensible si l'on considère que la plupart des câbles reposent dans des régions très peuplées ou dans des terrains cultivés, où la possibilité d'une infiltration d'égouts ou d'engrais est très grande.

La forme de la corrosion est la même que celle de la corrosion dans des sols naturels. Mais dans le produit de la corrosion, on trouve des combinaisons de plomb qui, aux points de vue de la quantité et de la composition, ne peuvent pas se former dans des sols naturels et qui, par conséquent, indiquent bien qu'il s'agit de substances étrangères. Les combinaisons de plomb que l'on rencontre ici le plus fréquemment sont des chlorures, des nitrates et des sulfates. Ces combinaisons caractérisant normalement la corrosion électrolytique, on doit poursuivre minutieusement les recherches en vue de découvrir des indices se rapportant à l'électrolyse.

Fig. 32.

Merkmale: Figur 32: Kleinste und grössere, rundliche Angriffstellen, teils einzeln, teils zu unregelmässig geformten Nestern vereinigt. Die einzelnen Freßstellen haben Aehnlichkeit mit Elektrolysekratern (siehe unter 2. 3. 2.), sind aber deutlich von diesen zu unterscheiden durch ihre flache Form und die Beschaffenheit ihrer Wände. Das Korrosionsprodukt ist oben weiss, pulverig, in der Tiefe graulich, sodaähnlich und sitzt als über die Bleioberfläche emporgetriebene Warze fest in der Höhlung. Das Weisse war Karbonat, das andere bestand aus Nitrat, Sulfat und Chlorid.

Als *Ursache* der Korrosion wurde eine in unmittelbarer Nähe befindliche Bedürfnisanstalt erkannt.

Figur 33: Der Bleimantel ist rundherum ziemlich gleichmässig zersetzt. Unter dem Mikroskop lassen sich auch die einzelnen Freßstellen, ähnlich wie im Falle der Figur 31, erkennen, die Zersetzung ist aber so weit fortgeschritten, dass alle Einzel-Angriffstellen miteinander vereinigt wurden. Das Korrosionsprodukt war beschaffen wie im Falle, der in Figur 31 dargestellt ist, nur dass auf dem Grunde der Höhlungen noch Reste von rotem Bleioxyd vorhanden waren.

Fig. 33.

Als *Ursache* kamen Abwässer aus einer benachbarten Molkerei in Betracht.

Figur 34: Der Bleimantel ist teils fleckenweise, teils rundherum zersetzt. Die Zersetzung hat sich stellenweise durch die ganze Bleidicke vollzogen. Das Zersetzungsprodukt ist eine graue, feste, mit dem Messer schneidbare Masse und besteht zur Hauptsache aus Bleiformiat (dem Bleisalz der Ameisensäure), das sich an der Oberfläche in schmutzigweisses, pulveriges Karbonat verwandelt hat.

Ursache der Korrosion war ein im Kabelkanal angelegtes Ameisennest. Der Fall ist der im I. Teile unter 2. 3. 1. 2 erwähnte.

Les figures 32 à 35 montrent quatre cas caractéristiques.

Caractéristiques: Figure 32: Points corrodés circulaires parfois très petits et parfois plus grands, réunis partiellement en nids irréguliers. Les parties corrodées ont quelque ressemblance avec les cratères dus à l'électrolyse (voir sous 2. 3. 2), mais on les distingue de ceux-ci par leur forme plate et la constitution de leurs parois. Le produit de la corrosion est blanc et pulvérulent à la surface, et grisâtre dans le genre de la soude au fond; il se trouvait solidement fixé dans le creux tout en ayant la forme d'une verrue à la surface du plomb. La masse blanche est du carbonate, le reste est composé de nitrate, de sulfate et de chlorure.

La proximité d'un cabinet d'aisances était la *cause* de la corrosion.

Figure 33: La gaine de plomb est décomposée assez régulièrement sur tout son pourtour. Au microscope, on reconnaît aussi les points attaqués, de façon analogue au cas de la figure 31, mais la corrosion est tellement avancée que tous les points attaqués se trouvent réunis. Le produit de la corrosion était constitué comme dans le cas de la figure 31, sauf qu'au fond des creux il y avait encore des restes d'oxyde de plomb rouge.

La *cause* provenait des eaux d'écoulement d'une laiterie voisine.

Figure 34: La gaine de plomb est décomposée en partie sous forme de taches isolées et en partie sur tout son pourtour. Par places, la décomposition s'est étendue à travers toute l'épaisseur du plomb. Le produit de décomposition est une masse grise solide, qui peut être coupée avec un couteau, et il est constitué en majeure partie de formiate de plomb (le sel de plomb de l'acide formique) qui s'est transformé à la surface en carbonate pulvérulent d'un blanc sale.

La *cause* de la corrosion était un nid de fourmis installé dans le canal du câble, cas mentionné sous 2. 3. 1. 2 dans la première partie de l'exposé.

Figure 35: La gaine de plomb est attaquée sous forme de taches ou sur tout son pourtour. Les parties attaquées sont très poreuses; vues au microscope, elles ont l'aspect d'une éponge. Les pores sont disséminés entre les cristallites ou à travers ceux-ci. Le produit de la corrosion est de couleur brun-gris foncé ou blanc sale et est constitué de nitrate et de chlorure, mais principalement de carbonate.

A l'endroit du défaut, les conducteurs de cuivre étaient aussi fortement attaqués et en partie rongés jusqu'à la moitié de leur section.

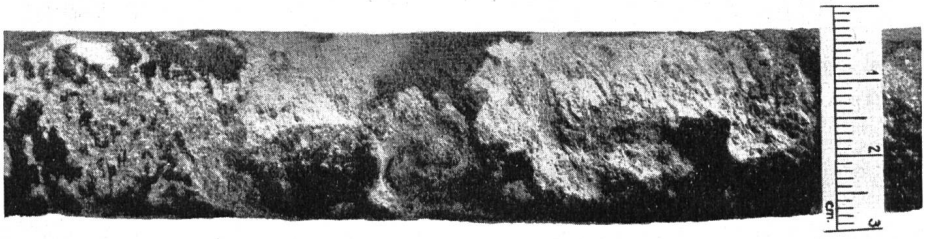

Fig. 34.

Figur 35: Der Bleimantel ist teils fleckenweise, teils rundherum angegriffen. Die angegriffenen Stellen sind stark porig, sie sehen unter dem Mikroskop aus wie ein Badeschwamm. Die Poren ziehen sich zwischen den Kristalliten oder quer durch diese hindurch. Das Korrosionsprodukt ist dunkelbraungrau oder schmutzigweiss gefärbt. Es besteht aus Nitrat, Chlorid und zur Hauptsache aus Karbonat.

An der Fehlerstelle waren auch die Kupferadern stark angegriffen, teilweise bis zur Hälfte des Querschnitts weggefressen.

Die *Ursache* konnte nicht ermittelt werden. Da das Kabel durch den Vorplatz eines Hauses, neben Hauseingang und Garten, geführt ist, liegt die Annahme der Infiltration mit einem, bei der Fehlerhebung nicht mehr feststellbaren, stark angreifenden Agens nahe.

La *cause* n'a pas été déterminée. Comme le câble est conduit par la cour d'une maison et à proximité de l'entrée et du jardin, il s'agit probablement de l'infiltration d'un agent très actif qui n'a pu être reconnu au moment de la levée du dérangement.

2. 3. 1. 3. *Corrosion par des matériaux de construction.*

Dans la première partie, nous avons fait remarquer sous 2. 3. 1. 3 que, de tous les matériaux de construction, c'est la chaux qui joue le rôle principal comme agent corrosif, et que c'est aussi elle qu'il faut le plus craindre dans la corrosion due à la constitution du sol. Tous les autres matériaux de construction sont relégués à l'arrière-plan comparativement à l'effet de la chaux. Le ciment est corrosif parce qu'il rend de la chaux. Tous les genres de mortier à la chaux, de mortier au ciment et de béton

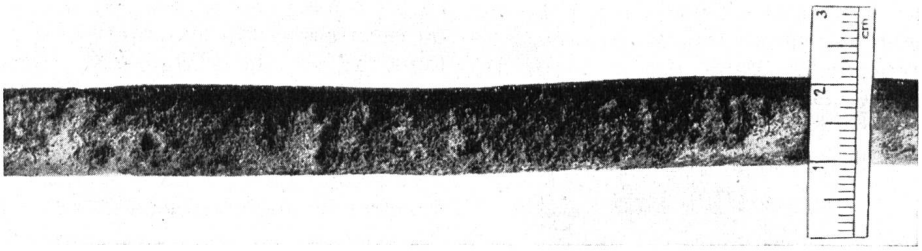

Fig. 35.

2. 3. 1. 3. *Korrosion durch Baumaterialien.*

Wie im ersten Teile unter 2. 3. 1. 3 erwähnt, spielt von den Baumaterialien als korrosives Agens der Kalk die grösste Rolle, wie ja auch der Kalk bei der Bodenkorrosion am meisten zu fürchten ist. Alle übrigen Baumaterialien treten vor der Wirkung des Kalkes in den Hintergrund. Zement ist korrosiv, weil er Kalk abgibt. Gefährlich sind also alle Arten von Kalkmörtel, Zementmörtel und Beton. Einen charakteristischen Fall, charakteristisch besonders

offrent donc du danger. La figure 36 montre un cas caractéristique surtout du fait qu'il exclut très sûrement d'autres influences.

Caractéristique: Dépressions plates en forme d'évasements, remplies d'oxyde de plomb brillant rouge-clair en couche dure crevassée. Le câble reposait dans une galerie d'amenée d'eau d'une usine d'énergie et était muni d'une double gaine de plomb. L'armure était disposée entre les deux gaines et s'était marquée par des renflements sur la gaine extérieure. Le

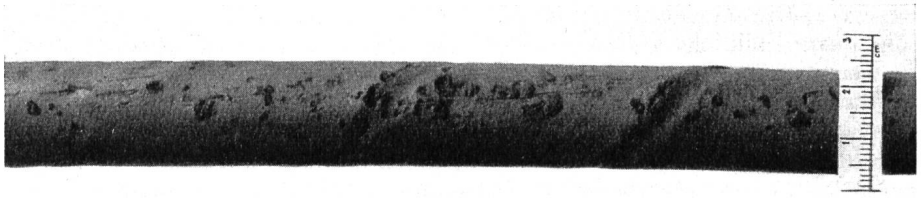

Fig. 36.

deswegen, weil er andere Einflüsse mit grösster Sicherheit ausschliesst, zeigt die Figur 36.

Merkmale: Flach-tellerförmige Mulden, gefüllt mit glänzend hellrotem Bleioxyd in harter, rissiger Schicht.

Das Kabel lag im wassergefüllten Zulaufstollen eines Kraftwerkes und hatte doppelten Bleimantel. Die Armierung befand sich zwischen dem inneren und äusseren Bleimantel und hat sich im äusseren Blei durch Ausbuchtungen abgezeichnet. Das Blei ist durch das Ziehen auf der Stollensohle etwas zerschürft worden.

Einen etwas alltäglicheren Fall, nämlich eine Mauerdurchführung, zeigt Figur 37.

plomb avait été un peu éraflé par le tirage sur le fond de la galerie.

Un cas plus fréquent est celui représenté à la figure 37; il s'agit d'un passage à travers un mur.

Caractéristique: La partie attaquée accuse une longueur de 6,5 cm; sur une surface de 18 × 5 mm, la gaine est complètement transformée en oxyde de plomb. A sa surface extérieure, l'oxyde de plomb s'est converti en carbonate. Sous le produit de la corrosion, la surface du plomb est lisse.

2. 3. 1. 4. *Corrosion chimique sous l'effet de la catalyse.*

De tous les genres de corrosion y compris l'électrolyse, l'attaque chimique avec coopération d'un cata-

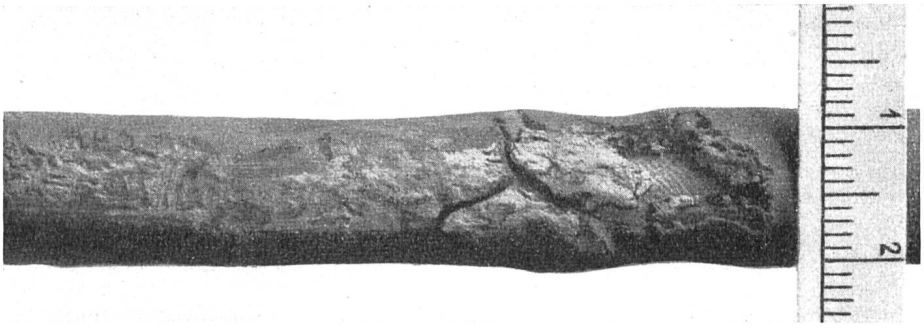

Fig. 37.

Merkmale: Länge der Angriffstelle 65 mm, darin ist auf einer Ausdehnung von 18 × 5 mm der Bleimantel durchgehend in Bleioxyd verwandelt. Aussen hat sich das Bleioxyd in Bleikarbonat umgesetzt. Das Blei zeigt unter dem Korrosionsprodukt eine glatte, blanke Fläche.

2. 3. 1. 4. *Chemische Korrosion unter Katalyse.*

Der chemische Angriff unter Mitwirkung eines Katalysators führt von allen Korrosionsarten, Elektrolyse inbegriffen, am schnellsten zur Durchlöcherung der Kabelmäntel, weil er ausgesprochen selektiv wirkt, d. h. sich auf ganz kleine Bezirke beschränkt (Lochfrass). Ein selektiver Angriff erfolgt sonst nur bei der Elektrolyse. Die durch Elektrolyse, nach der Definition im I. Teile unter 2. 3. 2, erzeugten Freßstellen unterscheiden sich aber so deutlich von den durch chemischen Angriff unter Katalyse entstandenen, dass beide nicht miteinander verwechselt werden können.

Im I. Teile ist unter 2. 3. 1. 4. bereits einiges über die chemische Korrosion unter Katalyse gesagt worden. Wir wollen hier nochmals festhalten, dass, nach dem heutigen Stande der Erkenntnis, als Katalysator nur die im Teer, mit dem die Kabelhülle getränkt ist, enthaltenen Phenole in Betracht fallen. Wir bezeichnen deshalb diese Korrosionsart in der Folge mit dem Namen „*Phenolkorrosion*", unter dem ausdrücklichen Vorbehalt, dass dieser Hilfsbegriff nicht die Korrosionsursache bezeichnet. Ferner müssen wir uns daran erinnern, dass die Annahme, Phenol sei der Katalysator, auf der Wahrnehmung beruht, dass die charakteristischen Anfressungen immer nur dann entstehen, wenn Phenol in der Kabelhülle enthalten ist.

lyseur est celle qui conduit le plus rapidement à la perforation des gaines de plomb, ceci du fait qu'elle agit de façon très sélective, c'est-à-dire qu'elle se limite à de toutes petites zones. Une attaque sélective n'a lieu, outre ce cas, que dans l'électrolyse. Mais les parties rongées par l'électrolyse selon la définition mentionnée dans la première partie de l'exposé sous 2. 3. 2 se distinguent si bien de celles produites par l'attaque chimique sous l'effet de la catalyse qu'on ne peut les confondre.

Dans la première partie, nous avons déjà fait allusion à certaines particularités de la corrosion chimique agissant sous l'effet de la catalyse. Nous voulons encore une fois préciser ici que, selon l'état actuel des connaissances dans ce domaine, seuls les phénols contenus dans le goudron dont l'enveloppe de câble est imprégnée entrent en ligne de compte comme catalyseurs. Nous désignerons donc dans la suite du présent exposé ce genre de corrosion par le terme de „*corrosion au phénol*"; mais il est bien entendu que ce terme auxiliaire ne désigne pas la cause de la corrosion. D'autre part, nous devons nous rappeler que l'hypothèse selon laquelle le phénol agit à titre de catalyseur repose sur la constatation que la corrosion caractéristique ne se produit que lorsque du phénol est contenu dans l'enveloppe du câble.

On doit d'abord se demander de quoi dépend l'attaque sélective si prononcée, du moment que la corrosion chimique, même si elle se produit sous l'effet d'un catalyseur, devrait se manifester plutôt sur une surface d'une certaine étendue. A l'avis de l'auteur du présent exposé, la cause consiste dans la manière spéciale dont le goudron contenant du phénol entre en contact avec le plomb. Il est vrai que l'insuffisance

Man muss sich nun zuerst fragen, durch was dieser so stark ausgeprägte selektive Angriff bedingt ist, da ein chemischer Angriff, auch unter Katalyse, mehr flächenhaft erfolgen müsste. Nach der Ansicht des Verfassers kann der Grund nur in der besonderen Art liegen, in welcher der phenolhaltige Teer mit dem Blei in Berührung kommt. Zum Teil spielen allerdings auch Unzulänglichkeiten oder eigentliche Fehler beim Aufbringen der Kabelhülle auf den Bleimantel mit, wie dies noch näher ausgeführt wird.

Wie alle Korrosionsarten kann sich auch die Phenolkorrosion nur dann entwickeln, wenn Feuchtigkeit zugegen ist. Da Phenol im Wasser etwas löslich ist, wäre zu erwarten, dass die nach und nach entstandene Lösung von Phenol in Wasser das Blei auf grösseren Flächen benetzen und die bekannten, ausgedehnten und flachen Gruben hervorrufen würde. Das ist durchaus nicht der Fall: Phenolanfressungen entstehen immer und ohne Ausnahme nur dort, wo das Jutegarn am Kabel anliegt, wie dies in Figur 38 angedeutet wird.

Man muss deshalb annehmen, dass nicht das im Wasser gelöste Phenol wirksam ist, sondern nur das noch im Teer enthaltene, an der Jutefaser haftende, und dass die Wirkung durch die Papierlagen hindurch stattfindet, d. h., dass vielleicht noch osmotische Vorgänge, über die zur Zeit noch nichts bekannt ist, mitspielen. Im Papier konnte in unsern Untersuchungen in den wenigsten Fällen Phenol nachgewiesen werden, und das auch nur unsicher. An anderen Orten konnte nicht nachgewiesen werden, ob das Papier von Anfang an Phenol enthielt, oder solches aus der Jute aufnahm (62).

Infolge dieser — noch ganz unerforschten — Vorgänge entstehen dann die auffälligen, spiralig angeordneten und *dem Drall der Juteumspinnung folgenden* Zeilen von einzelnen Freßstellen. Figur 39 gibt ein Beispiel davon.

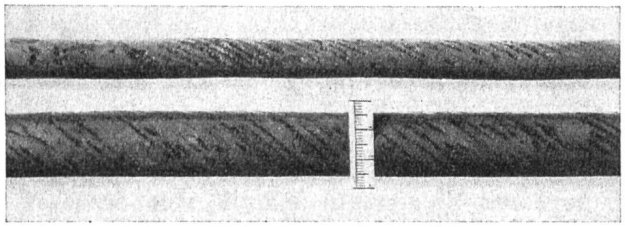

Fig. 39.

Diese Spiralen sind charakteristisch für die Phenolkorrosion, sie sind aber kein spezifisches Merkmal. Auch elektrolytische Anfressung kann Spiralen erzeugen, nämlich in den Papierfugen, oder wenn die Jute als Docht wirkt, der den Elektrolyten ansaugt.

Im weiteren müssen wir uns daran erinnern, dass nicht das Phenol angreift, sondern die korrosive Bodenfeuchtigkeit, mit andern Worten, dass also immer nur dort Freßstellen entstehen, wo das Wasser Zutritt zum Blei hat. Es wird oft gesagt, Phenol greife das Blei nur an, wenn Kohlensäure (CO_2) zugegen sei (63). Diese Aussage ist irreführend. Unsere Untersuchungen ergaben im Korrosionsprodukt, neben Bleikarbonat, auch Sulfat, Nitrat und Chlorid. Phenol wirkt also als Katalysator nicht nur bei de l'application de l'enveloppe sur la gaine de plomb joue également un certain rôle, comme nous le verrons plus loin.

Tel que c'est le cas pour tous les genres de corrosion, la corrosion au phénol ne peut se développer que s'il y a présence d'humidité. Le phénol pouvant quelque peu se dissoudre dans l'eau, on devrait s'attendre à ce que la dissolution du phénol qui se produit petit à petit devrait mouiller le plomb sur des surfaces d'une certaine étendue et y produire les creux plats connus. Ceci n'est pas du tout le cas: la corrosion au phénol ne se produit toujours et sans exception que là où le jute touche le câble, comme nous le montrons à la figure 38.

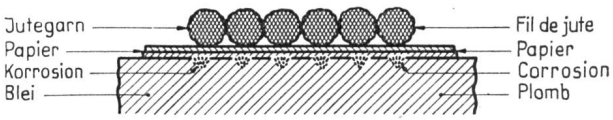

Fig. 38.

Il faut donc admettre que ce n'est pas le phénol dissout dans l'eau qui agit, mais uniquement celui qui est encore contenu dans le goudron adhérant aux filaments de jute. L'effet se produisant à travers les couches de papier, il est probable que des phénomènes osmotiques actuellement encore inconnus jouent également un rôle. Dans très peu de cas seulement, on a pu constater la présence de phénol dans le papier, et là encore de façon incertaine. Ailleurs, il n'a pas pu être prouvé si le papier contenait dès le début du phénol ou s'il en absorbait du jute (62).

Ces phénomènes produisent les lignes bizarres de certaines parties attaquées, disposées en spirales suivant *le pas hélicoïdal de l'enveloppe de jute*. La fig. 39 en est un exemple.

Ces spirales sont caractéristiques pour la corrosion au phénol, mais elles ne sont pas un indice spécifique. La corrosion électrolytique peut aussi produire des spirales soit dans les interstices du papier ou lorsque le jute agit comme mèche et s'imbibe d'électrolyte.

D'ailleurs, n'oublions pas que ce n'est pas le phénol qui attaque, mais l'humidité corrosive du sol, les parties corrodées ne se formant donc qu'aux endroits où l'eau a accès au plomb. On entend dire parfois que le phénol n'attaque le plomb que s'il y a présence d'acide carbonique (CO_2) (63). Cette assertion est trompeuse. Nous avons constaté lors de nos recherches que le produit de la corrosion contenait en plus du carbonate de plomb aussi du sulfate, du nitrate et du chlorure. Le phénol agit donc comme catalyseur non seulement lorsqu'il y a présence d'acide carbonique, mais aussi d'autres agents, mais en général si le sol contient des eaux corrosives. En effet, on n'a jamais observé des parties corrodées là où le goudron adhérait fortement et de façon „étanche" au plomb, ceci certainement du fait que le goudron qui, en lui-même, n'est pas absolument imperméable écarte cependant les ions agressifs.

Entre le plomb et l'enveloppe, on constate toujours des vides pouvant se former par exemple comme on le voit à la figure 40. La corrosion qui en résulte a alors l'aspect représenté par la figure 41.

Les vides ne se trouvent pas uniquement aux points de superposition des rubans de papier, mais

Kohlensäure, sondern auch bei anderen Agenzien, im allgemeinen bei allen angreifenden Bodenwässern. In der Tat konnten nie Freßstellen beobachtet werden, wo Teer fest, d. h. „wasserdicht" am Blei haftete, offenbar weil der Teer, obschon selbst nicht absolut wasserundurchlässig, doch die angreifenden Ionen abhielt.

Die Untersuchung zeigt immer wieder, dass zwischen dem Blei und der Umhüllung Hohlräume vorhanden sind, die sich beispielsweise so bilden können, wie dies in Figur 40 angedeutet ist. Es entstehen dann Freßstellen, wie sie Figur 41 zeigt.

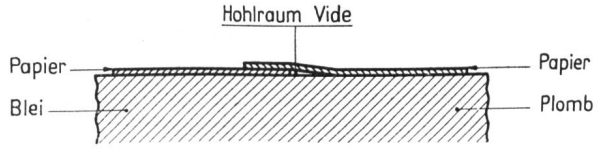

Fig. 40.

à n'importe quel endroit. Si l'on constate dans un cas pas trop ancien que le goudron est encore plastique, on reconnaît distinctement qu'au moment du goudronnage le plomb (avant d'être recouvert de papier) n'a été qu'imparfaitement mouillé par le goudron.

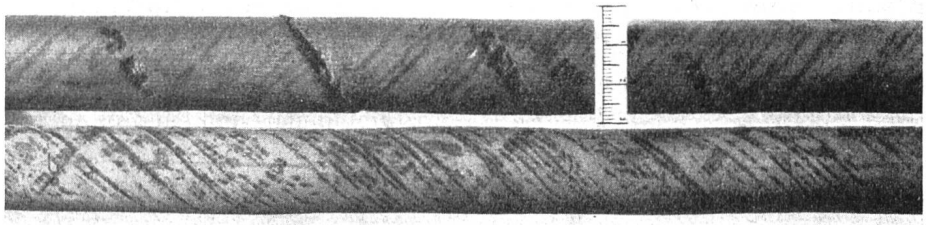

Fig. 41.

Hohlräume werden aber nicht nur an der Ueberlappung der Papierbänder angetroffen, sondern an jeder beliebigen Stelle. Wenn bei der Untersuchung eines nicht zu alten Falles der Teer noch plastisch angetroffen wird, so sieht man deutlich, dass das Blei bei der Teerung (vor der Bewicklung mit Papier), vom Teer nur mangelhaft benetzt worden ist.

Eine weitere Kategorie korrosionsanfälliger Stellen entsteht, wenn das Papier auf dem Kabel gleitet, so dass die Windungen zusammengeschoben werden. Es entstehen dann kleine Wülste mit Hohlräumen im Innern. Die Untersuchung zeigt, dass solche Stellen von einem korrosiven Angriff bevorzugt werden.

Am gefährlichsten sind aber die Papier*fugen*, die als solche eigentlich zu den Fabrikationsfehlern zählen, da Fugen ja nicht entstehen sollten, wenn richtig mit Ueberlappung gewickelt wird. Man scheint bei der Kabelfabrikation in bezug auf den Wicklungssinn nicht überall der gleichen Meinung zu sein. Zum Teil werden alle Papierlagen im gleichen Sinne, zum Teil abwechselnd links- und rechtsläufig gewickelt. Es lässt sich im ersten Falle anscheinend nicht vermeiden, dass die Papierbänder stellenweise Rand auf Rand übereinander zu liegen kommen, anstatt übergreifend. Treten dann noch Störungen im Vorschub des Kabels ein, so verschwindet die Ueberlappung ganz und es entstehen Anordnungen nach Fig. 42.

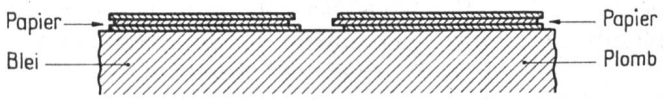

Fig. 42.

Es wurden hier Kabel angetroffen mit Zwischenräumen zwischen den Papierwindungen von einer Breite bis zu 5 mm! Dass solche Stellen leicht angegriffen werden, besonders wenn die Jute noch im gleichen Sinne und mit dem gleichen Drall wie das

Une autre catégorie de points attaquables est créée lorsque le papier glisse sur le câble et que les spires sont refoulées les unes contre les autres, produisant des renflements avec des vides entre le papier et le plomb. L'examen des câbles montre que ces parties sont très sujettes à la corrosion.

Ce qui offre le plus de danger, ce sont les *joints* plus ou moins ouverts des spires du papier qui, comme tels, sont des défauts de fabrication, car ces joints ouverts ne devraient pas se produire si l'enveloppement du câble est fait par superposition des bords du papier. Dans la fabrication des câbles, on ne paraît être partout du même avis au sujet du sens d'enroulement à donner à l'enveloppe de papier. Parfois toutes les couches sont enroulées dans le même sens, et parfois alternativement de gauche à droite et de droite à gauche. Dans le premier cas, il ne paraît pas possible d'éviter qu'à certains endroits les bords des rubans de papier des différentes couches ne se trouvent placés directement les uns sur les autres au lieu d'être déplacés les uns par rapport aux autres. Et lorsque le mécanisme d'avancement du câble se dérange, le recouvrement disparaît et l'on obtient une disposition telle qu'on la voit à la figure 42.

Nous avons trouvé des câbles dont les interstices entre les spires avaient jusqu'à 5 mm de largeur. Il va sans dire que de telles parties sont facilement attaquées, notamment lorsque le jute est enveloppé dans le même sens et au même pas que le papier, et qu'il peut ainsi, en ces points, entrer en contact avec le plomb.

Les faits décrits ci-haut peuvent donc favoriser la corrosion ou du moins la rendre possible; lors des recherches, on doit les considérer comme des facteurs suspects. Cependant, l'examen attentif des parties attaquées permet d'en reconnaître clairement le caractère.

Papier gewickelt ist, und somit an jenen Stellen das Blei berühren kann, liegt auf der Hand.

Die beschriebenen Erscheinungen sind also imstande, die Korrosion zu fördern oder überhaupt zu ermöglichen; sie sind bei der Untersuchung als Verdachtsmomente zu bewerten. Unzweideutige Merkmale liefert nun aber die Betrachtung der Freßstellen.

Die durch chemischen Angriff, mit Phenol als Katalysator, erzeugten Freßstellen sind in bezug auf ihre Form und — in etwas geringerem Masse — die Form des anfallenden Korrosionsproduktes, von einer überraschenden Mannigfaltigkeit. Alle Einzelheiten zu beschreiben, würde zu weit führen; wir müssen uns darauf beschränken, die auffälligsten und für die Erkennung der Korrosionsart wichtigsten zu zeigen.

Allgemeine Merkmale für die Phenolkorrosion sind die extreme Tiefenwirkung und der ebenso extreme interkristalline Angriff. Für die Ursache beider Merkmale haben wir heute noch keine sichere Erklärung, es sei denn, man wolle die leichtere Löslichkeit der unter 2. 2. 4. erwähnten Kittschichten, bzw. der die Kristallite einhüllenden Häute, dafür verantwortlich machen. Der interkristalline Zerfall könnte damit erklärt werden, die Tiefenwirkung nicht. Für die Erkennung der Korrosionsart genügen uns aber die Tatsachen. — Die Tiefenwirkung kann so ausgeprägt sein, dass im Bleimantel durchgehende Löcher entstehen, in die man kaum eine dünne Nähnadel stecken kann. Diese Art von Freßstellen ist bekannt unter dem Namen „Nadelstiche" (27). Sie tritt nicht sehr häufig auf, ist aber ein sicheres Merkmal für Phenolkorrosion.

Schon häufiger ist der Fall anzutreffen, wo der Angriff auf der Bleioberfläche als Nadelstich beginnt, in der Tiefe aber eine grössere Höhlung erzeugt, wie dies in Figur 43 angedeutet ist.

Der Eingang zu diesen Kavernen ist oft ein von blossem Auge kaum oder überhaupt nicht wahrnehmbares Pünktchen. Manchmal besteht das Pünktchen aus einem über die Oberfläche emporragenden Bleiklümpchen. Der Bleimantel sieht dann so aus, wie wenn er zahllose winzige Bleitröpfchen ausgeschwitzt hätte, oder, wo die Oeffnungen grösser und gut erkennbar sind, wie wurmstichiges Holz. Die Untersuchung zeigt, dass die „Tröpfchen" ganz im Anfangsstadium des Angriffs entstanden sind, als eine Aufwölbung des Bleies, weil das in der Angriffstelle entstandene Korrosionsprodukt einen grösseren Raum einnimmt, als das zersetzte Blei. — Gräbt man eine solche Stelle unter dem Mikroskope mit der Nadel auf, so ist man überrascht von der zutagetretenden, umfangreichen „unterirdischen" Zerstörung. Dieser „unterirdische" Frass ist überhaupt eines der auffälligsten Merkmale der Phenolkorrosion.

Eine weitere Eigentümlichkeit der Phenolkorrosion besteht darin, dass der Angriff häufig nicht geradlinig fortschreitet, sondern gekrümmte und verzweigte Gänge erzeugt, die ähnlich aussehen wie Wurmfrass im Holz. Die Figur 44 zeigt die Ansicht einer solchen aufgeschnittenen Höhlung. Leider ist die Aufnahme nur unvollkommen, da der Gang im Objekt nicht in einer Ebene liegt.

Die Ursache der Krümmung liegt wahrscheinlich darin, dass einzelne Kristallite gegen das angreifende Agens widerstandsfähiger sind als andere und deshalb vom Angriff umgangen werden.

Les parties corrodées par des attaques chimiques où le phénol a fonction de catalyseur sont très variées quant à leur forme et — dans une mesure un peu moins forte — quant au produit de la corrosion qui en résulte. Ce serait trop long de vouloir donner de plus amples détails à ce sujet. Nous devons nous borner à n'en indiquer que les plus frappants et ceux qui importent avant tout pour déterminer la nature de la corrosion.

Ce qui caractérise d'une façon générale la corrosion au phénol, c'est son effet extrême en profondeur et l'attaque intercristalline également très accentuée. Nous n'avons encore aucune définition sûre de la cause de ces deux indices caractéristiques, à moins qu'on veuille en rendre responsable la solubilité plus grande des liants, soit des pellicules entourant les cristallites. On pourrait, ainsi, expliquer la désagrégation intercristalline, mais non l'action en profondeur. Mais les faits suffisent pour permettre de distinguer la nature de la corrosion. — L'effet en profondeur peut être si prononcé qu'il en résulte des trous de part en part, dans lesquels on ne pourrait même pas introduire une fine aiguille. Ce genre de corrosion est connu sous le nom de „piqûres d'épingles" (27). Il n'est pas très fréquent, mais il est très caractéristique pour la corrosion au phénol.

Il arrive plus fréquemment que la corrosion commence par une piqûre d'aiguille à la surface qui s'élargit en profondeur, comme nous le montrons à la figure 43.

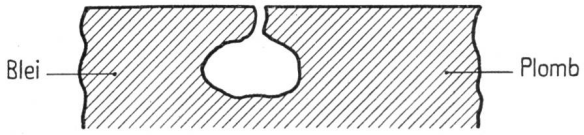

Fig. 43.

L'entrée de ces petites cavités est un petit point qu'on distingue à peine ou pas du tout à l'œil nu. Parfois ce petit point consiste en un petit grumeau de plomb faisant saillie à la surface. Dans ce cas, on a l'impression que la gaine de plomb a transpiré de nombreuses petites gouttelettes de plomb; là où les ouvertures sont plus grandes et mieux visibles, l'aspect est celui de bois vermoulu. Il résulte des recherches que les gouttelettes se sont produites tout au début de l'attaque chimique sous forme de petites voûtes à la surface du plomb parce que le produit de la corrosion qui s'est formé au point d'attaque exige un plus grand espace que le plomb décomposé. Si l'on dégage, sous le microscope, un de ces points à l'aide d'une aiguille, on est étonné de voir l'étendue de la détérioration sous la surface de la gaine de plomb. Cette corrosion sous la surface est d'ailleurs un des indices les plus caractéristiques de la corrosion au phénol.

Une autre particularité consiste en ce que la corrosion ne progresse souvent pas en ligne droite, mais en petits couloirs sinueux à multiples ramifications pouvant être comparés à du bois vermoulu. La fig. 44 montre une de ces cavités en coupe, malheureusement de façon imparfaite, vu que la „vermoulure" ne se trouve pas en un seul plan.

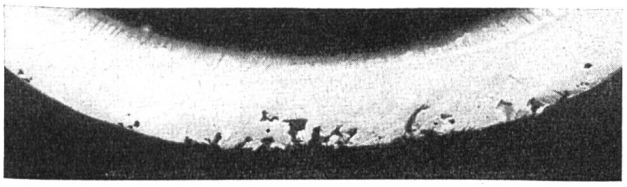

Fig. 44.

Noch häufiger zeigen sich die Phenolfreßstellen als *offene*, nicht sehr ausgedehnte aber tiefe *Gruben* mit unregelmässigem, gezacktem Umriss, oder als „Nest", zusammengesetzt aus mehreren Einzelgruben, oder endlich als lange, schmale und tiefe Furchen, in der Richtung der Jutewindungen. Die Furchen sind entstanden durch die Aneinanderreihung von einzelnen Gruben, im Anfangsstadium noch erkennbar, und erstrecken sich oft über mehr als die Hälfte des Kabelumfangs, so dass der Bleimantel beim Herausnehmen des fehlerhaften Kabelstücks an jener Stelle entzweibricht. Wände und Boden dieser Gruben sind stark interkristallin angegriffen. Gelegentlich sind die Kristallite fast unversehrt, aber aus ihrem Verband gelöst, so dass sie mit der Nadel leicht herausgehoben werden können, oder beim Schütteln von selbst herausfallen. Zwischen den Kristalliten befindet sich das Korrosionsprodukt, manchmal die Grube ganz ausfüllend, manchmal nur in geringer Menge. Es ist meistens Bleikarbonat, in Form einer pulverigen, krümeligen oder bröckeligen, schmutzigweissen oder gelblichen Masse. Neben den unversehrten Kristalliten findet man angegriffene, durchlöcherte, in allen Stadien der Zersetzung befindliche, aber in der Form noch erkennbare Bleikörner.

In einzelnen Fällen schreitet die interkristalline Korrosion so rasch vorwärts, dass der Bleimantel durchbrochen ist, bevor es durch Auflösung ganzer Kristallite zur Grubenbildung gekommen ist. Die Freßstelle zeigt sich dann als Riss, mit interkristallin zerfallenen Randpartien, und hat grosse Aehnlichkeit mit einem Ermüdungsbruch. Solche Phenolrisse können aber leicht von den Ermüdungsbrüchen unterschieden werden, da diese meistens quer, die Phenolrisse aber nach allen Richtungen verlaufen. Der wichtigste und ausschlaggebende Unterschied besteht jedoch darin, dass bei Ermüdungsbrüchen die Kristallite unversehrt sind, während sie bei den Phenolrissen mehr oder weniger angefressen sind.

Der ausserordentlich stark ausgeprägte interkristalline Angriff ist, wie erwähnt, nicht nur eines der Hauptmerkmale der Phenolkorrosion, sondern auch leicht zu erkennen. Figur 45*) gibt einen Begriff vom Zustande einer solchen Freßstelle.

*) Die photographische Aufnahme gibt, wenn sie auf die übliche Weise gemacht wird, die Einzelheiten des zu betrachtenden Gegenstandes nur unvollkommen wieder. Der Mangel wird besonders stark empfunden, wenn man die Sachen vorher im Stereo-Mikroskop betrachtet hat. Es wurde deshalb hier der Versuch erneuert, einige besonders dazu geeignete Aufnahmen als Doppelbilder zu drucken, damit sie stereoskopisch betrachtet werden können und so annähernd den Eindruck vermitteln, den man im Stereo-Mikroskop hat. Es betrifft die Figuren 45, 49, 50, 51, 52, 54. Vergrösserung 5 mal.

Wie man die Bilder auch ohne Apparat stereoskopisch betrachten kann, wurde von P. Jaquet in dieser Zeitschrift, Jahrgang 1944, Heft 6, Seite 223 erklärt.

La cause de la sinuosité provient probablement de ce que certains cristallites résistent mieux à l'agent corrosif que d'autres et qu'ils sont par conséquent contournés.

Les parties attaquées par la corrosion sont encore plus souvent des *creux ouverts* profonds d'une étendue plutôt restreinte, à bords irréguliers, dentelés, ou des nids composés de plusieurs petits creux, ou encore de longs sillons étroits et profonds disposés dans la direction des spires du jute. Les sillons ne sont formés que par l'alignement de plusieurs creux que l'on reconnaît encore dans leur première phase, et ils s'étendent quelquefois sur plus de la moitié du pourtour du câble; en enlevant le bout de câble défectueux, il arrive que la gaine se casse à cet endroit. Les parois et le fond de ces creux sont fortement attaqués par la corrosion intercristalline. Les cristallites sont souvent intacts mais désagrégés, de sorte qu'on peut facilement les enlever avec une aiguille ou qu'ils tombent d'eux-mêmes lorsqu'on secoue la gaine. Le produit de la corrosion se trouve entre les cristallites, où il remplit le creux parfois complètement et parfois seulement en petite quantité. Le plus souvent il s'agit de carbonate de plomb sous forme de masse pulvérulente, granuleuse ou friable, de couleur blanc-sale ou jaunâtre. A côté des cristallites intacts, on trouve des grains de plomb attaqués, percés, accusant toutes les phases de la décomposition, mais que l'on reconnaît encore comme tels.

Dans certains cas, la corrosion intercristalline fait des progrès si rapides que la gaine de plomb est percée avant que des creux aient pu se former par la dissociation des cristallites entiers. La partie corrodée a alors l'aspect d'une fissure dont les bords auraient subi la corrosion intercristalline, et elle ressemble beaucoup à une rupture due à la fatigue. Mais on peut facilement distinguer ces fissures, provoquées par la corrosion au phénol, des ruptures dues à la fatigue, vu que ces dernières prennent le plus souvent une direction transversale, tandis que les fissures dues à la corrosion au phénol vont dans toutes les directions. Mais la distinction la plus importante et la plus prépondérante réside dans le fait que, en cas de ruptures dues à la fatigue, les cristallites sont indemnes, tandis qu'ils sont plus ou moins rongés dans les cas de fissures provenant de la corrosion au phénol.

L'attaque intercristalline très prononcée n'est pas seulement l'une des caractéristiques principales de la corrosion au phénol, comme nous l'avons déjà dit, mais il est aussi facile de la reconnaître. La figure 45*) donne une idée de l'aspect d'une corrosion de ce genre.

Nous avons déjà fait remarquer que la surface du plomb accuse parfois des boursouflures, parce que le

*) L'épreuve photographique faite de la manière usuelle ne donne qu'imparfaitement les détails du sujet. On se rend compte de cette imperfection surtout après avoir contemplé les sujets au microscope stéréoscopique. C'est pourquoi nous avons renouvelé l'essai d'imprimer ici quelques vues en images doubles pour qu'on puisse les regarder au stéréoscope et obtenir en quelque sorte l'effet rendu par le microscope stéréoscopique. Il s'agit des figures 45, 49, 50, 51, 52 et 54. Grossissement 5 fois.

A la page 223 du cahier 6 du Bulletin technique de 1944, P. Jaquet a expliqué comment on pouvait aussi voir de telles images en relief sans l'aide d'un stéréoscope.

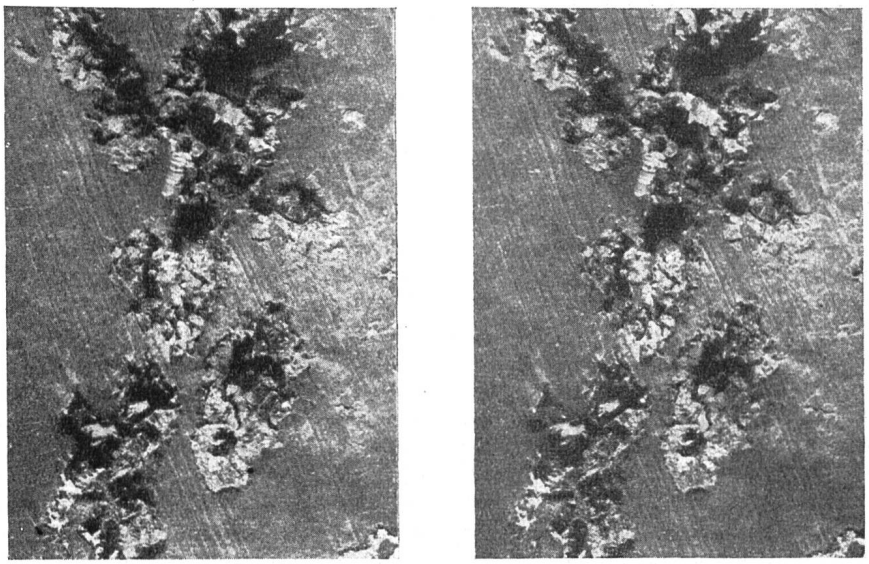

Fig. 45.

Es wurde bereits gesagt, dass die Bleioberfläche oft aufgetrieben wird, weil das „unterirdisch" gebildete Korrosionsprodukt ein grösseres Volumen hat als die Bleimenge, aus der es gebildet wurde. Diese Erscheinung bildet ein weiteres Merkmal für die Phenolkorrosion. Das Blei kann so energisch aufgetrieben werden, dass es platzt und das Korrosionsprodukt herausquillt. Die Stelle sieht dann aus wie ein offenes Geschwür. Es kann aber auch noch das Papier, sogar die Jute in Mitleidenschaft gezogen werden. Die Jute ist dann an jenen Stellen brüchig oder bereits zerrissen. Löst man sie ab, so zeigt sich im Papier ein Buckel, der heller gefärbt ist als seine Umgebung. Das Papier ist brüchig wie die Jute, wenn es nicht bereits vom „Geschwür" durchstossen ist, die Imprägnierung ist verschwunden, die Leimung des Papiers scheint aufgelöst zu sein, die Papierfasern liegen lose aufeinander. Unter dem Mikroskop sieht eine derart kranke Stelle im Papier aus, wie ein aus Tannennadeln zusammengetragener Ameisenhaufen. Der Umriss der kranken Stelle im Papier entspricht genau dem Umriss der darunterliegenden Freßstelle im Blei. Man kann sich davon überzeugen, wenn man den Umriss mit einer Nadel durch das Papier hindurch auf dem Blei markiert. Die Figur 46 zeigt schematisch einen Schnitt durch eine solche Stelle, während die Figur 47 die Ansicht eines „Geschwürs" zeigt, nachdem die Jute abgelöst wurde.

produit de la corrosion qui se forme sous la surface a un plus gros volume que la quantité de plomb qui a servi à sa formation. Ce phénomène caractérise également la corrosion au phénol. Le plomb peut être boursouflé à tel point qu'il éclate et que le produit de la corrosion jaillit à la surface. Un des points de ce genre ressemble alors à un ulcère. Le papier également peut être affecté et même le jute. A ces endroits, le jute est friable ou déjà déchiré. Lorsqu'on l'enlève, le papier situé dessous accuse une bosse de

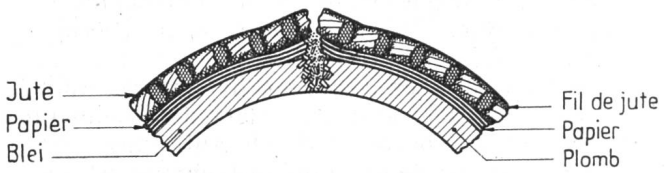

Fig. 46.

couleur plus claire que ses environs. Le papier est friable comme le jute, et il est peut-être déjà percé par „l'ulcère"; l'imprégnation a disparu, le liant des fibres du papier paraît s'être dissout, et les fibres mêmes reposent librement les unes sur les autres. Au microscope, cette partie altérée du papier apparaît comme un nid de fourmis, fait d'aiguilles de sapin. Les contours de la partie altérée du papier correspondent exactement à ceux de la partie corrodée du

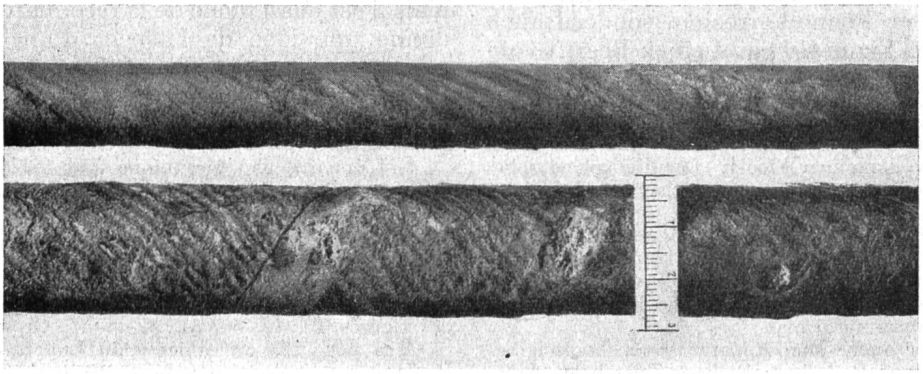

Fig. 47.

Wir kommen nun zu der Beschreibung einer Kategorie von Freßstellen, deren bizarre Form, ebenso wie die Beschaffenheit ihrer Wände und des Korrosionsproduktes, als ganz charakteristisch für Phenolkorrosion anzusehen ist. Sie kommt bei der Phenolkorrosion am häufigsten vor und wurde bisher bei keiner anderen Korrosionsart beobachtet. Es ist dies die Bildung von *mehr oder weniger vollständig durch einen Deckel aus Korrosionsprodukt abgeschlossenen, selbst aber teilweise oder ganz leeren Hohlräumen.* Die Figur 48 zeigt schematisch einige voneinander abweichende Formen solcher Anfressungen.

Allen gemeinsam ist der Umstand, dass die *Ränder der Freßstellen nicht aufgeworfen* sind; Papier und Jute sind unversehrt, der Schaden ist erst bemerkbar, wenn die Umhüllung abgelöst wird und zeigt sich dann von aussen als kleine Oeffnung oder als schmutzig gelbbrauner, glatter und die Rundung der Manteloberfläche nicht störender Fleck. Dieser Fleck ist der Deckel aus dem Korrosionsprodukt, der die darunterliegende Höhlung abschliesst. Ferner sind alle diese Höhlungen *selten ganz mit Korrosionsprodukt gefüllt,* häufig ist nur wenig oder gar nichts darin vorhanden. Wo Korrosionsprodukt angetroffen wird, haftet es nicht fest am Blei, sondern lässt sich leicht herausheben.

Neben den gemeinsamen Merkmalen weisen die Höhlungen so beträchtliche Unterschiede auf, dass man sie als *verschiedene Arten* von Korrosion bezeichnen muss. Mehrere dieser Arten kommen nicht nebeneinander auf dem gleichen Kabel vor. Der Grund liegt wahrscheinlich darin, dass verschiedene Angriffsmittel verschiedene voneinander abweichende Formen von Freßstellen erzeugen, was wiederum angesehen werden kann als Beweis dafür, dass nicht das Phenol selber angreift, sondern die respektiven Bodenwässer. — Die Freßstellen der Figur 48 charakterisieren sich wie folgt:

a) Kleine Oeffnung in der Bleioberfläche, rund oder kleiner Querschlitz, darunter grosse Höhlung von unregelmässiger Form, glatt oder mit kugeligen Ausbuchtungen. Die Höhlung ist vollständig leer.

b) Spiralfurchen in der Richtung der Jutewindungen, entstanden durch Aneinanderreihen von einzelnen Höhlungen, gelblicher Deckel, Wände mit kugeligen Ausbuchtungen, darin rundliche Körper aus dem gleichen Material wie der Deckel. Die Farbe dieser Körper ist ein helles schmutziges Gelb bis Braun, matt glänzend, manchmal vergleichbar der Farbe von Bernstein oder Topas. Die Form wechselt von fast vollkommenen Kugeln über kartoffelähnliche Knollen bis zu rosettenförmigen Gebilden, die durch Zusammenwachsen verschiedener Einzelknollen entstanden sind und an Kristalldrusen erinnern. Ab und zu haben solche „Drusen" einen hell-bläulichen oder lila Anflug.

Die knolligen Gebilde sind wahrscheinlich losgelöste und dann in Korrosionsprodukt verwandelte Kristallite.

c) Flache Wanne, fast ganz ausgefüllt mit einer derben Kruste des gelbbraunen Korrosionsproduktes, das in einigen Fällen durchsetzt ist mit grauglänzenden Kristallen. Die Fläche der Höhlung ist fast glatt, kleine Unebenheiten werden durch ungleichmässiges plomb. On peut s'en convaincre en marquant à l'aide d'une aiguille le contour sur le plomb à travers le papier. La figure 46 montre la coupe schématique d'un point de ce genre, la figure 47 la vue d'un „ulcère" après l'enlèvement du jute.

Nous allons maintenant décrire une catégorie de points attaqués dont la forme bizarre comme aussi la constitution de leurs parois et du produit de la corrosion ont le caractère indubitable de la corrosion au phénol. C'est dans la corrosion au phénol qu'on rencontre le plus souvent cette forme, et on ne l'a jamais observée, jusqu'à ce jour, dans un autre genre de corrosion. Il s'agit de la formation *de cavités fermées plus ou moins complètement par un couvercle constitué par le produit de la corrosion et qui sont elles-mêmes partiellement ou entièrement vides.* La figure 48 montre schématiquement quelques formes de corrosion de ce genre.

Toutes ces formes ont la particularité que *les bords des parties corrodées ne sont pas retroussés*; le papier et le jute sont intacts, et l'on n'aperçoit le dommage que lorsqu'on a enlevé l'enveloppe; il apparaît alors extérieurement sous forme d'une petite ouverture ou de tache de couleur jaune-brun sale lisse n'altérant pas la forme arrondie de la surface de la gaine. Cette tache est le couvercle en produit de la corrosion qui obture la cavité située dessous. *Il est rare que ces*

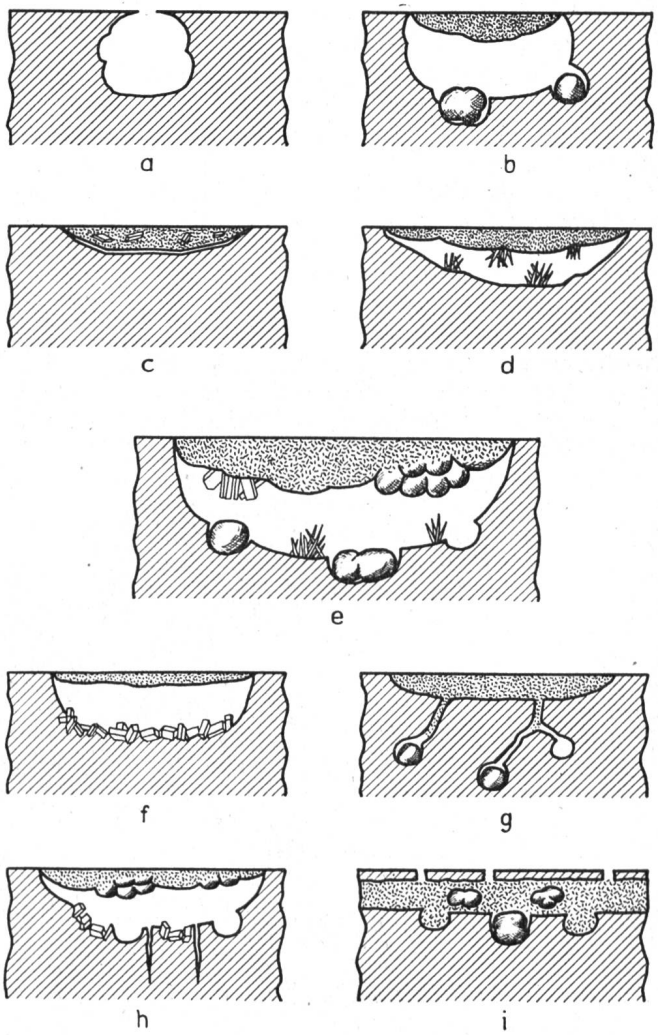

Fig. 48.

Abtragen der Bleikörner gebildet, es ist eine Art „Reliefätzung".

d) Etwas tiefere Wannen als bei c, mit rundlichen Ausbuchtungen, Fläche der Höhlung und Unterseite des Deckels besetzt mit weissen oder farblosen Kristallnadeln.

e) Derber Deckel, an der Unterseite besetzt mit Klumpen der kugeligen Körper nach b und mit richtigen Kristallbüscheln aus durchsichtigen Plättchen, die nach allen Richtungen orientiert sind. Hohlraum mit kugeligen Ausbuchtungen, besetzt mit wenigen „Topasknollen" und mit Kristallbüscheln.

f) Dünner Deckel, darunter Hohlraum, auf dem Grunde lose liegende Bleikörner. Unter dem Mikroskop sieht es aus, wie das Trümmerfeld eines Bergsturzes.

g) Ganz flache Mulden, eben ausgefüllt mit dem gelbbraunen Korrosionsprodukt, im Boden „Wurmfrass", endigend in Kugelhöhlen mit „Topasknollen" als Inhalt.

h) Deckel mit knolliger Unterseite, Fläche der Höhlung teils interkristallin zerfallen, teils mit kugeligen Ausbuchtungen, dazwischen tiefe Risse, herrührend von interkristallinem Angriff.

i) Ueberwalzung nach 2. 1. 1., unabhängig von der Längsnaht; Dicke der äusseren Bleidecke z. B. 0,8 mm, Decke durchbohrt von „Nadelstichen", auf dem Grunde Höhlung mit kugeligen Ausbuchtungen, Grube gefüllt mit grießigem, gelbbraunem Korrosionsprodukt, vermischt mit „Topasknollen".

Die Figuren 49 und 50 zeigen im Bild eine solche Höhlung und die darin enthaltenen Korrosionsprodukte.

Für die auffällige Ausbreitung der *Zersetzung in der Tiefe der Bleischicht* haben wir, wie gesagt, heute noch keine Erklärung. Verschiedene der geschilderten Merkmale treffen wir auch bei der elektrolytischen Korrosion an, z. B. das — teilweise — Freilegen der Kristallite und die Zusammensetzung des Korrosionsproduktes. Man hat sich deshalb schon gefragt, ob bei diesen bizarren Formen der Anfressung nicht doch Elektrolyse im Spiele sei? Als Ursache kommt jedoch ein Stromfluss vom Bleimantel zur Erde kaum in Frage, da man sich eine Abtragung des Metalls aus der Tiefe der Bleischicht heraus, um alle Krümmungen und Kanten herum, nicht vor-

cavités soient complètement remplies du produit de la corrosion; il n'y en a souvent que très peu ou pas du tout. Lorsqu'il y en a, il n'adhère pas fortement au plomb, et on peut facilement l'enlever.

A part ces indices caractéristiques qu'elles ont en commun, les cavités sont si variées qu'on doit les considérer comme étant de *différents genres*. Il n'arrive pas que plusieurs genres se trouvent à proximité l'un de l'autre sur le même câble. La raison en est probablement que les formes variées sont produites par des différentes substances, ce qui prouve donc que ce n'est pas le phénol même, mais les différentes eaux du sol qui attaquent le plomb. — Les parties corrodées représentées à la figure 48 se caractérisent de la manière suivante:

a) Petite ouverture à la surface du plomb de forme circulaire ou sous forme de petite fente transversale, et sous cette ouverture une grande cavité de forme irrégulière, lisse ou avec des enfoncements sphériques. La cavité est complètement vide.

b) Sillons dans le sens des spires de l'enveloppe de jute et provenant d'une suite de cavités, couvercle jaunâtre, les parois accusant des enfoncements sphériques, à l'intérieur des corpuscules sphériques de même matière que le couvercle. La couleur de ces corpuscules est de jaune-clair sale à brun, mi-brillante, souvent comparable à la couleur de l'ambre ou du topaze. Leur forme varie depuis la sphère presque parfaite en passant par la forme de tubercule jusqu'à celle d'une rosace, cette dernière forme provenant de la soudure de plusieurs tubercules et ressemblant à des druses. Ces druses ont parfois une teinte bleu-clair ou lila.

Les tubercules sont probablement des cristallites qui se sont détachés et qui, ensuite, ont été transformés en produits de la corrosion.

c) Cuvette plate, presque entièrement remplie d'une croûte compacte du produit brun-jaunâtre de la corrosion, entremêlé quelquefois de cristaux d'un gris brillant. La surface de la cavité est presque unie; de petites inégalités se sont produites du fait que des grains de plomb se sont irrégulièrement détachés, ce qui donne l'aspect d'une „gravure à l'eau-forte".

d) Cuvettes un peu plus profondes que celle mentionnée sous c, avec des enfoncements sphériques, les surfaces de la cavité et le dessous du couvercle recouverts d'aiguilles de cristal blanc ou incolore.

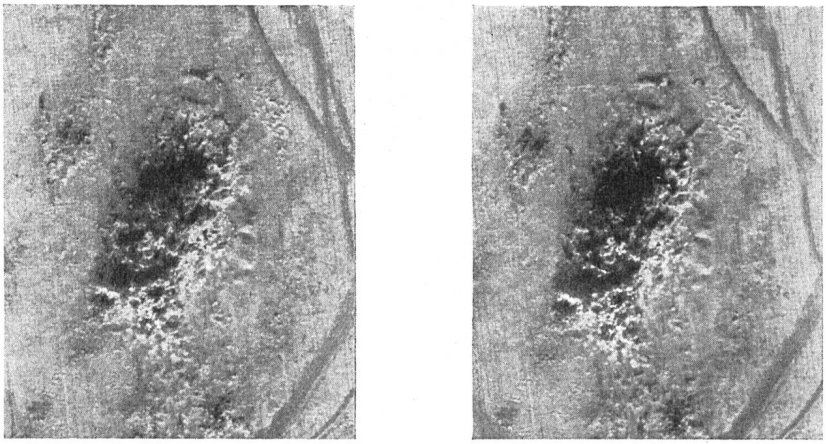

Fig. 49.

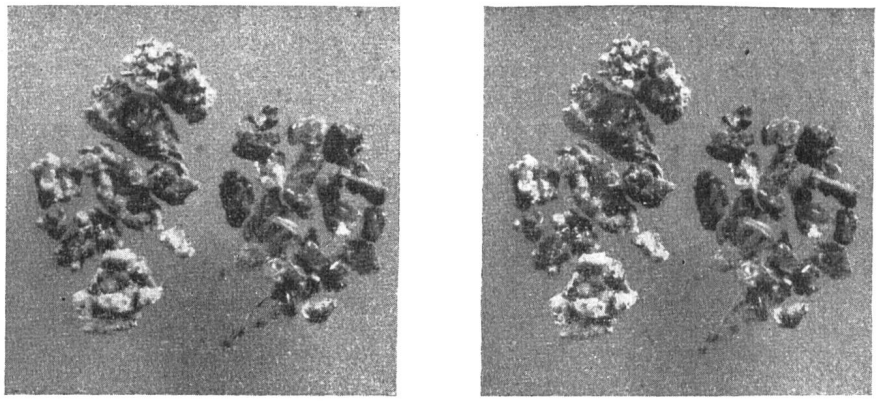

Fig. 50.

stellen kann; mit anderen Worten, es müssten durch Fremdstromelektrolyse lauter offene, von unten nach oben sich erweiternde Gruben, nämlich Krater entstehen. Eher könnte noch die Annahme zutreffen, dass sich im Innern der Aushöhlungen galvanische Elemente bilden, die nach beliebigen Richtungen abtragend wirken. Damit stehen aber verschiedene Folgen im Widerspruch, z. B. das häufige Fehlen jeglichen Korrosionsproduktes. — Es bleibt der künftigen Forschung vorbehalten, diese Geheimnisse zu entschleiern. — Da die eigenartigen Formen der Anfressung bisher immer nur bei der Anwesenheit von phenolhaltigem Teer beobachtet wurden, nennen wir sie weiter einfach Phenolkorrosionen.

Wir können nun die Merkmale der Phenolkorrosion zusammenfassen wie folgt:

A. Form der Freßstellen.

Hohle Stellen zwischen Papier und Blei;
Geplatze Jute, „Geschwüre" im Papier;
„Nadelstiche" im Blei;
„Ausgeschwitzte" Bleitröpfchen;
Geplatztes Blei;
Spiralförmig um den Bleimantel herum führende Zeilen von Grübchen oder Furchen;
Offene Gruben oder Furchen mit starkem interkristallinem Zerfall des Grundes und der Ränder;
Höhlungen mit kleinem Eingang, in der Tiefe stark vergrössert;
Wurmfrassartige Gänge im Blei;
Kugelige Ausbuchtungen der Kavernen;
Höhlungen selten ganz mit Korrosionsprodukt gefüllt, meistens nur zum Teil gefüllt, häufig ganz leer.

B. Korrosionsprodukt.

Zusammengesetzt aus Bleikarbonat, Nitrat, Sulfat, Chlorid;
Derbe Schichten als Deckel der Aushöhlungen, aussen glatt, innen oft kugelig geformt, Farbe schmutzig gelbbraun;
Häufig Kugeln oder kartoffelähnliche Gebilde; Seltener krümelig oder grießige, mit unregelmässiger Form der Körner;
Kristallgruppen aus weissen oder durchsichtigen Plättchen und Nadeln.

Den Schlußstrich unter die Diagnose: Phenolkorrosion setzt der Nachweis von Phenol in der teer-

e) Couvercle compact recouvert à sa surface inférieure de masse composée de corpuscules sphériques selon b et de véritables touffes de cristaux feuilletés transparents orientés dans tous les sens. Cavité avec enfoncements sphériques, occupée par quelques tubercules de couleur topaze et de touffes de cristaux.

f) Couvercle mince au-dessus d'une cavité dont le fond accuse des grains de plomb disséminés. Au microscope, ces grains ont l'apparence d'un éboulis.

g) Dépressions très plates remplies du produit brun-jaunâtre de la corrosion jusqu'au niveau de la gaine de plomb; dans le fond vermoulures aboutissant dans des cavités sphériques contenant des tubercules de couleur topaze.

h) Couvercle dont la surface inférieure a l'aspect de tubercules, les surfaces de la cavité en partie décomposées par la corrosion intercristalline, en partie accusant des enfoncements sphériques, entre-deux des crevasses profondes dues à la corrosion intercristalline.

i) Surface feuilletée selon 2. 1. 1, indépendamment de la suture longitudinale; épaisseur de la couche extérieure p. ex. 0,8 mm, couvercle percé de „piqûres d'aiguilles", sur le fond cavités avec enfoncements sphériques; le creux rempli du produit granuleux brun-jaunâtre de la corrosion, entremêlé de „tubercules de couleur topaze".

Les figures 49 et 50 montrent une cavité du genre indiqué avec les produits de corrosion qu'elle renferme.

Comme nous l'avons déjà dit, nous n'avons aujourd'hui encore aucune explication pour l'extension surprenante de *la décomposition de la couche de plomb en profondeur*. Plusieurs des indices caractéristiques décrits ci-haut sont aussi inhérents à la corrosion électrolytique, comme p. ex. la dissociation partielle des cristallites et la composition du produit de la corrosion. On s'est, par conséquent, déjà demandé si, dans ces formes bizarres de la corrosion, l'électrolyse ne jouerait tout de même pas un rôle. La cause ne pourrait cependant pas être un courant électrique circulant de la gaine de plomb à la terre; en effet, on ne pourrait guère se représenter un transport des particules métalliques hors des profondeurs de la couche de plomb et qui contournerait toutes les sinuosités et les arêtes; en d'autres termes, l'électrolyse par courants vagabonds ne devrait produire que

getränkten Jute. Man hat sich aber auch schon gefragt, ob nicht etwa ein in der Jute*faser* enthaltener Stoff als Katalysator wirke? Auch hier muss der Entscheid der künftigen Forschung überlassen werden. —

2. 3. 2. *Elektrolyse.*

Die elektrolytische Anfressung von im Erdboden verlegten metallischen Leitungen aller Art ist allgemein bekannt und gefürchtet als *selektive Korrosion*, d. h. als eine Korrosionsart, die zu Angriffen auf engbegrenzten Stellen und daher zum *Lochfrass* neigt. Die Erscheinung ist leicht erklärlich, wenn man bedenkt, dass der elektrische Strom immer dem Wege des geringsten Widerstandes folgt. Bei unseren Bleikabeln z. B. bilden die Berührungsflächen der Jutegarnwindungen mit dem Kabel die Stellen des geringsten Widerstandes. Die Jute wirkt als Docht, trotz der Imprägnierung, saugt den Elektrolyten — die leitenden Bodenwässer — an und bereitet so den Strompfad vor. In erster Linie wird dann, wie erinnerlich, der Elektrolyt zersetzt, nicht das Blei. Ist diese Zersetzung einmal eingeleitet, so hat offenbar die entstandene „Stromröhre" immer den kleineren Widerstand als ihre Umgebung; der Angriff bleibt auf den kleinen Bezirk, auf dem er begonnen hat, beschränkt; es entsteht im Blei ein *Krater*. Die Bildung einer verhältnismässig dünnen „Stromröhre" kann natürlich noch andere Ursachen haben, wie z. B. Poren oder Löcher in der Kabelhülle (35) oder im Schutzanstrich von Rohrleitungen, besondere Anordnung der berührenden Bodenteilchen (Stenolyse) usw.; die Wirkung ist immer dieselbe.

Die Krater sind die „klassische" Form der elektrolytischen Anfressung; sie bilden eines ihrer Hauptmerkmale. Oft sind sie zu Gruppen vereinigt und — im Anfangsstadium — wenig tief, oder sie sind sonstwie entstellt, so dass die Freßstellen den flachen Gruben der chemischen Korrosion gleichen. In diesem Falle kann aus der Form der Freßstellen nicht mit Sicherheit auf Elektrolyse geschlossen, sondern es müssen weitere Anhaltspunkte gesucht werden.

Als untrügliches Merkmal für das Vorliegen elektrolytischer Korrosion gilt die Anwesenheit von Bleidioxyd im Korrosionsprodukt. Es wird denn auch vom C. C. I. als schlüssiger Beweis angesehen (2, 64). Leider ist dieser Beweis in vielen Fällen nicht zu erbringen. Bei der anodischen Zersetzung von Blei bildet sich wohl Dioxyd, aber nur unter gewissen Bedingungen, die — wenigstens in bezug auf die so verwickelten Vorgänge bei der Kabelkorrosion — nicht alle bekannt sind. In der Hauptsache ist es die *Stromdichte*. Bei Laboratoriumsversuchen wurde hier festgestellt, dass sich bei konstantem kleinem Strom wochenlang nur basisches Bleikarbonat (Bleiweiss) bildet, bis dann, sozusagen plötzlich, die Bildung von Bleidioxyd einsetzt. Man kann daraus schliessen, dass die Strom-Austrittsfläche nach und nach verkleinert wird, bis die zur Bildung von Bleidioxyd nötige Stromdichte erreicht ist. Wie und wann dies in der Praxis eintritt, hängt offenbar stark vom Zufall ab, so dass häufig kein Dioxyd gefunden wird. Ein weiterer Grund dafür, dass oft kein Dioxyd gefunden wird, liegt in der leichten Zersetzlich-

des creux ouverts qui s'évaseraient vers le haut, donc en quelque sorte des cratères. On pourrait plutôt admettre que des éléments galvaniques se forment à l'intérieur des cavités, et qu'ils agissent dans n'importe quel sens, ce qui, toutefois, serait en contradiction avec certains résultats, p. ex. le manque fréquent et absolu du produit de la corrosion. — Ce sera le privilège des recherches scientifiques futures de dévoiler ce secret. — Les formes singulières de la corrosion n'ayant été observées jusqu'ici que lorsqu'il y avait présence de goudron contenant du phénol, nous continuerons à la désigner sous le terme de „corrosion au phénol".

Nous pouvons maintenant résumer les caractéristiques de la corrosion au phénol comme il suit:

A. Formes des parties attaquées.

Vides entre le papier et le plomb;
jute déchiré, „ulcères" dans le papier;
„piqûres d'aiguilles" dans le plomb;
gouttelettes de plomb ressemblant à de la „sueur";
plomb éclaté;
petits creux ou sillons disposés en spirales autour de la gaine de plomb;
creux ou sillons ouverts avec leurs fonds et bords fortement décomposés par la corrosion intercristalline;
cavités avec petites ouvertures, très agrandies en profondeur;
vermoulures dans le plomb;
enfoncements sphériques dans les cavités;
cavités rarement entièrement remplies du produit de la corrosion, en général seulement en partie, souvent complètement vides.

B. Produit de la corrosion.

Composé de carbonate de plomb, de nitrate, de sulfate et de chlorure;
couches compactes constituant le couvercle des cavités, lisses au dehors, à l'intérieur souvent de forme sphérique, couleur brun-jaune sale;
fréquemment des grains en forme de boules ou de tubercules;
moins souvent des grains en forme de miettes irrégulières;
groupes de cristaux feuilletés ou en forme d'aiguilles, blancs ou incolores.

Les conclusions au sujet de la corrosion au phénol se résument par ces mots: il s'agit d'établir que le jute goudronné contient du phénol. On s'est aussi demandé si ce n'est pas une substance contenue dans les *fibres* du jute qui pourrait agir comme catalyseur. Ici également, la réponse dépendra du résultat des futures recherches.

2. 3. 2. *Electrolyse.*

La corrosion électrolytique de toutes les sortes de conduites métalliques placées dans le sol est connue et redoutée comme *corrosion sélective*, c'est-à-dire un genre de corrosion ayant la tendance d'agir sur des parties étroitement limitées et de produire des *trous*. Il est facile d'expliquer ce phénomène si l'on considère que le courant électrique suit toujours le chemin de la moindre résistance. En ce qui concerne nos câbles sous plomb p. ex., les surfaces de contact entre les spires du jute et le câble sont les parties qui offrent

keit des Bleidioxyds. Besonders durch organische Substanzen wird es leicht reduziert und durch einen in umgekehrter Richtung fliessenden Strom elektrolytisch abgebaut.

Das Umgekehrte, Bildung von Bleidioxyd auf rein chemischem Weg, d. h. ohne Elektrolyse, was aber dann Elektrolyse vortäuschen könnte, scheint unter den Bedingungen, wie sie bei der Kabelkorrosion vorliegen, ausgeschlossen (5).

Es gilt also die vom C. C. I. aufgestellte Regel: Ist Bleidioxyd vorhanden, so ist elektrolytische Korrosion nachgewiesen, ist keines nachweisbar, so muss man nach anderen Merkmalen suchen.

In Deutschland z. B. wird deshalb weniger auf die Bildung von Bleidioxyd geachtet, als auf die Menge des Bleichlorids im Korrosionsprodukt. Der Chlorgehalt des Korrosionsprodukts wird verglichen mit dem des umgebenden Erdreichs. Enthält das Korrosionsprodukt prozentual mehr Chlor als der Boden, so gilt dies als Beweis für elektrolytische Korrosion (3, 5, 36, 39, 64). Auch bei hiesigen Untersuchungen wurde wiederholt der Chlorreichtum des Korrosionsprodukts zum Entscheid für Elektrolyse herangezogen.

Eigentlich sollte man einen elektrolytischen Angriff schon allein durch die Messung der Erd- und Mantelströme und -Spannungen erkennen können. Diese Methode liefert aber so unsichere Resultate, wenn sie nicht überhaupt völlig versagt, dass davon besser Abstand genommen wird. Die Gründe wurden bereits im I. Teile unter 2. 3. 2. 1. und 2. 3. 2. 2. auseinandergesetzt. Immerhin können die Strom- und Spannungsmessungen zu einer willkommenen Ergänzung des Nachweisverfahrens dienen.

Fehlt das Bleidioxyd oder das Korrosionsprodukt überhaupt, so können in vielen Fällen aus der Beschaffenheit der Kraterwände Anhaltspunkte, die für Elektrolyse sprechen, gewonnen werden. Anscheinend wurden diese Merkmale bisher noch nirgends als solche gewertet. Sie wurden in unseren Untersuchungen als für Elektrolyse charakteristisch erkannt, weil sie nur in einwandfrei als elektrolytische Anfressung festgestellten Fällen, und sonst bei keiner anderen Korrosionsart, beobachtet wurden. Es sind die leicht erkennbaren *Aetzfiguren* an den Kraterwänden.

In der mehrmals zitierten Arbeit von Radley und Richards (5) wird als charakteristisch für elektrolytische Korrosion u. a. der interkristalline Angriff, der bis zur Disglomeration führt, angegeben. In unseren Untersuchungen wurde jedoch in keinem einzigen Falle von einwandfrei nachgewiesener Elektrolyse ein solcher interkristalliner Zerfall beobachtet; die Kristallite sitzen im Gegenteil immer fest in ihrem Verbande. Der völlige Zerfall infolge Korrosion scheint also, wie unter 2. 3. 1. 4. beschrieben, nur durch Phenolkorrosion verursacht zu werden. Indessen lässt sich bei der Elektrolyse doch eine gewisse Bevorzugung der Korngrenzen feststellen. Es zeigt sich dann beispielsweise ein Anblick, wie ihn die Figur 51 wiederzugeben versucht.

Im Mikroskop bietet sich das Bild einer Steinpflästerung oder einer Bruchsteinmauer, aus der einzelne Steine hervorstehen, wie man es oft an

la plus petite résistance. Le jute agit comme mèche malgré son imprégnation, il pompe l'électrolyte — les eaux conductrices du sol — et prépare ainsi la voie pour le passage du courant électrique. Nous savons qu'en premier lieu c'est l'électrolyte qui est décomposé et non le plomb. Lorsque la décomposition est engendrée, le canal ouvert au courant aura évidemment toujours une moindre résistance que ses environs immédiats; la corrosion est restreinte sur la petite circonscription où elle a débuté, et il se produit un *cratère* sur le plomb. La formation d'un canal de courant relativement étroit peut naturellement avoir encore d'autres causes, telles que des pores ou des trous dans l'enveloppe (35) (ou dans le vernis protecteur des conduites en tuyaux), une disposition spéciale des particules du sol en contact avec le câble (sténolyse), etc.; l'effet est toujours le même.

Les cratères présentent la forme „classique" de la corrosion électrolytique; ils constituent un des principaux indices caractéristiques de ce genre de corrosion. Souvent ils sont réunis en groupes et, au début, ils ont peu de profondeur ou ils sont déformés, de sorte qu'ils ressemblent aux creux plats de la corrosion chimique. Dans ce cas, on ne peut certifier d'après la forme des parties attaquées qu'il s'agit réellement d'électrolyse et on doit chercher d'autres indices.

La présence de peroxyde de plomb dans le produit de la corrosion est une preuve infaillible de la corrosion électrolytique. Le C.C.I. le considère également comme preuve évidente (2, 64). Malheureusement, il n'est pas toujours possible de fournir cette preuve. La décomposition anodique du plomb donne bien du peroxyde, mais seulement sous certaines conditions qui ne sont pas toutes connues, du moins en ce qui concerne les phénomènes compliqués relatifs à la corrosion des câbles. Une condition fondamentale est la *densité du courant*. Il a été constaté à l'occasion d'essais de laboratoire qu'en cas de courant constant de faible intensité, il ne se forme pendant des semaines que du carbonate basique de plomb (céruse), puis subitement du peroxyde. On peut en conclure que la surface de sortie du courant se rétrécit peu à peu jusqu'au moment où l'intensité de courant nécessaire à la formation de peroxyde de plomb est atteinte. Cela dépend évidemment du hasard comment et à quel moment ce phénomène se produit dans la pratique, car on ne trouve souvent pas de peroxyde. Une autre raison pourquoi l'on n'en trouve souvent pas réside dans le fait que le peroxyde de plomb se dissout facilement. Ce sont surtout des substances organiques qui provoquent facilement sa réduction, et l'inversement du courant le diminue par l'effet de l'électrolyse.

Le cas contraire, soit la formation purement chimique de peroxyde de plomb, sans électrolyse mais qui pourrait faire croire à l'électrolyse, paraît exclu dans les conditions telles qu'elles se présentent dans la corrosion des câbles (5).

On doit donc s'en tenir à la règle établie par le C. C. I.: la corrosion par l'électrolyse est prouvée s'il y a présence de peroxyde de plomb; si l'on ne peut en constater, il faut chercher d'autres indices.

C'est pourquoi en Allemagne, p. ex., on tient moins compte de la formation de peroxyde de plomb que de

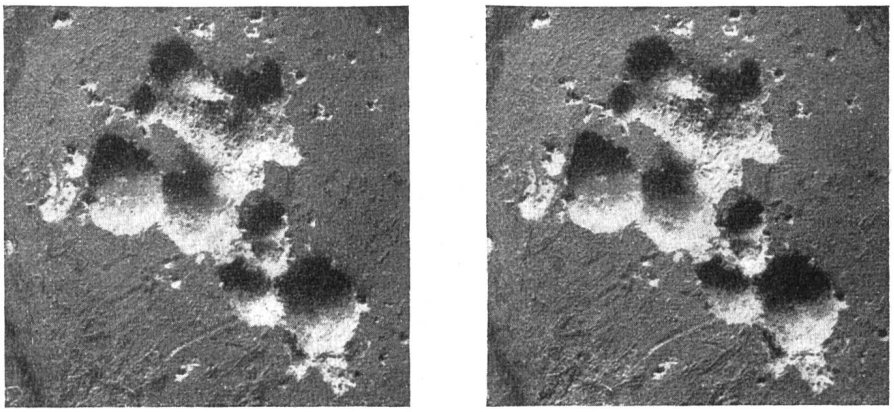

Fig. 51.

Böschungsmauern sieht. Es ist dadurch entstanden, dass, durch einen begrenzten interkristallinen Angriff, die Kristallite zum Teil freigelegt wurden, im Gegensatz zur Phenolkorrosion, bei der die Kristallite vollständig aus ihrem Verband herausgelöst werden. Man kann diese Wirkung der Elektrolyse als *Reliefätzung* bezeichnen.

Nicht immer geht die Aetzwirkung so weit, dass es zur Reliefbildung kommt. Es entstehen dann die Bilder der Kristallgrenzen- und Kristallfelderätzung, wie sie in der Metallographie zum Kenntlichmachen des Gefüges durch das Aetzen der geschliffenen Metallflächen erzeugt werden. Die Figur 52 zeigt ein Muster solcher Aetzfiguren aus einem Elektrolysenkrater.

la quantité de chlorure de plomb contenue dans le produit de la corrosion. La teneur en chlore du produit de la corrosion est comparée à celle du sol environnant. Si le produit de la corrosion contient en pourcent davantage de chlore que le sol, c'est preuve qu'on a affaire à la corrosion électrolytique (3, 5, 36, 39, 64). Dans nos propres essais aussi, la quantité de chlore contenue dans le produit de la corrosion a, à plusieurs reprises, été mise en relation avec les effets de l'électrolyse.

A vrai dire, on devrait pouvoir reconnaître la corrosion électrolytique par la mesure seule des courants et de leurs tensions circulant dans le sol et dans la gaine de plomb. Mais cette méthode donne des résultats si peu probants — lorsqu'elle ne se

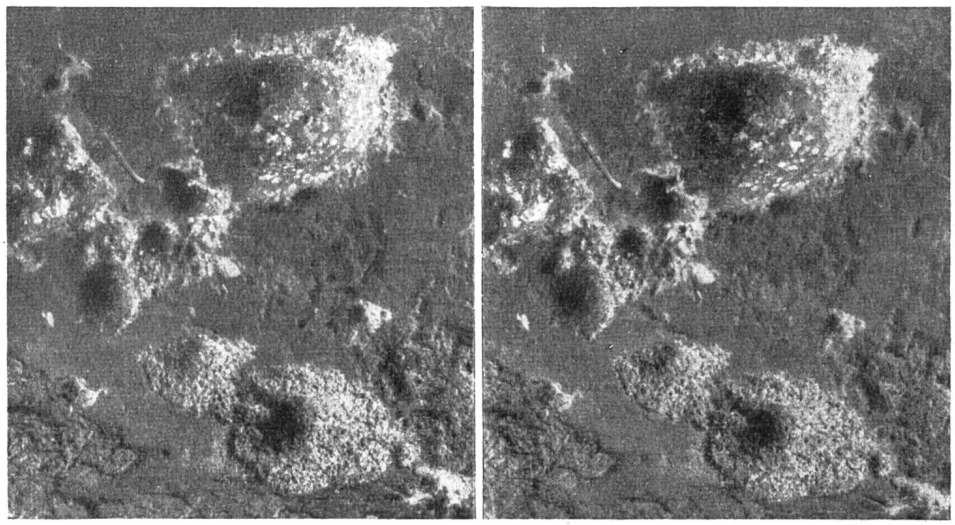

Fig. 52.

Es handelt sich nun noch darum, einige charakteristische Formen der elektrolytischen Anfressung zu zeigen. Wie im I. Teile gesagt wurde, werden die Bleimäntel an Telephonkabeln nicht nur von aussen durch Fremdströme angegriffen, sondern, nach dem Eindringen der Bodenfeuchtigkeit, auch von innen, unter dem Einfluss der Betriebsbatterie. Die beiden Angriffe unterscheiden sich nicht nur durch ihre Lage „innen — aussen", sondern auch durch die Form der Freßstellen und teilweise durch die Zusammensetzung des Korrosionsproduktes, was teils

montre pas complètement inefficace — qu'il est préférable d'y renoncer. Les raisons en ont déjà été données dans la première partie sous 2. 3. 2. 1 et 2. 3. 2. 2. Les mesures de courant et de tensions sont néanmoins appelées à compléter utilement les recherches.

Si le peroxyde de plomb ou le produit de la corrosion font de toute façon défaut, la constitution des parois des cratères pourra souvent fournir des indices permettant de conclure qu'il s'agit d'électrolyse. Il semble qu'à ce jour ces indices n'aient nulle part été

durch die Stromdichte, teils durch die Art der Ausbildung der „Stromröhren" — aussen, wie bereits erwähnt, infolge unkontrollierbarer Umstände — und endlich durch die Polarität des Bodens bedingt ist.

2. 3. 2. 1. *Anfressung von aussen.*

Die Form, die am meisten angetroffen und am leichtesten erkannt wird, zeigt die Figur 53.

Fig. 53.

Es sind Einzelkrater von manchmal fast vollkommen kreisrunder Form. Die Krater sind jedoch meistens oval oder sonstwie verzerrt, häufig rosettenartig zu Gruppen vereinigt, wie dies Figur 54 zeigt.

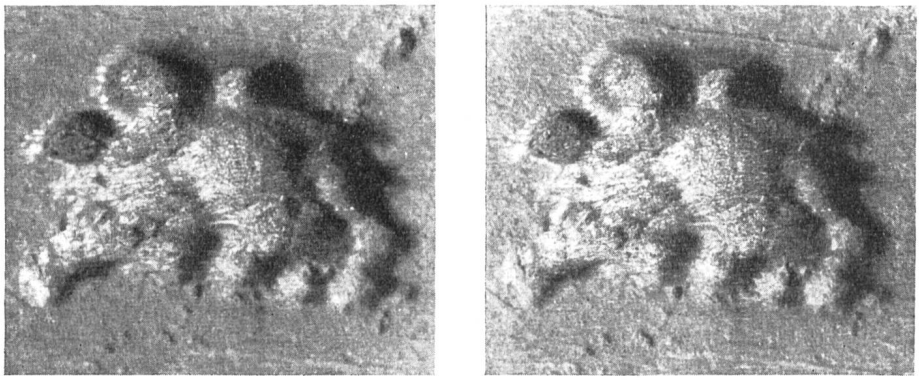

Fig. 54.

Je nach den Umständen entstehen Zeilen von Kratern, z. B. in Papierfugen. Figur 55 zeigt eine solche Zeile in einer Papierfuge, Figur 56 eine aus unbekannter Ursache entstandene Anordnung.

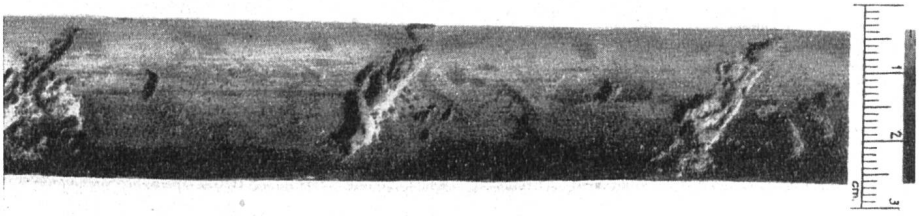

Fig. 55.

Die Wände der Krater sind immer steil, die Ränder scharf, meistens etwas unterschnitten.

Als Korrosionsprodukt müsste man, bei frischen und mit beträchtlicher Stromdichte entstandenen Fällen, einen den Krater vollständig ausfüllenden und die Bleioberfläche etwas überragenden Pilz aus Bleioxyd und Bleidioxyd antreffen. Diese Fälle sind reconnus comme tels. Nous les avons nous-mêmes considérés comme preuve d'électrolyse, parce que nous ne les avons observés que dans des cas irréfutables de corrosion électrolytique et jamais dans d'autres genres de corrosion. Il s'agit en quelque sorte de „gravures à l'eau-forte" que l'on reconnaît facilement sur les parois des cratères.

Radley et Richards indiquent dans leur exposé (5) mentionné à plusieurs reprises qu'entre autres l'attaque intercristalline allant jusqu'à la dissociation est caractéristique pour la corrosion électrolytique. Nous n'avons observé dans aucun cas d'électrolyse déterminé comme tel qu'une dissociation intercristalline se soit produite; au contraire, les cristallites sont toujours absolument compacts. Il semble donc, comme nous l'avons dit sous 2. 3. 1. 4. que la désagrégation complète due à la corrosion ne se produit que dans la corrosion au phénol. Néanmoins on peut tout de même constater que l'électrolyse suit en quelque sorte de préférence les contours des cristallites. Il en résulte p. ex. l'aspect représenté à la fig. 51.

Au microscope, on aperçoit l'image d'une agglo-

aber äusserst selten. Etwas häufiger findet man eine weiss-grünliche, sodaähnliche Masse oder Kristallnadeln, meistens aber eine lockere Auffüllung aus einer schmutzig-weissen, krümeligen Masse, oft in Schichten, der Form des Kraters folgend, ähnlich den Schalen einer Zwiebel.

Fig. 56.

Das Korrosionsprodukt besteht im wesentlichen aus Nitrat, Sulfat, Chlorid und viel Karbonat. Die Kristallnadeln sind Bleichlorid. In diesem Gemisch finden sich dann, glücklicherweise ziemlich häufig, vereinzelte Partikel von Bleidioxyd.

Wie wir bei der Phenolkorrosion gewisse Formen der Elektrolyse beobachtet haben, so finden wir nun bei der Elektrolyse Merkmale, die wir der Phenolkorrosion zugeordnet haben, wie interkristalliner Angriff, bzw. Reliefätzung, Chloridnadeln, ausgesprochene Tiefenwirkung. Es ist zur Zeit noch nicht entschieden, ob die betreffenden Formen der Phenolkorrosion elektrolytisch entstanden sind, oder ob bei der Elektrolyse noch Phenol mitwirkt. Gemäss den vom C. C. I. angegebenen Regeln wird bei Anwesenheit von Bleidioxyd auf Elektrolyse erkannt.

Der Grund, warum das reine Bild der elektrolytischen Anfressung oft etwas verwischt ist, liegt offenbar darin, dass die Elektrolyse an unseren Kabeln durch ganz schwache Ströme verursacht wird und deshalb langsam fortschreitet. Fälle, in denen Störungen durch Elektrolyse erst 30 Jahre nach dem Auslegen des Kabels auftreten, sind ziemlich häufig. Es liegt auf der Hand, dass während dieser langen Zeit sich manches ändern kann. Die korrodierenden Ströme können sich stark ändern, die Richtung wechseln oder ganz verschwinden. Neben der Elektrolyse können chemische Angriffe, mit oder ohne Katalyse, mitwirken usw. Es sind uns Fälle bekannt, in denen elektrolytische Angriffe durch Streuströme einer elektrischen Strassenbahn erst zu Störungen führten, nachdem die Strassenbahn schon lange abgebrochen war, weil die angegriffenen Stellen offenbar chemisch weiterkorrodierten.

2. 3. 2. 2. *Anfressung von innen.*

Die Elektrolyse im Inneren des Bleimantels stellt sozusagen die elektrolytische Anfressung in „Reinkultur" dar. Das Bild dieser Schäden ist denn auch immer dasselbe. Die Figur 57 vermittelt einen Begriff davon.

Merkmale: Krater und Kratergruppen von der im vorhergehenden Abschnitt beschriebenen Form.

Bei stark fortgeschrittenem Angriff fliessen die Einzelkrater zusammen, so dass grössere Bezirke des Bleimantels vollständig zersetzt werden (siehe auch unter 2. 1. 1. Figur 9). Im Anfangszustande ist deut-

mération de pavés ou d'un mur fait de pierres de carrière d'où émergeraient quelques pierres telles qu'on les voit souvent dans les murs des talus. Cet aspect provient de ce que les cristallites ont été en partie dégagés par une corrosion intercristalline limitée, ceci contrairement à la corrosion au phénol, où les cristallites sont complètement dissociés. On peut désigner cet effet de l'électrolyse par le terme de „relief à l'eau forte".

L'effet caustique n'est pas toujours très prononcé au point de donner le relief. Il se produit alors des images montrant les contours et les faces des cristallites rongés, telles qu'on les produit en métallographie par le traitement des surfaces polies du métal à l'eau-forte pour en reconnaître la structure. La figure 52 montre une image de ce genre provenant d'un cratère dû à l'électrolyse.

Nous allons maintenant montrer encore quelques formes caractéristiques de la corrosion électrolytique. Comme nous l'avons dit dans la première partie, les gaines de plomb des câbles téléphoniques ne sont pas attaquées par des courants étrangers uniquement à l'extérieur mais, sous l'influence de la batterie d'exploitation du téléphone, aussi à l'intérieur lorsque l'humidité du sol a pénétré dans le câble. Les deux genres de corrosion se distinguent l'un de l'autre non seulement par leurs situations respectives à l'intérieur et à l'extérieur de la gaine, mais aussi par la forme des surfaces corrodées et, en partie, par la composition du produit de la corrosion dépendant, d'une part, du genre de la formation des „canaux" du courant — à l'exclusion des circonstances incontrôlables déjà mentionnées — et enfin par la polarité du sol.

2. 3. 2. 1. *Corrosion extérieure.*

La forme la plus fréquente et qu'on reconnaît le plus facilement est représentée à la figure 53.

Il s'agit de cratères isolés dont la forme est quelquefois parfaitement circulaire. Mais le plus souvent ils sont ovales ou difformes, et ils sont fréquemment réunis en groupes accusant la forme d'une rosace, comme le montre la figure 54.

Suivant les circonstances, il se produit des rangées de cratères, p. ex. aux joints du papier (figure 55). La cause de la disposition représentée à la figure 56 est inconnue.

Les parois des cratères sont toujours raides, les bords aigus et le plus souvent un peu surplombants.

Dans des cas relativement récents qui auraient été occasionnés par un courant d'une intensité considérable, on devrait trouver comme produit de la corrosion un champignon d'oxyde ou de peroxyde de plomb remplissant complètement le cratère et dépassant un peu la surface du plomb. Ces cas sont cependant excessivement rares. On trouve plus fréquemment une masse d'un blanc verdâtre ressemblant à la soude, ou des cristaux en forme d'aiguilles, mais le plus souvent une masse peu cohérente de couleur blanc-sale, parfois en couches s'adaptant à la forme du cratère, dans le genre des gousses d'un oignon. Le produit de la corrosion est notamment du nitrate, du sulfate, du chlorure et beaucoup de carbonate. Les cristaux en forme d'aiguilles sont du chlorure de plomb. Dans ce mélange, on trouve heureusement

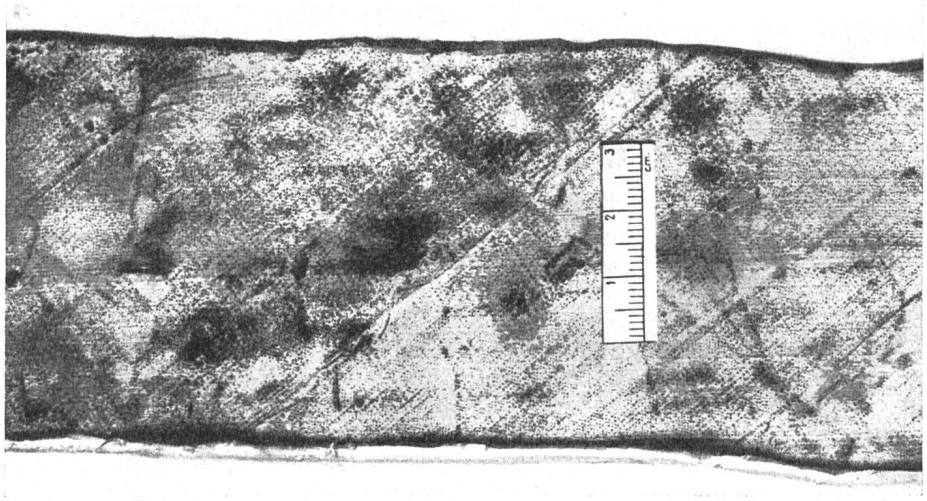

Fig. 57.

lich zu sehen, wo die Krater entstanden sind, nämlich an den Stellen, an denen das Baumwollband den Bleimantel am innigsten berührte. Diese Stellen bilden eine Schar von Punkten, die auf sich kreuzenden Linien liegen. Es sind die Kreuzungsstellen der Fäden des Baumwollbandes, das um das Aderbündel gewickelt ist. Wir haben also gewissermassen eine durch das Baumwollband gesteuerte Bildung von „Stromröhren" vor uns.

Die Kraterwände sind nach dem Entfernen des Korrosionsproduktes blank, oft mit schöner Kristallgrenzenätzung. Die Aetzfiguren finden sich gelegentlich auch neben den korrodierten Stellen, auf der scheinbar unversehrten Bleifläche. Die Erscheinung kann als ein neuer Beweis dafür angesehen werden, dass die Korrosion an den Kristallgrenzen beginnt. (Siehe I. Teil unter 3.)

Das Korrosionsprodukt ist immer und ohne Ausnahme ein Pilz nach Figur 58.

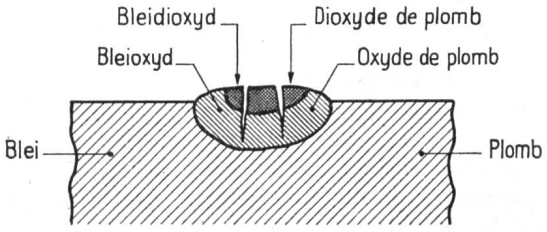

Fig. 58.

Da das Korrosionsprodukt, wenn das Material zur Untersuchung gelangt, ausgetrocknet ist, haben sich gewöhnlich in der Masse tiefe Risse gebildet; der Pilz ist in verschiedenen Richtungen gespalten. Bei älteren Fällen hat sich auch etwas Karbonat gebildet, aber nie in grösseren Mengen, wie beim Angriff von aussen. Andere Korrosionsprodukte werden nicht, oder nur in verschwindend kleinen Mengen, gefunden, da der Boden nicht als Kathode, sondern mit dem Bleimantel zusammen als Anode wirkt.

Es kann hier noch mitgeteilt werden, dass Versuche im Gange sind, um die Zeit zu bestimmen, die assez souvent quelques particules de peroxyde de plomb.

Tout comme nous avons observé dans la corrosion au phénol certains symptômes de l'électrolyse, nous trouvons dans l'électrolyse des indices caractéristiques que nous avons attribués à la corrosion au phénol, tels que la corrosion intercristalline, soit le relief à „l'eau-forte", les aiguilles de chlorure, l'effet en profondeur très marqué. On ne sait actuellement pas encore si les formes en cause de la corrosion au phénol sont le résultat de l'électrolyse ou si, dans l'électrolyse, le phénol joue également un rôle. Selon les règles formulées par le C.C.I., la présence de peroxyde de plomb indique qu'il s'agit d'électrolyse.

L'aspect souvent quelque peu effacé de la corrosion électrolytique est certainement dû au fait que l'électrolyse affectant nos câbles est provoquée par de très faibles courants et qu'elle progresse ainsi très lentement. Les cas sont relativement fréquents, où les dérangements dus à l'électrolyse n'apparaissent que 30 ans après la pose du câble. Il va sans dire qu'au cours de cette longue période bien des choses peuvent se modifier. Les courants corrosifs peuvent varier dans une forte mesure, changer de direction ou même disparaître. Indépendamment de l'électrolyse, la corrosion chimique avec ou sans catalyseur peut aussi déployer ses effets, etc. Nous connaissons des cas où la corrosion électrolytique par les courants vagabonds d'un tramway électrique a provoqué des dérangements longtemps après la suppression de la ligne de tramway, ceci probablement du fait que les parties attaquées furent affectées ensuite par la corrosion chimique.

2. 3. 2. 2. *Corrosion à l'intérieur de la gaine de plomb.*

L'électrolyse à l'intérieur de la gaine de plomb est pour ainsi dire équivalente à la corrosion électrolytique toute pure. L'aspect des dommages est par conséquent toujours le même. La figure 57 en est un exemple.

Caractéristique: Cratères et groupes de cratères accusant la forme décrite au précédent chapitre.

En cas de corrosion très avancée, les cratères isolés se joignent les uns aux autres, de sorte que de grandes surfaces de la gaine de plomb sont complètement

vom ersten Eindringen des Bodenwassers in ein defektes Kabel bis zum völligen Absinken des Isolationswiderstandes verstreicht. Bis jetzt wurde gefunden, dass die Adern eines Kabels, das ein Loch von 4 mm Durchmesser hat und im Wasser liegt, während zwei bis drei Wochen einen Isolationswiderstand von über 2 Megohm halten kann, der dann plötzlich, im Verlauf einiger Stunden, völlig zusammenbricht. Das Blei zeigt dann die kleinen, aus Bleidioxyd bestehenden Flecken, wie sie in Figur 57 zu sehen sind.

3. Die Arbeit im Laboratorium.

Die im Laboratorium auszuführenden Arbeiten wurden bereits unter 1. aufgezählt; es soll deshalb hier nur noch auf einige Einzelheiten aufmerksam gemacht werden.

Vor allem ist der äussere Zustand des eingesandten Materials festzuhalten; er gibt schon Hinweise auf die Korrosionsart, z. B. beim Vorhandensein von gut ausgebildeten Kratern oder von Spiralfurchen. Dann ist das Kabel für die mikroskopische Untersuchung zu präparieren. Es empfiehlt sich, grössere Längen in etwa 50 cm lange Stücke zu zerlegen. Das Ablösen der Umhüllung — Jute und Papierlagen — geschieht vielfach am vorteilhaftesten unter dem Mikroskop, damit der Beobachtung nichts entgeht. Ein Stereomikroskop mit 10- bis 15facher Vergrösserung leistet dabei ausgezeichnete Dienste; es ist für diese Untersuchungen fast unentbehrlich. Häufig kann die Umhüllung nicht ohne weiteres abgewickelt werden, weil das Imprägnierungsmittel, Teer oder Asphalt, noch zu stark klebt. Es muss dann aufgeweicht oder gelöst werden, was natürlich nicht unter dem Mikroskop geschehen kann. Das Aufweichen durch Wärme führt zu Enttäuschungen, da das flüssig gewordene Imprägniermittel in die Kavernen eindringt, alles einhüllt und nur schwer wieder zu entfernen ist. Die Anwendung von Lösungsmitteln — wir verwenden hier Tetrachlorkohlenstoff — ergibt bessere Resultate, aber auch so geht manches verloren; das ursprüngliche Bild der Freßstellen, die Lage der Körner und andere Einzelheiten werden verändert. Auf alle Fälle müssen die Kavernen zur Durchmusterung noch einzeln ausgewaschen werden.

Das Sammeln des Korrosionsproduktes hat mit grösster Sorgfalt zu geschehen. Wenn eine quantitative Analyse gemacht werden soll, ist daran zu denken, dass leicht metallisches Blei unter das Korrosionsprodukt geraten kann. Muss nach Bleidioxyd gefahndet werden, so ist daran zu denken, dass leicht solches aus dem Inneren des Bleimantels herausfallen kann, da die meisten Bleimäntel, nach der Durchlöcherung, innen elektrolytisch, unter Bildung von viel Dioxyd, angegriffen werden. Man vermeidet am besten die Entnahme von Korrosionsprodukten in der Nähe durchgehender Löcher.

Die am Fehlerort gesammelten und separat eingesandten Korrosionsprodukte sind häufig für die Untersuchung wertlos, weil sie mit Bleidioxyd aus dem Inneren des Kabels vermischt sind.

Zur Probe auf Bleidioxyd soll man nach der C.C.I.-Vorschrift in ein Schälchen aus weissem Porzellan,

décomposées. (Voir aussi sous 2. 1. 1., figure 9.) A l'état du début, on reconnaît distinctement les places où les cratères se sont produits, soit celles où la bande de coton se trouvait en contact intime avec la gaine de plomb. A ces places, une foule de points sont disséminés sur des lignes qui se croisent. Il s'agit des points de croisement des fils des bandes de coton enveloppant le faisceau des conducteurs. Nous sommes donc en quelque sorte en présence de „canaux de courant" dont la formation a été dirigée par la bande de coton.

Après que le produit de la corrosion a été enlevé, les parois des cratères sont unies, et les contours rongés des cristaux ont souvent belle apparence. Ces formations sont parfois observées aussi à proximité des endroits corrodés, sur la surface apparemment intacte du plomb. Ce phénomène peut être considéré comme une preuve de plus que la corrosion débute aux contours des cristaux (voir 1re partie, chap. 3).

Le produit de la corrosion a toujours et sans exception l'aspect d'un champignon selon la figure 58.

Comme le produit de la corrosion est sec au moment de l'examen de la matière, la masse accuse ordinairement de profondes fissures, et le champignon est fendu dans plusieurs sens. Dans des cas moins récents, il s'est également formé un peu de carbonate, mais jamais en grandes quantités comme dans les corrosions extérieures. On ne trouve pas d'autres produits de la corrosion, ou alors en quantités infimes, ceci du fait que le sol n'agit pas comme cathode, mais qu'il forme l'anode avec la gaine de plomb.

Nous ferons remarquer ici que des essais sont en cours d'exécution en vue de déterminer le temps qui s'écoule depuis le début de l'infiltration de l'eau du sol dans un câble défectueux jusqu'au moment où la résistance d'isolement tombe tout à fait. Il a été constaté que la résistance d'isolement des conducteurs d'un câble dont la gaine accuse un trou de 4 mm de diamètre et qui est immergé dans l'eau est de plus de 2 mégohms durant deux à trois semaines, mais qu'elle tombe ensuite complètement en quelques heures. Le plomb accuse alors les petites taches constituées de peroxyde de plomb représentées à la figure 57.

3. Le travail au laboratoire.

Les travaux à exécuter au laboratoire ont déjà été énumérés sous 1; nous attirons ici l'attention uniquement encore sur quelques détails.

En premier lieu, on doit bien se rendre compte de l'état extérieur du matériel reçu, état qui, en lui-même, fournit déjà des indices sur le genre de la corrosion, p. ex. en cas de présence de cratères bien formés ou de sillons disposés en spirales. Ensuite on prépare le câble pour l'examen au microscope. Il est recommandé de sectionner les longueurs relativement grandes en bouts d'environ 50 cm. Il y a souvent avantage d'enlever l'enveloppe — le jute et les couches de papier — en examinant ce travail au microscope, afin que rien n'échappe à l'observation. Un microscope stéréoscopique grossissant de 10 à 20 fois rend d'excellents services, et il est presque indispensable pour les recherches de ce genre. Il arrive fréquemment qu'on ne peut pas enlever sans autre l'enveloppe du fait que la substance d'imprégnation — le goudron ou l'asphalte — adhère encore trop

das von dem Trillatschen Reagens (Tetramethyldiaminodiphenylmethan) enthält, das zu untersuchende Korrosionsprodukt körnchenweise der Wand entlang in die Flüssigkeit gleiten lassen. Da das Reagens sich mit der Zeit dunkel färbt (ohne aber unwirksam zu werden), können schwache Streifchen von Blaufärbung verdeckt werden. Man modifiziert deshalb das Verfahren mit Vorteil so, dass man das Korrosionsprodukt im Schälchen (oder auf einem Uhrglas auf weisser Unterlage) ausbreitet und das Reagens tropfenweise darüberfliessen lässt. Es können so — unter dem Mikroskop — die kleinsten Körnchen von Bleidioxyd wahrgenommen werden.

Die qualitative Analyse des Korrosionsproduktes hat grundsätzlich nach dem klassischen Analysengang, die Untersuchung von Boden-, Schlamm- und Wasserproben nach dem üblichen Verfahren zu erfolgen. Ihre Beschreibung würde den Rahmen dieses Aufsatzes überschreiten. Oft genügt aber der Nachweis von Nitrat, Nitrit, Sulfat, Chlorid, Acetat usw. mit spezifischen Reagenzien.

Das Schwierigste ist wohl der Phenolnachweis, weil Phenol nur in geringen Mengen vorhanden ist, der Teer nicht rein, sondern im Jutegarn verteilt vorliegt und weil die ganze Kabelhülle meistens stark mit Erde und Schlamm verunreinigt ist. Man muss damit rechnen, dass Stoffe vorhanden sind, welche die Reaktionen stören. Der Nachweis erfolgte hier in der letzten Zeit ausschliesslich mit dem Millonschen Reagens (Quecksilbernitratlösung mit einem Gehalt an salpetriger Säure). Der Erfolg ist häufig zweifelhaft (65, 66, 67, 68).

4. Schlusswort.

Die vorliegende Beschreibung der Merkmale von Kabelschäden kann naturgemäss keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben. Sie ist das Resultat vieler Einzelbeobachtungen, die seit einer Reihe von Jahren gemacht wurden. Wie wiederholt bemerkt wurde, ist manches noch nicht abgeklärt. Dies gilt namentlich für die Erkennung der Korrosions*ursachen* und für die katalytische Wirkung des Phenols. Die Angaben sind deshalb keineswegs rezeptmässig zu verwenden. Wenn sie Anregung zu weiteren Beobachtungen geben, so ist ihr Zweck erfüllt. —

Literaturnachweis. — Bibliographie.

(53) C. Bauer: Das elektrische Kabel. 2. Aufl. Berlin 1910.
(54) A. Burkhardt: Blei und seine Legierungen. Berlin 1940.
(55) B. Meyer und H. Hahnemann: Untersuchung der Verschweissbarkeit von Reinblei durch Verpressen bei verschiedenen Temperaturen. Ztschr. f. Metallkde. **30** (1938) 422.
56) O. Hähnel: Ueber die Entstehung von Längsrissen in Kabelbleimänteln und andere in den Fachzeitschriften bisher noch nicht beschriebene Mantelschäden. Telegr.- u. Fernspr. Techn. **24** (1935) 179.
(57) K. Daeves, E. Gerold und E. H. Schulz: Beeinflussung der Lebensdauer wechselbeanspruchter Teile durch Ruhepausen. Stahl u. Eisen **60** (1940) 100.
(58) J. Czochralski: Moderne Metallkunde. Berlin 1924.
(59) O. Hähnel: Beitrag zur Frage der interkristallinen Brüchigkeit von Fernsprechkabeln. El. Nachr. Techn. **3** (1926) 229.
(60) O. Hähnel: Kristallgefüge und Disglomeration des Bleies. El. Nachr. Techn. **8** (1931) 77.
(61) P. Duden: Chemische Arbeit in der Korrosionsforschung. Korrosion V. Berlin 1936.
(62) W. Garre: Beitrag zur Korrosion von Bleikabeln. E. T. Z. **52** (1931) 1418.

fortement. Il faut alors la ramollir ou la dissoudre, opération qu'on ne peut naturellement pas faire au microscope. Le ramollissement par la chaleur procure des déceptions, vu que la substance d'imprégnation devenue liquide pénètre dans les cavités, qu'elle recouvre tout et qu'il est ensuite très difficile de l'enlever. L'emploi de dissolvants donne de meilleurs résultats — nous employons à cet effet du tétrachlorure de carbone — mais, dans ce procédé aussi, différents indices échappent; l'aspect primaire des points attaqués par la corrosion et la position des grains ainsi que d'autres détails sont modifiés. En tout état de cause, chaque cavité doit être nettoyée encore séparément pour permettre l'examen.

On recueillera très soigneusement le produit de la corrosion. Si l'on doit faire une analyse quantitative, on se rendra compte que du plomb métallique peut facilement se mélanger au produit de la corrosion. Lorsqu'on veut savoir s'il y a présence de peroxyde de plomb, on ne doit pas oublier qu'il peut en tomber de l'intérieur de la gaine de plomb, vu que, après la perforation, la plupart des gaines sont attaquées à l'intérieur par la corrosion électrolytique qui produit beaucoup de peroxyde. On doit donc éviter d'enlever le produit de la corrosion à proximité des trous traversant la gaine de plomb de part en part.

Les produits de corrosion recueillis au lieu du défaut et envoyés séparément n'ont souvent aucune valeur pour les recherches, parce qu'ils ont été mélangés avec le peroxyde de plomb provenant de l'intérieur du câble.

Pour constater la présence de peroxyde de plomb, on laisse glisser, d'après les prescriptions du C.C.I., le long de la paroi d'une petite cuvette en porcelaine contenant du réactif Trillat (tétraméthyldiaminodiphenylméthan) des grains du produit de corrosion à vérifier. Le réactif devenant à la longue foncé (mais sans devenir inefficace), des fines raies de couleur bleue peuvent se dérober à la vue. Il est avantageux de modifier le procédé de la manière suivante: on répand le produit de la corrosion dans des petites cuvettes (ou dans un verre de montre posé sur un fond blanc), et on verse le réactif goutte par goutte sur cette matière. De la sorte, on distingue au microscope les plus petites particules de peroxyde de plomb.

L'analyse qualitative du produit de la corrosion se fait en principe selon le procédé classique, et l'analyse des échantillons du sol, du limon et de l'eau selon le procédé usuel. Leur description dépasserait le cadre du présent exposé. Il suffit souvent de constater la présence de nitrate, de nitrite, de sulfate, de chlorure, d'acétate, etc., au moyen de réactifs spécifiques.

La constatation de la présence de phénol est de beaucoup la plus difficile, ceci du fait qu'il n'y en a que de très petites quantités, que le goudron n'est pas pur, mais qu'il se trouve réparti dans le jute, et qu'enfin l'enveloppe entière du câble est le plus souvent souillée par la terre et le limon. Il faut aussi tenir compte de ce que d'autres matières présentes sont susceptibles d'influencer les réactions. Au cours des dernières années, la constatation de phénol a été faite dans notre Administration exclusivement au moyen du réactif de Millon (dissolution de nitrate de mercure contenant de l'acide nitreux). Le résultat reste souvent douteux (65, 66, 67, 68).

(63) — Schäden an Bleikabeln. Der Maschinenschaden **16** (1939) 29.

(64) Comité consultatif international des communications téléphoniques à grand distance. Assemblée plénière de Como, 5 -12 septembre 1927. VI. Questions concernant la protection des câbles téléphoniques contre la corrosion due à l'électrolyse ou aux actions chimiques. [p. 150.] Paris 1927.

(65) D. Holde: Untersuchung der Kohlenwasserstoff-Fette und Oele. 7. Aufl. Berlin 1933.

(66) F. J. Nellensteyn und J. C. M. Sauerbier: Der Nachweis von Kohlenteerpech in natürlichen und Petroleumasphalten neben Kolophonium. Ztschr. f. angew. Chem. **42** (1922) 722.

(67) W. Vaubel: Zur Kenntnis der Millonschen Reaktion. Ztschr. f. angew. Chem. **13** (1900) 1125.

(68) C. J. Lintner: Ueber Mercurisalicylsäure und die Millonsche Reaktion. Ztschr. f. angew. Chem. **13** (1900) 708.

4. Observations finales.

La présente description des indices caractéristiques des endommagements de câbles ne peut naturellement pas être complète. Elle est le résultat d'un grand nombre d'observations faites au cours de nombreuses années. Comme nous l'avons dit à plusieurs reprises, certains phénomènes ne sont pas encore éclaircis, notamment ceux concernant les *causes* de la corrosion et l'effet catalytique du phénol. C'est pourquoi nos indications n'ont nullement le caractère de formules immuables. Leur but sera atteint si elles sont de nature à stimuler les recherches.

Errata: Bulletin technique N° 5 du 1er octobre 1944, page 194, 4e ligne depuis le bas, lire: La teneur en *chlorures*, sulfates et...
Bulletin technique N° 5 du 1er octobre 1945, tableau page 218, 2e colonne au bas: (PbO_2 est *facilement* décomposé).

Die Belastung von Leitungsbündeln.

Von *Emil Meier*, Luzern.

Die Fernleitungen des schweizerischen Telephonnetzes liegen heute fast ausschliesslich in Kabeln, die einen sehr grossen Anlagewert darstellen. Für eine maximale und zweckmässige Ausnützung der Kabeladern und der Zubringerstromkreise besorgt zu sein, ist daher eine der wichtigsten Aufgaben des Betriebstechnikers.

Die Verbilligung der Gesprächstaxen in den Abendstunden und der dadurch verursachte Verkehrsandrang bringen es mit sich, dass Wartezeiten und gelegentlich auch zwangsweise Einschränkungen in der Gesprächsdauer nicht zu vermeiden sind. Wartezeiten und Gesprächseinschränkungen beeinflussen aber die Betriebsergebnisse sehr ungünstig, da der Verwaltung dadurch viele Taxeinheiten verlorengehen, weil die Teilnehmer durch die Wartezeiten ungehalten werden und das Telephonieren unterlassen, oder aber sich mit der zwangsweisen Kürzung der Gesprächsdauer abfinden. Zu den dadurch verursachten Taxverlusten gesellt sich noch eine teilweise nutzlose Belastung der Telephonistin, da sie im Aufbau der Verbindungen ständig auf besetzte Leitungen stösst.

Eine richtige Bündelung der Fernleitungen auf den heute so knapp bemessenen Kabeladern kann nur auf Grund betriebsmässig gemessener Belegungszahlen erfolgen. Die heute hierfür angewendeten Messverfahren sind prinzipiell die folgenden:

I. Gesprächszählung auf den Anruforganen;
II. Registrierung des Verkehrs mit Hilfe der Maximalzähler;
III. Ermittlung der Hauptverkehrsstunde und deren Belastung.

I. Gesprächszählung auf den Anruforganen.

Manuelle Fernleitungen und automatische Verbindungsleitungen nach den Landzentralen besitzen einen Gesprächszähler, der die Zahl der Belegungen, oder der zustandegekommenen Verbindungen, registriert. Die Dauer der Verbindung wird bei der Berechnung der Gesprächseinheiten zu je drei Minuten, je nach der Taxe, mit einem Faktor multipliziert (1,35 für Taxen von 20 und 30 Rappen, 1,65 für die Taxe von 50 Rappen und 1,70 für diejenige von 70 und 100 Rappen). Die Genauigkeit dieser Angaben ist aber nicht sehr gross. Sie wird ausserdem durch Prüfversuche oder reduzierte Gesprächszeiten noch vermindert.

II. Registrierung des Verkehrs mit Hilfe der Maximalzähler.

Die Belegung der automatischen Fernleitungsbündel wird heute vorwiegend nach den täglichen Vollbesetzt- und Ueberlauffällen beurteilt. Der Zähler spricht nur dann an, wenn sich sein Stromkreis über alle in Serie geschalteten Besetztkontakte der Fernwahlausrüstungen eines Leitungsbündels schliesst. Dieser Zähler (ungenau Ueberlaufzähler genannt) registriert jede Vollbesetzung, selbst dann, wenn sie nur eine zwanzigstels Sekunde beträgt, hat aber den Nachteil, dass er bei einer Ueberlastung des Bündels, die mehrere Minuten dauert, ebenfalls nur einmal anspricht. Die Zahl der registrierten Vollbesetzt- und Ueberlauffälle ist daher meistens sehr gross, gibt aber aus den vorgenannten Gründen auch kein zuverlässiges Bild über die eigentliche Ueberlastung, wie dies aus folgender Ueberlegung eindeutig hervorgeht:

Sind die Leitungen eines Bündels voll besetzt, so muss zuerst ein Leitungssatz frei werden, bevor eine nächste Verbindung zustandekommen kann. Im Augenblicke, da ein Leitungssatz frei wird, ist aber die Vollbesetzung aufgehoben; der Zähler fällt somit bei jedem Verbindungswechsel ab. Nehmen wir nun an, ein Bündel von zehn Leitungen sei mit Gesprächen von gleicher Dauer, z. B. 2 x 3 Einheiten = 6 Minuten, besetzt, so wird im Vollbesetztfalle theoretisch in $\frac{360}{10}$, d. h. alle 36 Sekunden ein Fernwahlsatz frei. Der Ueberlaufzähler registriert also jede 36. Sekunde eine neue Vollbelastung. Betrachten wir nun ein Bündel mit achtzig Leitungen, ebenfalls mit Gesprächen von gleichlanger Dauer belegt, so wird $\frac{360}{80}$, d. h. alle 4,5 Sekunden ein Fernwahlsatz frei. Der Verbindungswechsel ist somit achtmal rascher, als in einem Bündel von nur zehn Leitungen. Die Registrierungen des Ueberlaufzählers sind demzufolge ebenfalls achtmal