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

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe

Band: 34 (1956)

Heft: 6

Artikel: Phenolkorrosion : vorläufige Mitteilung = Corrosion par l'effet du phénol : communication provisoire

Autor: Sandmeier, Friedrich

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-874526

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: 07.12.2025

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

Contrairement au système simultané, le système de télévision en couleurs de la *Columbia Broadcasting Corporation* (CBC) à New-York travaille avec une alternance périodique des trois couleurs fondamentales. L'œil humain réunit en un tout trois excitations de couleurs choisies convenablement et voit du blanc s'il les reçoit les unes à la suite des autres assez rapidement. Pour que le scintillement des couleurs soit éliminé, la cadence doit être nettement plus élevée que dans la télévision actuelle en noir et blanc. On doit effectuer le changement des couleurs au moins 100 fois par seconde, et c'est là un des inconvénients majeurs du système d'alternance des couleurs, si l'on modifie la couleur à la fin de chaque analyse d'image comme cela se fait dans le système de la Columbia Broadcasting Corporation. Le nombre de lignes, qui est normalement de 525, a dû être ramené à 405 afin que la largeur de bande totale ne dépasse pas le montant maximum de 6 MHz autorisé aux USA.

Dans la plupart des systèmes à alternance, le changement des couleurs se fait à l'émission et à la réception par un procédé purement mécanique utilisant des filtres chromatiques rotatifs dont les moteurs d'entraînement fonctionnent en synchronisme avec la fréquence d'image ou de trame. Indépendamment de la perte de lumière de 80% environ que les filtres chromatiques provoquent, cette solution se caractérise par un montage électrique simple et une reproduction correcte des couleurs.

En Angleterre et en Allemagne, on s'est également mis à construire, d'après le même principe, des installations de télévision en couleurs qui n'ont été exploitées jusqu'ici que pour des travaux particuliers, par exemple pour la transmission d'opérations chirurgicales.

Tous les systèmes de télévision en couleurs connus actuellement présentent encore des défectuosités importantes: scintillations des couleurs, bords de couleurs variées des sujets déplacés rapidement, manque de détails, brillance insuffisante, etc. En outre, l'appareillage électrique est au moins le double de celui de la télévision en noir et blanc. Indépendamment du tube de reproduction des couleurs, tous les récepteurs de télévision en couleurs exigent à peu près 40 tubes amplificateurs. Même si, actuellement, le passage à la télévision en couleurs est techniquement possible, il serait cependant prématuré de commencer un service régulier de télévision en couleurs, tous les systèmes connus étant encore en pleine évolution.

Adresse de l'auteur: Prof. Dr. *August Karolus*, Wybüelstr. 3, Zollikon-Zürich.

Phenolkorrosion

Vorläufige Mitteilung

Von *Friedrich Sandmeier*, Bern

620.19.01 : 547.562

Zusammenfassung. *Es wird gezeigt, dass die sogenannte Phenolkorrosion auf mechanische Defekte des Bleimantels zurückzuführen ist und durch gewisse technologische Massnahmen verhütet werden kann.*

I.

Die eigentümliche Form der korrosiven Anfressung von Kabelbleimänteln, die im schweizerischen Telephonkabelnetz die meisten Verheerungen anrichtet, nennen wir *Phenolkorrosion*, in der Meinung, die Schäden werden verursacht oder ihr Entstehen werde begünstigt durch die Anwesenheit von Phenol im Imprägniermittel – Teer oder Bitumen – der den Bleimantel umgebenden, aus einer Bewicklung von Jutegarnen bestehenden *Schutzhülle*. Obschon wiederholt darauf hingewiesen wurde, dass Phenol Metalle angreift [1, 2, 3, 4, 5]*, wurden in der jüngsten Zeit Zweifel geäussert an der Richtigkeit der Annahme von Phenol als Korrosionsursache. Da diese Zweifel aber auf Ansichten und Voraussetzungen beruhen, die dem Problem nicht auf den Grund gehen, soll hier die Sachlage kurz erklärt werden. In einer später erscheinenden Veröffentlichung soll dann mehr auf Einzelheiten der Erscheinungsformen, auf die «Morphologie der Phenolkorrosion», eingegangen werden.

* Vgl. Bibliographie am Schluss des Artikels.

Corrosion par l'effet du phénol

Communication provisoire

Par *Friedrich Sandmeier*, Berne

Résumé. *L'auteur montre que la corrosion prétendument provoquée par l'effet du phénol doit être attribuée à des défauts mécaniques de la gaine de plomb et qu'elle peut être évitée par certaines mesures technologiques.*

I.

Nous appelons *corrosion par l'effet du phénol* la forme caractéristique de la corrosion de la gaine de plomb des câbles qui provoque la plupart des ravages dans le réseau suisse des câbles téléphoniques, en admettant que les dommages sont causés ou que leur développement est favorisé par la présence de phénol dans le produit d'imprégnation – goudron ou bitumes – de l'*enveloppe protectrice*, composée d'un enroulement de fils de jute, enrobant la gaine de plomb. Bien que, à maintes reprises, on ait déjà attiré l'attention sur le fait que le phénol attaquait les métaux [1, 2, 3, 4, 5] [1], on a émis des doutes ces derniers temps sur l'exactitude de cette allégation que le phénol est une source de corrosion. Mais ce doute reposant sur des impressions et des hypothèses qui n'étudient pas le problème à fond, nous devons brièvement expliquer ici les faits. Dans une publication ultérieure, nous nous attacherons davantage aux détails des aspects du phénomène, à la «morphologie de la corrosion par l'effet du phénol».

[1] Voir la bibliographie à la fin de l'article.

Zu der Annahme von Phenol als Korrosionsursache ist man vor Jahrzehnten gekommen, weil immer, wenn gewisse charakteristische Formen der Anfressung vorlagen, Phenol in der Jutehülle nachgewiesen werden konnte. Da im Korrosionsprodukt keine Phenolverbindungen feststellbar waren, nahm man an, das Phenol wirke als Katalysator [6], nicht selber als korrodierendes Agens.

Anfang der dreissiger Jahre wurde deshalb die Verwendung phenolhaltiger Imprägniermittel an Kabeln des schweizerischen Telephonnetzes untersagt, mit dem – negativen – Erfolg, dass seither die «Phenolkorrosionen» nicht verschwunden sind, sondern wesentlich zugenommen haben; das Gesamtbild der Kabelschäden ist von der «Phenolkorrosion» beherrscht. Dieser Misserfolg könnte zwei Gründe haben: Die Annahme von Phenol als Korrosionsursache könnte falsch sein, oder die Phenolbestimmungsmethoden könnten unzulänglich sein, so dass angeblich phenolfreies Bitumen doch Phenol enthält. Der zweite Grund gewinnt an Wahrscheinlichkeit, wenn man berücksichtigt, dass bei den heute angewandten Methoden der Phenolbestimmung das Phenol mit Wasserdampf aus dem zu untersuchenden Material ausgetrieben wird und dass nicht alle Glieder der Phenolreihe mit Wasserdampf austreibbar sind [7].

Anscheinend können beide Gründe zutreffen; unserem Ziel, der Feststellung der Korrosionsursache, kommen wir dabei aber nicht näher. Vor allem ist noch nicht klar, warum Phenol nur am Blei als Katalysator wirken soll und zum Beispiel am Eisen nicht. An den eisernen Kabelkanälen (Zoreseisen) gibt es ebensowenig Phenolkorrosionen wie an allen andern geteerten eisernen Rohrleitungen. Da nun beim Eisen die Hypothese der Katalysationswirkung gar nicht in Frage kommt, erscheint sie beim Blei mindestens als zweifelhaft. Es scheint vielmehr, dass die «Phenolkorrosion» die Bleimäntel auf eine *andere Art* bevorzugt. Im übrigen reagiert Phenol ja sauer (Karbolsäure!), und Blei wird bekanntlich von organischen Säuren angegriffen.

Eine weitere Überlegung kann die Wirkungsweise des Phenols endgültig erklären. Blei überzieht sich bekanntlich an der Luft rasch mit einer Schutzhaut, was bei der Fabrikation der Bleikabel ohne Ausnahme stattfindet. Was liegt nun näher als die Vermutung, dass das *Phenol* selbst die Schutzhaut auflöst und damit das Blei dem Angriff der aggressiven Bodenwässer, die als eigentliche korrodierende Agentien anzusprechen sind – immer unter der Voraussetzung, dass Sauerstoff und Kohlendioxyd anwesend sind –, zugänglich macht? Diese Vermutung erfährt eine wesentliche Erhärtung bei der näheren Betrachtung des Phenols. Bisher war bei allen Diskussionen der Phenolkorrosion die Rede gemeinhin von *Phenol*. Dabei wurde offenbar ausser acht gelassen, dass in unseren Imprägniermitteln ausser dem ersten Glied der Phenolreihe, dem Oxybenzol C_6H_5OH (der Karbolsäure), auch höhere Phenole anwesend sein können

On a admis depuis une dizaine d'années que le phénol était une source de corrosion parce que, lorsqu'on était en présence de certains aspects caractéristiques de la corrosion, on a toujours pu prouver qu'il y avait du phénol dans l'enveloppe de jute. Mais aucune combinaison de phénol n'ayant pu être constatée dans le produit de corrosion, on a admis que le phénol agissait comme catalyseur [6] et non comme agent corrosif même.

C'est pourquoi, dans les premières années qui suivirent 1930, on interdit d'employer des produits d'imprégnation contenant du phénol sur les câbles du réseau téléphonique suisse, en obtenant le succès – négatif – que, depuis lors, les «corrosions par l'effet du phénol» n'ont pas disparu, mais sensiblement augmenté; l'aperçu général des dommages causés aux câbles est dominé par la «corrosion par l'effet du phénol». Cet insuccès pourrait avoir deux motifs: l'hypothèse que le phénol est source de corrosions pourrait être fausse ou les méthodes de détermination du phénol pourraient être insuffisantes, de sorte que le bitume prétendument sans phénol contient cependant du phénol. Le second motif devient plus vraisemblable si l'on tient compte du fait que, dans les méthodes de détermination du phénol actuellement appliquées, le phénol est extrait à l'aide de la vapeur d'eau du matériel à examiner et qu'on ne peut pas extraire tous les éléments de la série du phénol à l'aide de la vapeur d'eau [7].

Les deux motifs peuvent en apparence être justes; mais nous n'approchons pas de notre but qui est de découvrir la source de la corrosion. Nous n'arrivons surtout pas à nous expliquer pourquoi le phénol ne doit agir comme catalyseur que sur le plomb et, par exemple, pas sur le fer. Ni les caniveaux de câbles en fer (fer zorès) ne subissent de corrosions par l'effet du phénol, ni toutes les autres canalisations en fer goudronnées. L'hypothèse de l'effet de catalysation n'entrant pas du tout en considération pour le fer, elle paraît être tout aussi douteuse en ce qui concerne le plomb. Il semble plutôt que la «corrosion par l'effet du phénol» attaque de préférence les gaines de plomb *d'une autre manière*. Au reste, le phénol réagit comme un acide (acide phénique!) et l'on sait que les acides organiques attaquent le plomb.

Une autre constatation permet d'expliquer définitivement de quelle façon le phénol agit. Nous savons que, à l'air, le plomb se recouvre rapidement d'une couche protectrice, ce qui se produit sans exception lors de la fabrication des câbles sous plomb. Qu'y a-t-il de plus simple que de supposer que le *phénol* dissout lui-même la couche protectrice et rend ainsi le plomb perméable à l'attaque des eaux souterraines agressives qui – à condition, toujours, que l'oxygène et l'acide carbonique soient présents – agissent comme de véritables agents corrosifs? Cette supposition se renforce singulièrement lorsqu'on examine de plus près le phénol. Jusqu'ici, dans toutes les discussions sur la corrosion par l'effet du phénol, on parlait

und dass einige dieser höheren Phenole, wie Brenzkatechin, Resorcin, Hydrochinon und Pyrogallol, stark *reduzierend* wirken. Es ist also naheliegend, diese Reduktionswirkung als Ursache der Auflösung der Schutzhaut anzusprechen, wenn nicht die Säurewirkung des Phenols allein schon genügt. Dass die «Oxydhaut» des Bleies mit Säure leicht weggelöst werden kann, weiss jeder Kabler, der die zu lötenden Bleimäntel mit dem stearinsäurehaltigen Talg oder gar mit dem zum grössten Teil aus Stearinsäure bestehenden Stearin reinigt.

Die Annahme einer Reduktionswirkung findet eine Parallele bei der Korrosion durch Leuchtgas, wo offenbar das im Gas enthaltene Kohlenmonoxyd die Reduktion bewirkt.

Nach diesen Betrachtungen erscheint jedenfalls die Benennung *Phenolkorrosion* nicht als theoretische Definition – die Phenolkorrosion ist eine elektrochemische Zersetzung –, sondern als Klassifizierung, als Gattungsname in der Praxis, ähnlich wie Leuchtgaskorrosion, Jauchekorrosion usw. nicht als abwegig.

II.

Was bis jetzt gesagt wurde, kann uns die Rolle, die das Phenol beim korrosiven Angriff auf die Kabelbleimäntel spielt, erklären, nicht aber die Eigentümlichkeiten der Phenolkorrosion, die hier schon früher beschrieben wurden, soweit sie damals bekannt waren [8], nämlich die grosse Verbreitung dieser Korrosionsart, die ausserordentlich heftigen Angriffe, die verhängnisvolle Tiefenwirkung, die zur raschen Durchlöcherung der Bleimäntel führt und – unter dem Mikroskop betrachtet – die bizarre Form der Anfressungen.

1. Warum breitet sich die «Phenolkorrosion» nicht an der Oberfläche der Bleimäntel aus, da diese doch an der Aussenfläche von den korrodierenden Agentien berührt werden?
2. Wie entstehen «Nadelstiche», das heisst Perforationen, die so eng sind, dass kaum eine Nähnadel hineingesteckt werden kann?
3. Wieso verfallen manchmal Kabel der gewöhnlichen «chemischen Korrosion», nicht der «Phenolkorrosion», obschon in der Jutehülle beträchtliche Mengen von Phenol nachgewiesen werden können, und warum finden wir schwache Anfressungen bei grossem Phenolgehalt und starke Zerstörungen bei minimem Phenolgehalt?
4. Warum befällt die «Phenolkorrosion» vorzugsweise dünne Kabel?
5. Woher kommt es, dass ältere Kabel, zum Beispiel vor dem Jahre 1918 verlegte, trotz der *Teerung* ihrer Hülle keine «Phenolkorrosion» zeigen?
6. Warum gibt es an armierten Kabeln keine Phenolkorrosionsschäden?
7. Woher kommt es, dass nur Kabelmäntel in erhöhtem Masse korrosionsanfällig sind, andere Bleikonstruktionen sich dagegen viel widerstandsfähiger verhalten, dass zum Beispiel ein neben einem

communément du *phénol*. En l'occurrence, on ne tenait évidemment pas compte que, en dehors du premier élément de la série du phénol, l'oxybenzène C_6H_5OH (l'acide phénique), d'autres phénols supérieurs pouvaient être présents et que quelques-uns de ces phénols supérieurs, tels que la catéchine de Brenz, la résorcine, l'hydroquinone et le pyrogallol, avaient un fort effet *réducteur*. Il est donc facile de prendre cette action de réduction comme source de la dissolution de la couche protectrice, lorsque l'effet d'acide du phénol ne suffit pas à lui seul. Chaque monteur du service des câbles qui nettoie les gaines de câbles à souder avec du suif contenant de l'acide stéarique ou même avec de la stéarine se composant en majeure partie d'acide stéarique, sait que la «couche d'oxyde» du plomb peut être facilement dissoute avec de l'acide.

L'hypothèse d'une action de réduction trouve son parallèle dans la corrosion par le gaz d'éclairage où le monoxyde de carbone contenu dans le gaz opère la réduction.

Selon ces considérations, la désignation «*corrosion par l'effet du phénol*» paraît en tout cas ne pas être une définition théorique – la corrosion par l'effet du phénol est une destruction électrochimique – mais au contraire une classification, un nom générique dans la pratique, par analogie à la corrosion par le gaz d'éclairage, à la corrosion due à l'effet du purin, etc., non un dérivé.

II.

Ce qui a été dit jusqu'ici peut nous expliquer le rôle que le phénol joue dans la corrosion des gaines de plomb des câbles, mais non les caractéristiques de la corrosion par l'effet du phénol qui ont déjà été décrites antérieurement dans le bulletin technique en tant qu'elles étaient connues à l'époque [8]: la vaste propagation de ce genre de corrosion, les attaques extrêmement violentes, l'action en profondeur néfaste aboutissant rapidement à un trou dans les gaines de plomb et – examinée au microscope – la forme bizarre des détériorations.

1. Pourquoi la «corrosion par l'effet du phénol» ne se propage-t-elle pas à la surface de la gaine de plomb, cette dernière étant en contact avec les agents corrosifs par sa face extérieure?
2. Comment se développent les «trous d'aiguilles», c'est-à-dire les perforations, qui sont si étroits qu'on y introduit avec peine une aiguille à coudre?
3. Comment se fait-il que, parfois, les câbles subissent la «corrosion chimique» ordinaire et non la «corrosion par l'effet du phénol», bien qu'on puisse prouver la présence de quantités considérables de phénol dans l'enveloppe de jute et pourquoi trouvons-nous de faibles corrosions alors que la gaine de plomb contient beaucoup de phénol et de fortes destructions tandis que le contenu du phénol dans le câble est minime?
4. Pourquoi la «corrosion par l'effet du phénol» s'attaque-t-elle de préférence aux câbles minces?

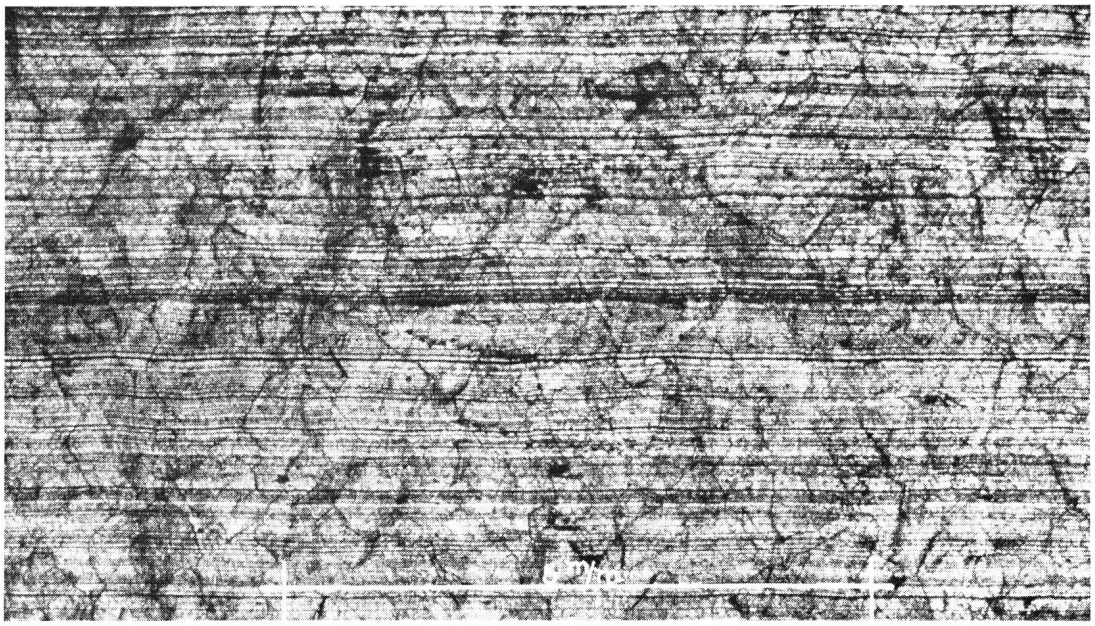

Fig. 1
Liniennetz auf der Innenseite eines von aussen korrodierten Bleimantels. Die Netzlinien sind die Grenzen der infolge Überdehnung auseinandergezogenen Bleikörner. (Die waagrecht verlaufenden Linien sind von der Bleipresse herrührende Ziehriefen.)

Réseau de lignes à la face intérieure d'une gaine de plomb corrodée de l'extérieur. Les lignes du réseau sont les limites des grains de plomb séparés les uns des autres par suite de déformation. (Les lignes horizontales sont des entailles provoquées par la presse à plomb.)

Kabel in ausgesprochen aggressivem Boden liegendes bleiernes Wasserleitungsrohr 60 Jahre unversehrt blieb und das Kabel 6 Jahre nach der Auslegung infolge Phenolkorrosion unbrauchbar wurde?

Auf alle diese Fragen gibt das Resultat einer eingehenden mikroskopischen Untersuchung der Bleimäntel die Antwort:

In allen von der «Phenolkorrosion» befallenen Kabelmänteln ist das Gefüge des Bleies gelockert, die Bleimäntel sind zerrissen!

Die Untersuchung lässt alle Stufen der Disglomeration erkennen, von der nur im Mikroskop erkennbaren, geringfügigen Verschiebung der Kristallite bis zu makroskopischen Rissen. Die erste Stufe ist gekennzeichnet durch ein Netz feiner Linien, was besonders gut an der Innenfläche der Bleimäntel sichtbar ist. Figur 1 zeigt dieses Liniennetz, Figur 2 die durch die «Phenolkorrosion» beschädigte Aussenfläche des Bleimantels.

Auf der zweiten Stufe sind die Kristallite senkrecht zur Mantelfläche gegeneinander verschoben, wie Figur 3 zeigt. Man erkennt deutlich höher und tiefer liegende Bleikörner.

Im Endstadium sind die in Figur 4 sichtbaren Risse entstanden, die, in einer freilich entschuldbaren Verkennung der Umstände, gewöhnlich als Ermüdungsbrüche bezeichnet werden. Es sind aber keine Ermüdungsbrüche, sondern durch *Überdehnung* entstandene Risse, wie die Untersuchung eindeutig zeigt. Sie kommen auch an Kabeln vor, die frisch aus der Fabrik geliefert wurden, also an Kabeln, die noch gar keine Gelegenheit hatten, zu ermüden, die aber beim Auf- und Abhaspeln gestreckt wurden.

Aus diesen Feststellungen ergibt sich die Erkenntnis:

Die bisher als «Phenolkorrosion» bezeichneten Kabelschäden sind nichts anderes als «Spaltkorrosionen».

5. Comment se fait-il que d'anciens câbles, posés par exemple avant 1918, ne présentent aucun signe de «corrosion par l'effet du phénol» malgré le *goudronnage* de leur enveloppe?
6. Pourquoi les câbles armés ne subissent-ils pas de dommages causés par la corrosion par l'effet du phénol?
7. D'où vient que seules les gaines des câbles sont sujettes à la corrosion dans une mesure accrue tandis que d'autres constructions en plomb sont, en revanche, beaucoup plus résistantes; que, par exemple, une conduite d'eau en plomb enfouie à côté d'un câble dans un sol particulièrement agressif est restée 60 ans sans subir aucun dommage et que le câble était inutilisable 6 ans après sa pose par suite de la corrosion par l'effet du phénol?

Le résultat d'un examen approfondi au microscope des gaines de plomb donne la réponse à toutes ces questions:

Dans toutes les gaines des câbles attaquées par la «corrosion par l'effet du phénol», la structure du plomb est desserrée, les gaines de plomb sont déchirées!

L'examen permet de reconnaître tous les degrés de la dislocation, depuis le simple déplacement des cristallites, uniquement reconnaissable au microscope, jusqu'aux fissures macroscopiques. Le premier degré est caractérisé par un réseau de lignes fines, ce qui est particulièrement bien visible sur la face interne des gaines de plomb. La figure 1 montre ce réseau de lignes, la figure 2 la surface extérieure de la gaine de plomb endommagée par la «corrosion par l'effet du phénol».

Au deuxième degré, les cristallites sont déplacées les unes contre les autres perpendiculairement à la surface de la gaine, comme le montre la figure 3. On

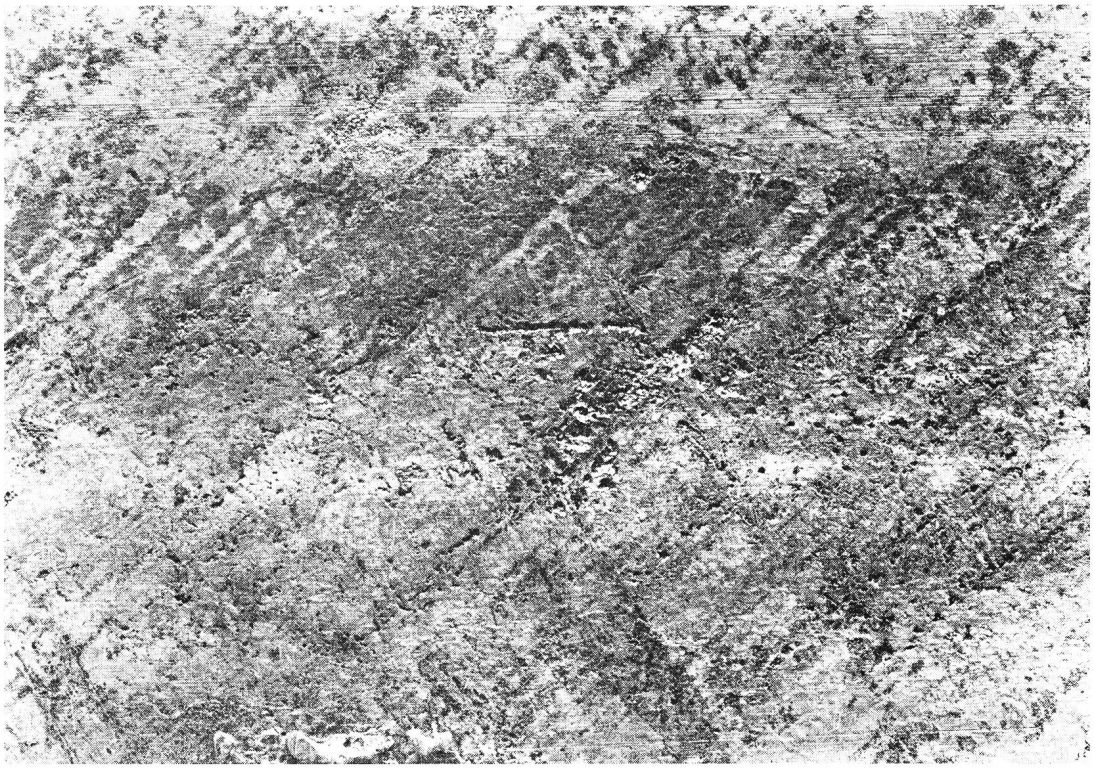

Fig. 2
Aussenfläche des Bleimantelstücks von Fig. 1. Zeilen von Freßstellen, Nadelstiche, von links unten nach rechts oben verlaufend: Jutegarnspiralen; von rechts unten nach links oben verlaufend: Ränder der Papierstreifen. (Die Gruppe von Narben in der Mitte des Bildes ist durch das Präparieren für die mikroskopische Untersuchung entstanden.)

Face extérieure du morceau de gaine de plomb de la figure 1. Traces d'endroits rongés, de trous d'aiguille; de gauche en bas à droite en haut: spires du fil de jute; de droite en bas à gauche en haut: arêtes des bandes de papier. (Le groupe de taches au centre de la figure provient de la préparation pour l'examen microscopique.)

Die korrosionserzeugende oder -fördernde Wirkung von Spalten ist bekannt [9, 10, 11, 12]. Sie wird allgemein gedeutet als Bildung eines *Evans*-Elementes an der Spalte (durch differentielle Belüftung). Nach *Werner* [11] ist aber noch eine andere Deutung möglich. Auf alle Fälle ist die Bildung einer Spalte die Ursache des örtlichen Angriffs. Die mikroskopische Untersuchung zeigt alle Stadien der Zersetzung. Im Rahmen der vorliegenden kurzen Mitteilung kann nicht auf die Einzelheiten eingegangen werden. Es sei dafür auf die frühere Darstellung [8] und auf die demnächst erscheinende Ergänzung hingewiesen.

III.

Eine Ursache der Rissbildung wurde bereits angedeutet. Das Blei ist offenbar so «disglomerationsbereit», dass die Kabelmäntel kein öfters wiederholtes Biegen oder gar ein Strecken ertragen.

Das Biegen und Strecken ist aber nicht die einzige Ursache der Rissbildung. Es wurde früher behauptet [13], die für die «Phenolkorrosion» charakteristischen, spiralförmig um den Bleimantel verlaufenden Fressstellen liegen unter den Zwischenräumen der Jutegarnwindungen, in den dort gebildeten «Kanälen». Das trifft nicht zu. In keinem Fall der vielen hier untersuchten Kabel lagen die Korrosionsfurchen unter den Zwischenräumen, sondern immer genau unter den Garnwindungen. Man könnte nun zur Erklärung die Dochtwirkung des Garnes heranziehen. Einer Dochtwirkung widerspricht aber der Umstand, dass zwischen Jute und Blei zwei oder – in neuerer Zeit – drei Lagen eines Papierbandes liegen, das mindestens so saugfähig ist wie das Jutegarn. Es müsste deshalb

reconnaît sans peine les grains de plomb se trouvant plus haut et plus bas.

Au stade final, les fissures visibles sur la figure 4 se sont produites et, dans une méconnaissance assurément excusable des circonstances, sont ordinairement appelées ruptures dues à la fatigue. En réalité, il ne s'agit pas de ruptures dues à la fatigue, mais de fissures provoquées par *surextension*, comme le montre clairement l'examen. Elles se produisent aussi sur des câbles que vient de livrer la fabrique, par conséquent des câbles qui n'ont pas encore eu la possibilité de se fatiguer, mais qui ont été étirés lors de l'enroulement et du déroulement.

Ces constatations permettent d'arriver à la notion suivante:

Les détériorations des câbles désignées jusqu'ici par «corrosion par l'effet du phénol» ne sont rien d'autre que des «corrosions dues aux fissures».

L'action des fissures produisant ou activant la corrosion est connue [9, 10, 11, 12]. Elle est généralement désignée comme formation d'un élément d'*Evans* sur la fissure (par aération différentielle). Mais, selon *Werner* [11], il est possible d'avoir une autre explication. En tout cas, la formation d'une fissure est l'origine de l'attaque locale. L'examen microscopique montre tous les stades de la décomposition. Mais, dans le cadre de cette brève communication, il ne nous est pas possible d'entrer dans les détails. Rappelons simplement l'article antérieur [8] et le complément qui paraîtra prochainement.

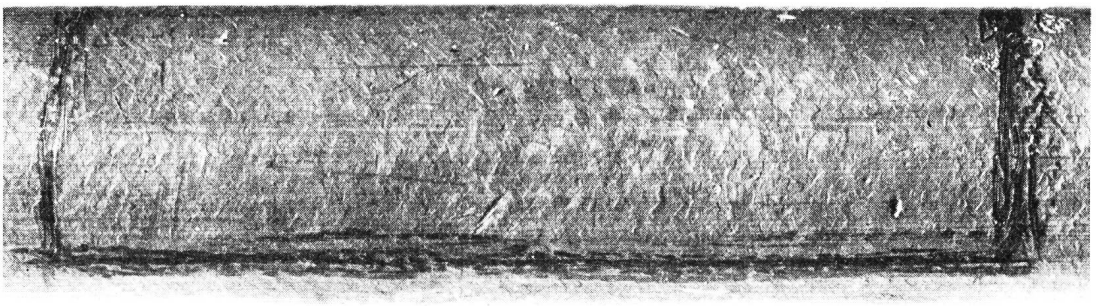

Fig. 3
Noch nicht korrodierte Aussenfläche eines Bleimantels, an dem infolge Überdrehung die Kristallite gegeneinander verschoben sind

Surface extérieure d'une gaine de plomb non encore corrodée: les cirstallites sont déplacées les unes contre les autres par suite de déformation

eine Streuwirkung eintreten, die aber nie wahrgenommen werden kann. Ferner befinden sich die meisten und schlimmsten Anfressungen unten und etwas seitlich am Kabel, manchmal in anderen entsprechenden Zonen, nämlich überall dort, wo das *Kabel gedrückt* wird.

Durch den Druck der Garnwindungen auf schmale Zonen des Bleimantels werden die Bleikristallite auseinander gesprengt.

Besonders «schön» ist die durch Druckwirkung erzeugte Disglomeration mit nachfolgender Korrosion zu beobachten, wo die Jutegarne in anderen geometrischen Anordnungen als den gewohnten Spiralen auf dem Kabel liegen, nämlich an Knoten und Kreuzungen, die anscheinend bei der Fabrikation nicht zu vermeiden sind. Die Figuren 5 und 6 geben Beispiele davon. Hier kann also keine Rede sein von Zwischenräumen zwischen den Jutegarnwindungen.

Der Druck wirkt durch die Papierlagen hindurch, ähnlich wie bei der Schreibmaschine die Type ihre Form durch verschiedene Papierlagen hindurchschlägt. So ist es auch zu verstehen, dass satt auf Rollen gewickelte Kabel schon nach länger dauernder Lagerung in der Fabrik «Phenolkorrosions»-Spiralen zeigen können [13].

Die Druckprobe an Telephonkabeln zeigt weder die in der Fabrikation noch die beim Auslegen entstandenen Risse an, da diese durch die Asphaltierung so solid verklebt werden, dass die Verklebung dem verhältnismässig geringen Druck ohne weiteres standhält. Vielleicht werden die Risse im Blei durch den Druck sogar noch erweitert.

III.

Nous avons déjà mentionné une des causes de la formation de fissures. Le plomb peut être si facilement «disloqué» que les gaines de plomb ne supportent pas d'être courbées à plusieurs reprises et jamais d'être étirées.

Mais le pliage et l'extension ne sont pas les seules causes de la formation de fissures. On a prétendu [13] que les points de corrosion, caractéristiques pour la «corrosion par l'effet du phénol», courant autour de la gaine de plomb en forme de spirales se trouvent sous les interstices des enroulements des fils de jute, dans des «canaux» qui s'y sont formés. Cela n'est pas exact. Dans aucun cas des nombreux câbles examinés ici, les traces de corrosion ne se trouvaient dans les interstices, mais toujours exactement sous les enroulements du fil. On pourrait admettre l'effet de mèche du fil pour trouver une explication. Mais le fait qu'entre le jute et le plomb se trouvent deux ou – actuellement – trois couches de ruban de papier pour le moins aussi absorbant que le fil de jute s'oppose à un effet de mèche. C'est pourquoi il faudrait qu'intervienne un effet de dispersion, mais qui ne peut jamais être observé. En outre, la plupart des corrosions et les plus dangereuses se trouvent en dessous et légèrement sur le côté du câble, parfois dans d'autres zones correspondantes, c'est-à-dire partout où le *câble est comprimé*.

La pression des spires de fil sur d'étroites zones de la gaine de plomb sépare les cristallites de plomb les unes des autres.

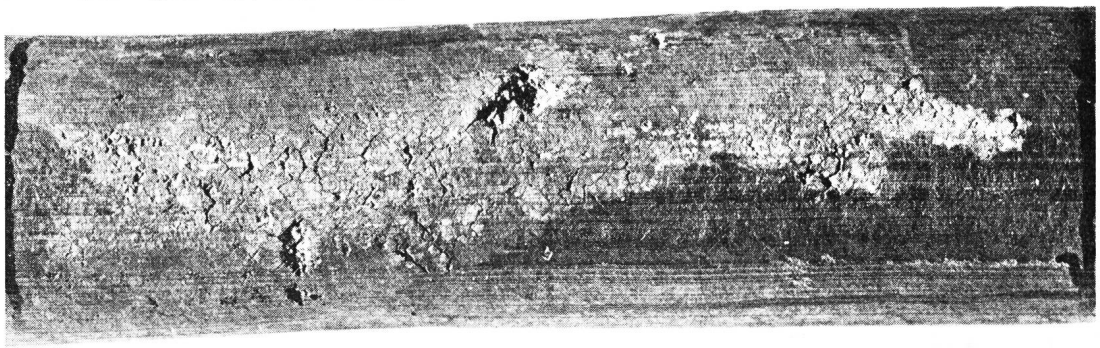

Fig. 4
Aussenfläche eines Bleimantels, an dem die Verschiebung der Kristallite so weit fortgeschritten ist, dass Makro-Risse entstanden sind, denen nun die Korrosion folgt. Aus den tieferen Grübchen sind bereits Kristallite herausgefallen

Surface extérieure d'une gaine de plomb sur laquelle le déplacement des cristallites est déjà si avancé que des déchirures macroscopiques, suivies de corrosion, se sont produites. Les cristallites ont déjà abandonné les excavations les plus profondes

Nach diesen Feststellungen sind die im Abschnitt II gestellten Fragen so zu beantworten:

1. Die Korrosion folgt den Spalten, die – grosso modo – senkrecht zur Kabelachse, quer durch die Wand des Bleimantels verlaufen.
2. Der Entstehung der Nadelstiche liegt, wie bei 1, die «Geometrie der Disglomeration» zugrunde.
3. Kabel mit viel oder wenig Phenol in der Jute fallen dann nicht der «Phenolkorrosion» anheim, wenn ihre Bleimäntel nicht zerrissen sind.
4. Die «Phenolkorrosion» befällt vorzugsweise dünne Kabel, weil diese leichter zerrissen werden können als dicke, mit stärkerem Bleimantel versehene.
5. Alte Kabel sind nicht mit Jutegarn umwickelt, sondern mit Band; die Keilwirkung der harten Jutegarne wurde dadurch vermieden. Vielleicht wurden diese Kabel auch schonender behandelt als heute, weil man damals noch Zeit hatte.
6. Armierte Kabel sind gegen das Zerreissen geschützt.
7. In dem angezogenen Fall wies das Bleirohr keine Disglomerationsspuren auf, wohl aber das dünne Kabel. Das Rohr wurde offenbar schonender behandelt als das Kabel und hatte zudem keine «Schutzhülle».

IV.

Die Kenntnis der Ursache von Fehlern gibt uns die Mittel zur Abhilfe in die Hand. In unserem Falle heisst das:

1. Sorgfältigere Behandlung. Jedes öfters wiederholte Biegen und alles Ziehen an Kabeln mit Reinbleimänteln ohne Bewehrung sollte vermieden werden.
2. Armieren. Es wäre zu untersuchen, ob das konsequente Armieren aller Kabel nicht billiger zu stehen käme als die vielen Reparaturen und die nachträglich im Terrain angebrachten «künstlichen» Schutzmassnahmen (kathodischer Schutz).
3. Als Generalvorbeugungsmittel dürfte aber eine Erhöhung des «Disglomerationswiderstandes» durch Verwendung *legierten Bleies* anzusprechen

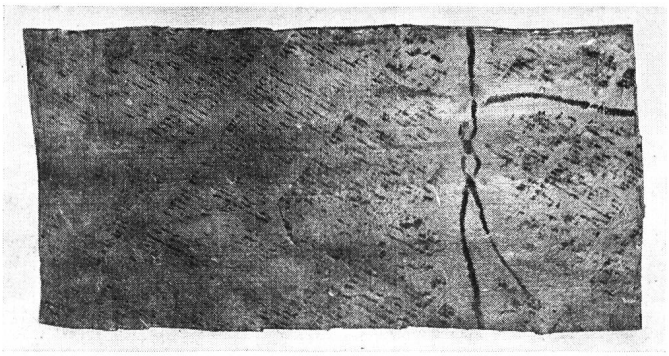

Fig. 6. Leichte Jutegarn-Korrosionsspiralen und stärker ausgeprägte Korrosionsfurchen, die von unter der Bewicklung kreuzweise um das Kabel geschlungenen Garnenden herrühren. Mittleres Bild von oben gesehen, Bilder links und rechts von unten im Spiegel photographiert
Légères spires de corrosion provoquée par le fil de jute et traces de corrosion marquées plus fortement, provenant des extrémités du fil entrelacées en forme de croix autour du câble sous le rubanage. Partie centrale de la figure vue d'en haut, parties droite et gauche de l'image photographiées par réflexion dans un miroir

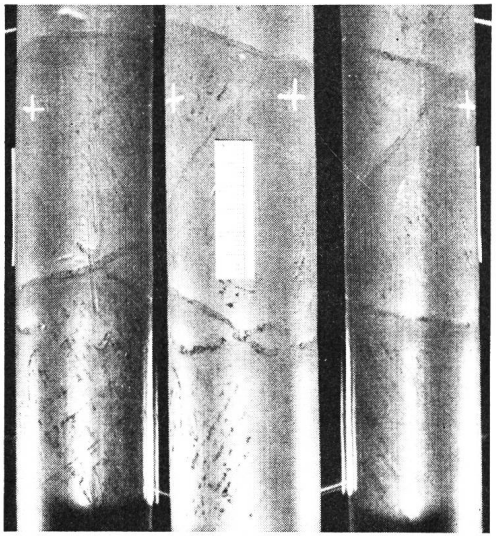

Fig. 5. Von rechts unten nach links oben verlaufend: Jutegarn-Korrosionsfurchen; von links unten nach rechts oben verlaufend: Papierbandränder. Quer über den Bleimantel: Stärkere Korrosionsfurche zweier unter der Bewicklung liegenden, lose verknoteten Jutegarnenden
De droite en bas à gauche en haut: Sillons de corrosion provoqués par le fil de jute; de gauche en bas à droite en haut: arêtes des bandes de papier. En travers de la gaine de plomb: trace plus importante de corrosion due à deux bouts de fil de jute noués sans précaution et placés sous le rubanage

Il est particulièrement intéressant d'observer la dislocation avec corrosion subséquente produite par l'effet de pression là où les fils de jute se trouvent dans d'autres dispositions géométriques que les spirales habituelles sur le câble, c'est-à-dire aux nœuds et aux croisements, qu'il n'est apparemment pas possible d'éviter lors de la fabrication. Les figures 5 et 6 en donnent des exemples. Il ne peut donc pas être question ici d'interstices entre les spires du fil de jute.

La pression s'exerce à travers les couches de papier de la même façon que les caractères de la machine à écrire impriment leur forme à travers différentes couches de papier. Il est donc facile à comprendre que des câbles enroulés soigneusement sur des tambours peuvent déjà, après un long entrepôt permanent en fabrique, montrer des spirales de «corrosion par l'effet du phénol» [13].

L'essai de pression sur les câbles téléphoniques n'indique ni les fissures qui se sont produites durant la fabrication, ni celles que la pose a engendrées, étant donné que l'asphaltage colle ces fissures si solidement que le collage résiste sans autre à la pression assez basse. Il est même probable que la pression agrandit encore les fissures dans le plomb.

Ces constatations permettent de répondre aux questions posées dans le chapitre II:

1. La corrosion suit les fissures qui – grosso modo – passent à travers la paroi de la gaine de plomb perpendiculairement à l'axe du câble.
2. La «géométrie de la dislocation» sert de base à la production des trous d'aiguille, comme sous 1.
3. Les câbles dont le jute contient beaucoup ou peu de phénol ne subissent pas la «corrosion par l'effet du phénol» lorsque leurs gaines de plomb ne sont pas déchirées.

sein. Nach der Theorie sollte Reinblei korrosionsbeständiger sein als legiertes Blei, weil im Reinblei sich die bösen Lokalelemente nicht bilden können. Die Forschung der jüngsten Zeit hat aber gezeigt [14], dass die Lokalelemente eine ganz untergeordnete Rolle spielen, indem nämlich andere Ursachen, hauptsächlich die im Sinne der Korrosionsgefährdung schlechte Oberflächenbeschaffenheit – in unserem Falle ist es die Rissbildung – viel eher zur Korrosion führen. In verschiedenen Veröffentlichungen wurde über die bessere Korrosionsbeständigkeit von Kabelmänteln aus legiertem Blei gegenüber den Reinbleimänteln berichtet. Der Grund hierfür wurde im chemischen Verhalten gesucht. Nach den vorliegenden Feststellungen ist es aber die durch die verbesserte Disglomerationsbeständigkeit erzielte Vermeidung der Spaltkorrosion. Die Verwendung legierten Bleies käme übrigens auch dem allgemeinen Wunsche nach grösserer Ermüdungsbeständigkeit entgegen.

4. Mechanischer Schutz und zugleich Korrosionsschutz durch eine nahtlos um den Bleimantel gepresste oder gespritzte Hülle aus einem geeigneten Kunststoff anstatt der bisherigen Papier- und Jutebewicklung. Man kann wohl ohne Übertreibung sagen, man habe mit der phenolhaltigen und Druckschäden erzeugenden Jutebewicklung in bezug auf den Korrosionsschutz jahrzehntelang den Bock zum Gärtner gemacht.

Ist es nun vermessen zu prophezeien, dass nach der Anwendung der skizzierten Massnahmen zur Vermeidung der Rissbildung die «Phenolkorrosion» verschwinden wird und dass mit der Ausmerzung der heute noch «phenolkranken» Kabel dieser Kabelschreck der Vergangenheit angehören wird? Der Autor ist davon überzeugt.

Bibliographie

[1] *Steinrath, Heinrich,* und *Heinrich Klas.* Bodenkorrosion von Rohren und Schutzmassnahmen gegen sie. Korrosion **4** (1935), 14.

[2] *Stooff, H.* Korrosionsschäden durch industrielle Abwässer und ihre Verhütung. Korrosion **5** (1936), 41.

[3] *Walter, H.* Auswahl und Anwendungsformen bituminöser Anstrichmittel. Korrosion **5** (1936), 83.

[4] *Hähnel, O.* Karbolineum korrodiert Bleikabel. Korrosion und Metallschutz **18** (1942), 297.

[5] *Rick, Anton W.* Haben sich bituminöse Schutz- und Dichtungsstoffe auf Beton bewährt? Bitumen **1** (1950), 257.

[6] *da Fano, E.* Die katalytische Wirkung des Phenols bei der Korrosion von Bleikabeln. Telegraphie und Fernsprechtechnik **21** (1932), 267.

[7] Einheitsverfahren der physikalischen und chemischen Wasseruntersuchung H 15. Berlin, 1940.

[8] *Sandmeier, F.* Wie erkennt man Art und Ursache der Schäden an Bleikabeln? Techn. Mitt." PTT **22** (1944), 187, 231 und **23** (1945), 203, 256. Sonderdruck.

Sandmeier, F. Comment reconnaît-on le genre et les causes des détériorations des câbles sous plomb? Bull. techn. PTT **22** (1944), 187, 231 et **23** (1945), 203, 256. Tirage à part.

[9] *Schulz, E. H.* Die Korrosion in ihren technischen Zusammenhängen. Korrosion **1** (1932), 6.

4. La «corrosion par l'effet du phénol» s'attaque de préférence aux câbles minces, parce qu'ils peuvent être plus facilement déchirés que les câbles épais munis d'une forte gaine de plomb.
5. Les anciens câbles ne sont pas enrobés de fil de jute, mais de ruban; l'effet de coincement des durs fils de jute a pu être ainsi évité. Il est fort probable également que ces câbles ont été traités avec plus de ménagement que ce n'est le cas actuellement, parce qu'on avait alors encore le temps.
6. Les câbles armés sont protégés contre les ruptures.
7. Dans l'exemple cité, la conduite de plomb ne présentait aucune trace de dislocation, mais bien le câble mince. La conduite avait été certainement traitée avec plus de ménagement que le câble et n'avait, en outre, aucune «enveloppe protectrice».

IV.

Le fait de connaître la cause des défauts nous procure les moyens de remédier à cet état de choses. Dans le cas qui nous intéresse, cela signifie:

1. Traitement plus soigneux des câbles. Il devrait être possible d'éviter de plier et de tirer plusieurs fois des câbles à gaines de plomb pur sans armure.
2. Armure. Il faudrait examiner si la pose d'une armure résistante sur tous les câbles ne reviendrait pas meilleur marché que les nombreuses réparations et les mesures de protection «artificielles» (protection cathodique) faites après coup dans le terrain.
3. Un moyen de prévention général consisterait à augmenter la «résistance de dislocation» par l'emploi d'un *alliage de plomb.* D'après la théorie, le plomb pur devrait mieux résister à la corrosion que l'alliage de plomb, les éléments locaux destructifs ne pouvant pas se former sur le plomb pur. Les recherches de ces dernières années ont montré [14] que les éléments locaux jouent un rôle tout à fait secondaire, alors que d'autres causes, principalement le mauvais état de la surface par rapport au danger de la corrosion – dans notre cas, c'est la formation de fissures – provoquent beaucoup plus vite la corrosion. Diverses publications ont déjà relaté que les gaines de câbles en alliage de plomb résistaient mieux à la corrosion que les gaines en plomb pur. On en a cherché le motif dans les propriétés chimiques. Mais, selon les présentes constatations, on réussit à éviter la corrosion par l'effet de fissures en améliorant la résistance à la dislocation. Du reste, l'emploi d'un alliage de plomb répondrait au désir commun d'obtenir une plus grande résistance à la fatigue.
4. Protection mécanique et en même temps protection contre la corrosion par une enveloppe sans soudure en matière synthétique appropriée pressée ou injectée autour de la gaine de plomb, au lieu de l'enrubannage actuel de papier ou de jute. On peut dire sans exagération que, durant des dizaines d'années, on a fait fausse route en ce qui concerne

[10] *Carius, C.* Über örtliche Korrosionen von Eisen und Stahl in verdünnten wässerigen Salzlösungen. Korrosion **5** (1936), 61.

[11] *Werner, M.* Zur Frage der Korrosion an Spalten. Die chemische Fabrik **13** (1940), 61.

[12] *Tammann, G.* und *H. Warrentrup.* Der Einfluss von Spalten und Rissen bei der Korrosion des Eisens. Z. f. anorg. und allgem. Chemie **229** (1936), 188.

[13] Pirelli S.A., Milano. CMI-Dokument Nr. 47-B-2.

[14] *Klas, H.* Korrosion an Rohrleitungen und deren Bekämpfung. Technische Mitteilungen Essen **46** (1953), 269.

la protection contre la corrosion avec l'enrubannage de jute contenant du phénol et provoquant des dommages dus à la pression.

Est-il téméraire de prédire que la «corrosion par l'effet du phénol» disparaîtra lorsque les mesures préconisées pour éviter la formation de fissures seront appliquées et que l'élimination des câbles souffrant encore actuellement de la «maladie du phénol» supprimera le spectre de la corrosion des câbles ? L'auteur ne le croit pas.

Bemerkung zum Problem der «Phenolkorrosion»

Von *H. Künzler*, Bern

Die Diskussion über die sogenannte «Phenolkorrosion» an Bleikabeln ist gegenwärtig in vollem Flusse. Im voranstehenden Artikel sieht *F. Sandmeier* die primäre Ursache dieser Korrosionserscheinungen in feinsten Rissen im Blei. Diese sollen bei der Fabrikation und Verlegung des Kabels auf rein mechanische Weise entstanden sein. Auch führe der geringe Druck, den die Jutewicklungen auf den Bleimantel ausüben, zu einer Disglomeration des Bleigefüges und demnach zu feinen Spaltbildungen, die für den Korrosionsangriff besonders prädestiniert seien.

Seit einiger Zeit konnte die Korrosionsforschung in der Sektion Materialprüfung der Forschungs- und Versuchsanstalt PTT intensiviert werden. Dabei drängte sich die Auffassung auf, die sogenannte «Phenolkorrosion» des Bleis sei eine Folge der Tätigkeit von Mikroorganismen in der Juteumhüllung. Bakterien und Pilze zersetzen die Jute, wobei Stoffe entstehen, die das Blei angreifen. *W. Hess* und *R. Dubuis* veröffentlichten darüber bereits eine erste Mitteilung im Heft 4, 1956, S. 172...179, dieser Zeitschrift. Weitere werden noch folgen.

Ausserdem laufen zahlreiche Versuche zur weiteren Abklärung der Phänomenologie der «Phenolkorrosion». Es ist bereits gelungen, ihre typischen Erscheinungsformen experimentell nachzubilden. Auch darüber wird in dieser Zeitschrift berichtet werden.

Welche der erwähnten Arbeitshypothesen der Wirklichkeit am nächsten kommt, wird die Zukunft zeigen.

Remarque concernant le problème de la «corrosion provoquée par le phénol»

Par *H. Künzler*, Berne

La discussion sur la prétendue «corrosion provoquée par le phénol» sur les câbles à armure de plomb est actuellement très animée. Dans l'article ci-dessus, *F. Sandmeier* attribue la cause primaire de ces phénomènes de corrosion à de très fines déchirures du plomb, qui se produisent de façon purement mécanique lors de la fabrication et de la pose du câble. Aussi la faible pression qu'exercent les enroulements de jute sur la gaine de plomb conduit-elle à une désagrégation de la structure du plomb et, par conséquent, à la formation de fines fissures qui sont particulièrement prédestinées aux attaques de la corrosion.

La section du contrôle du matériel du laboratoire de recherches et d'essais des PTT a pu, depuis quelque temps, intensifier ses recherches sur la corrosion. On a déjà émis l'avis que la prétendue «corrosion provoquée par le phénol» était la conséquence de l'activité de microorganismes dans l'enveloppe de jute. Des bactéries et des champignons détruisent le jute en donnant naissance à des substances qui attaquent le plomb. *W. Hess* et *R. Dubuis* ont publié à ce sujet une première communication dans le numéro 4, 1956, du Bulletin Technique PTT, pages 172 à 179. D'autres communications suivront.

En outre, de nombreux essais sont en cours pour déterminer la phénoménologie de la «corrosion provoquée par le phénol». On a déjà réussi à reconstituer expérimentalement ses caractéristiques les plus marquantes. Des rapports à ce sujet seront également publiés ici.

L'avenir nous dira quelles hypothèses se rapprochent le plus de la réalité.