

Zwanzig Jahre Kabelfehlerstatistik [Fortsetzung und Schluss] = Vingt ans de statistique des défauts de câbles [suite et fin]

Autor(en): **Gertsch, R. / Koelliker, H.**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **28 (1950)**

Heft 2

PDF erstellt am: **11.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-874354>

Nutzungsbedingungen

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

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

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

Haftungsausschluss

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

la rupture de la symétrie. L'abonné n'avait plus à se plaindre d'évanouissement mais d'un bruit inexplicable pour lui. Si ce phénomène pouvait se produire dans l'état d'achèvement provisoire du central, il devait disparaître par la suite, quand l'équipement du central fut achevé et qu'on eut supprimé complètement l'évanouissement.

Essais avec le mouillage par haute fréquence

Comme les essais en laboratoire l'ont prouvé, l'emploi du mouillage par haute fréquence pour combattre l'évanouissement donne des résultats aussi favorables que l'emploi du mouillage par impulsions. Cependant, il était à prévoir que ce système exigerait de plus grandes puissances, car un central téléphonique avec ses importantes capacités de multiple absorbe des puissances de haute fréquence considérables. Un essai fait à cet égard a montré que pour 21 kc/s il fallait employer une puissance de 20 VA et pour 10 kc/s une puissance de 10 VA si l'on voulait que la tension de mouillage ne tombe pas au-dessous des limites prescrites.

Quand un pôle de la source de courant de mouillage était connecté au sélecteur de groupe primaire et l'autre à la terre, il fallut même, pour 21 kc/s, utiliser une puissance de 51 VA. Ces chiffres se rapportant à un groupe de 2000 abonnés, il fallut, pour de plus grandes unités, utiliser une puissance augmentée en proportion, ce qui peut être considéré comme un désavantage sur le mouillage par impulsions, pour lequel de très faibles puissances suffisent. Des essais n'ont pas été faits jusqu'ici pour savoir si le mouillage par haute fréquence peut présenter éventuellement des inconvénients pour la téléphonie à courants porteurs et la télédiffusion haute fréquence.

Des résultats obtenus jusqu'à ce jour, on peut tirer les conclusions suivantes:

- a) Dans les systèmes de centraux automatiques suisses actuels, les contacts, lorsqu'on utilise des faibles tensions, c'est-à-dire des tensions de l'ordre des

courants téléphoniques, sont susceptibles de provoquer l'évanouissement. (Des essais n'ont pas encore été faits à ce sujet dans les centraux Hasler.)

- b) Les contacts avec mouillage par courant continu sont moins susceptibles de provoquer de l'évanouissement mais en revanche de plus forts bruits perturbateurs que les contacts sans mouillage.
- c) Les contacts avec mouillage par impulsions excluent l'évanouissement sans renforcer en même temps les bruits perturbateurs.
- d) Cette dernière constatation s'applique également aux contacts avec mouillage par haute fréquence.
- e) Le mouillage par haute fréquence est plus onéreux que le mouillage par impulsions.
- f) Les effets du mouillage par haute fréquence sur la téléphonie à courants porteurs et la télédiffusion haute fréquence, n'ont pas encore fait l'objet de recherches. Celles-ci se feront dès qu'on aura à disposition des émetteurs haute fréquence de puissance suffisante.

Conclusions

Ce qui précède montre qu'on fait de gros efforts pour libérer les systèmes d'automates actuels des bruits et de l'évanouissement. Comme il s'agit cependant d'un problème complexe, on ne peut guère s'attendre à découvrir une panacée résolvant d'un coup toutes les questions, en particulier celle de la suppression des bruits de centraux. A ce qu'on dit, le système crossbar utilisé en Amérique donne à ce point de vue entière satisfaction. Il est possible que l'emploi de nouveaux matériaux de contact donne aussi à l'avenir de meilleurs résultats. Toutefois, nous ne devons pas oublier que nous avons affaire à des installations existantes qui, en Suisse, ont presque atteint leur entier développement et qui représentent une valeur de plusieurs centaines de millions de francs. Adapter ces installations aux exigences de la technique téléphonique la plus moderne est le grand but vers lequel tendent tous nos efforts.

Zwanzig Jahre Kabelfehlerstatistik

Von R. Gertsch und H. Kölliker, Bern
(Fortsetzung und Schluss)

31:621.315.2.004.6

IV. Bleimanteldefekte, verursacht durch Korrosion

Die stete Zunahme der Zahl der Korrosionsfehler im schweizerischen Telephonkabelnetz hat dazu geführt, der Korrosionsbekämpfung vermehrte Aufmerksamkeit zu schenken. Bevor man jedoch wirksam an die Bekämpfung herantreten kann, muss Klarheit über die Art und Ursache der Schäden herrschen.

Die Forschungs- und Versuchsanstalt der Generaldirektion PTT hat in dieser Hinsicht in den letzten

Vingt ans de statistique des défauts de câbles

Par R. Gertsch et H. Koelliker, Berne
(Suite et fin)

31:621.315.2.004.6

IV. Endommagement des gaines de plomb par la corrosion

L'augmentation constante du nombre des défauts dus à la corrosion et qui affectent le réseau des câbles téléphoniques suisses nous oblige de vouer une attention soutenue à la lutte contre la corrosion. Mais avant de l'entreprendre, il importe que l'on soit parfaitement au clair sur le genre et les causes des dommages.

A cet égard, notre Laboratoire de recherches et d'essais a fourni, ces dernières années, un travail de

Jahren sehr weitgehende Arbeit geleistet und die Ergebnisse ihrer Untersuchungen an dieser Stelle veröffentlicht⁷⁾. Gestützt hierauf unterscheiden wir drei Korrosionsarten, nämlich

1. chemische Korrosion,
2. elektrolytische Korrosion und
3. Ermüdungsbrüche.

Diese Korrosionsarten werden weiter unterteilt, wie dies in Fig. 16 schematisch dargestellt wird.

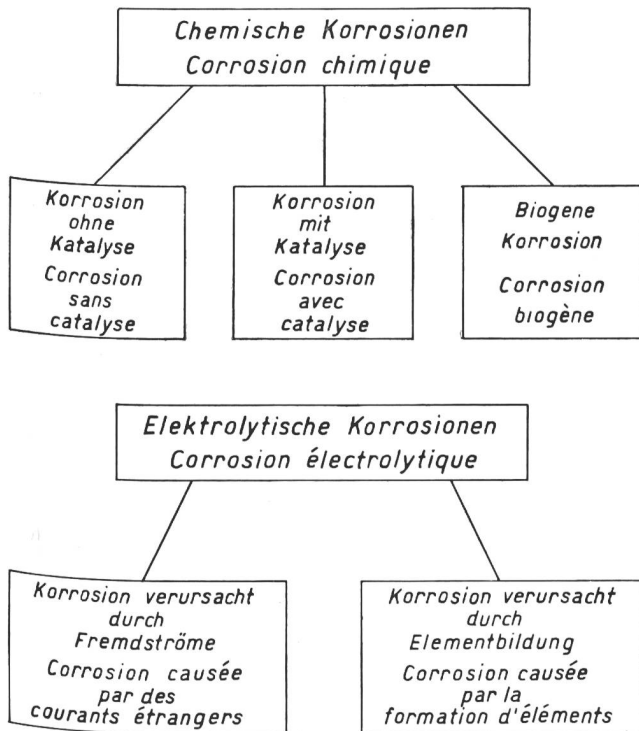


Fig. 16. Schematische Darstellung der verschiedenen Korrosionsarten
Schéma des différents genres de corrosion

Die Namengebung ist eine Frage der Vereinbarung. In Wirklichkeit ist jede Korrosion an im Erdboden verlegten Kabeln ein elektrochemischer Vorgang unter Bildung von Lokalelementen. Unserer Beurteilung haben wir die folgenden Definitionen zugrunde gelegt.

A. Eine *elektrolytische Korrosion* entsteht unter der Einwirkung von Fremdströmen, gleichgültig ob diese von fremden Anlagen, zum Beispiel von Bahnen oder von galvanischen Elementen herrühren, die sich zwischen dem Kabelmantel und anderen im als Elektrolyt wirkenden feuchten Boden befindlichen Metallteilen bilden.

In diesen Fällen ist der elektrische Strom die Ursache der chemischen Zersetzung. Diese vollzieht sich nach den allgemeinen Gesetzen der Elektrolyse. Demzufolge wird das Blei zersetzt, wenn es in einem elektrolytischen Stromkreise Anode ist, also an der Austrittsstelle des Stromes. Die wichtigsten untrüglichen Merkmale sind:

große Envergnure dont le résultat a fait l'objet d'une publication dans le Bulletin technique⁷⁾.

En nous référant à ces publications, nous mentionnerons 3 genres de corrosion, soit:

- 1° la corrosion chimique,
- 2° la corrosion électrolytique et
- 3° les ruptures dues à la fatigue.

Les genres de corrosion sous 1° et 2° sont subdivisés selon le schéma représenté à la fig. 16.

Cette dénomination est affaire d'entente. En réalité, chaque corrosion affectant des câbles posés dans le sol résulte d'une réaction électro-chimique due à la formation d'éléments locaux.

Pour nos considérations, nous avons adopté les définitions suivantes:

A. La *corrosion électrolytique* se produit sous l'effet de courants étrangers — peu importe que ces courants proviennent d'autres installations, par exemple de chemins de fer — ou d'éléments galvaniques constitués par la gaine du câble et d'autres parties métalliques contenues dans le sol humide, celui-ci ayant fonction d'électrolyte.

Dans ces cas, le courant électrique est la cause de la décomposition chimique qui s'accomplit selon les lois de l'électrolyse. Ainsi, le plomb se décompose lorsqu'il est anode dans un circuit électrolytique, donc aux points de sortie du courant.

Ce genre de corrosion accuse les caractéristiques les plus importantes suivantes:

1° Cratères à arêtes vives quelque peu surplombantes. Ordinairement, les cratères sont dispersés sur la superficie, mais souvent ils sont aussi réunis en rosaces.

2° Présence de peroxyde de plomb, PbO_2 , de couleur brune, ou éventuellement de chlorure de plomb de couleur blanche ou de carbonate de plomb comme produit de la corrosion.

Les figures 17 et 18 sont des exemples typiques de la corrosion électrolytique.

B. Nous appelons *corrosion chimique* celle où la détérioration d'un corps métallique provient d'éléments locaux qui se forment sur une partie relativement grande de sa surface et celle qui se produit par l'effet de gaz.

Dans ces cas, c'est la décomposition chimique qui engendre le courant électrique.

Les signes extérieurs sont des surfaces attaquées irrégulièrement et qui accusent des dépressions plates et des bords émoussés.

Parfois, la gaine de plomb disparaît complètement, et dans d'autres cas, on ne constate que de petits trous traversant la gaine de part en part.

Les deux figures 19 et 20 qui suivent montrent deux cas de corrosion chimique caractéristiques.

⁷⁾ Vgl. Techn. Mitt. PTT 1944, Nr. 5 und 6, sowie 1945, Nr. 5 und 6.

⁷⁾ Voir Bull. techn. PTT 1944, Nos 5 et 6, et 1945, Nos 5 et 6.

1. Kraterförmiger Lochfrass, mit sehr scharfen, etwas unterhöhlten Rändern. Die Krater sind meistens auf der Oberfläche verteilt, oft aber auch zu ganzen Rosetten eng aneinandergeschlossen.

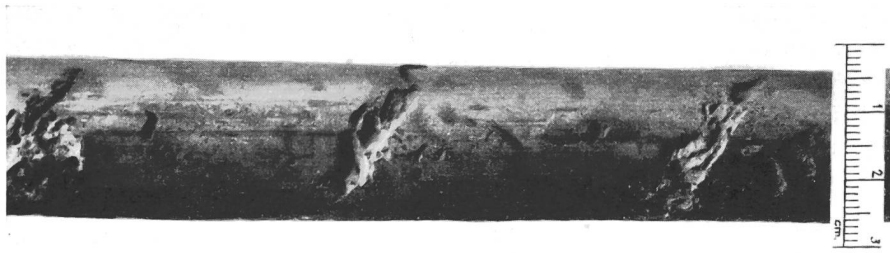


Fig. 17. Elektrolytische Korrosion, vermutlich durch grosse Ströme
Corrosion électrolytique due probablement à de forts courants



Fig. 18. Elektrolytische Korrosion, vermutlich durch kleine Ströme
Corrosion électrolytique due probablement à de faibles courants

2. Das Vorhandensein von braunem Bleisuperoxyd (PbO_2) oder weissem Bleichlorid oder Bleicarbonat als Korrosionsprodukte.

Die Figuren 17 und 18 zeigen die typischen Anfrassungen elektrolytischer Korrosion.

B. Als *chemische Korrosion* bezeichnen wir jene, bei der sich die Zerstörung eines Metalles durch die Einwirkung von Lokalelementen, die sich auf dessen Oberfläche in einem grösseren Bereiche bilden können, vollzieht, oder wo der Angriff durch Gase erfolgt. In diesen Fällen ist die chemische Zersetzung die Ursache des elektrischen Stromes.

Die äusseren Merkmale der chemischen Korrosion sind unregelmässige, flächenhafte Angriffe mit flachen Mulden und unscharfen Rändern, oft wird der Bleimantel vollständig zersetzt, häufig sind nur kleine Durchbrüche feststellbar.

Die Figuren 19 und 20 zeigen zwei charakteristische chemische Korrosionen an Bleikabeln.

C. Die *Ermüdungsbrüche* sind genau genommen keine Korrosionen, sondern eher mechanische Beschädigungen. Diese entstehen an den Einspannstellen des Bleimantels durch mechanische Erschütterungen oder Schwingungen der Kabel oder als Folge der

fait d'ébranlements répétés, de mouvements oscillatoires des câbles ou de dilatations et de rétrécissements successifs de la gaine sous l'effet de changements de température.

Nous voulons tout de même tenir compte de ces cas, parce qu'ils étaient désignés autrefois sous le terme de «corrosion intercrystalline». Mais l'attaque intercrystalline ne peut être considérée comme corrosion, car au fond chaque corrosion commence par un phénomène intercrystallin à la surface des grains.

C'est pourquoi nous désignons ce genre de détérioration de gaines par le terme de *ruptures dues à la fatigue*.

1. Corrosion chimique

En ce qui concerne la *corrosion chimique*, nous avons procédé à sa classification suivant les causes de l'attaque.

a) *Corrosion due à la constitution du sol*. Dans ce genre de corrosion, la constitution du sol joue un rôle essentiel. Elle est caractérisée par la teneur en chlorures, sulfates et carbonates solubles des alcalis et des terres alcalines.

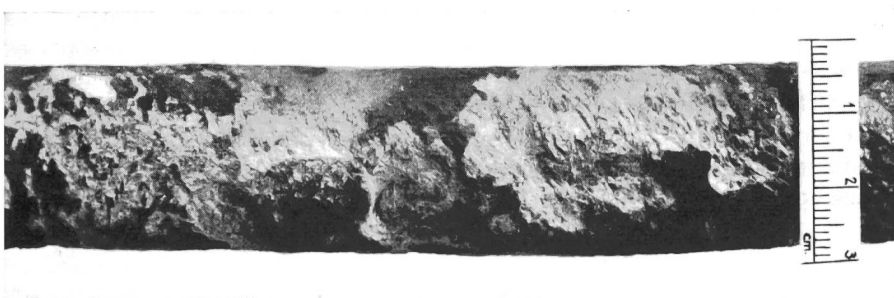


Fig. 19. Chemische Korrosion, verursacht durch Jauche
Corrosion chimique par du purin

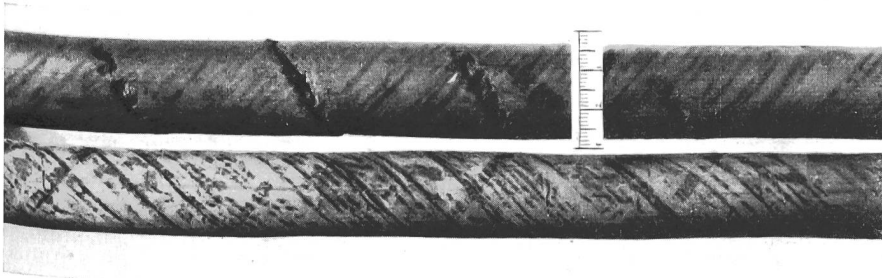


Fig. 20. Chemische Korrosion unter Einwirkung von Phenol
Corrosion chimique due à l'action du phénol

wechselnden Dehnung und Schrumpfung des Mantels unter dem Einfluss von Wärme und Kälte.

Wir wollen die Ermüdungsbrüche gleichwohl an dieser Stelle erwähnen, denn diese sind früher als *interkristalline Korrosion* bezeichnet worden. Der interkristalline Angriff kann aber nicht als Korrosionsart betrachtet werden, denn im Grunde genommen beginnt jede Korrosion interkristallin, das heisst an den Korngrenzen. Wir bezeichnen deshalb Mantelzerstörungen dieser Art als Ermüdungsbrüche (Fig. 21).

1. Chemische Korrosion

Die chemischen Korrosionen haben wir, entsprechend den Ursachen der Angriffe, unterteilt in

a) *Bodenkorrosion*. Bei der Bodenkorrosion spielt, wie schon die Bezeichnung sagt, die Beschaffenheit des Bodens eine wesentliche Rolle. Ausschlaggebend dafür ist der Gehalt an löslichen Chloriden, Sulfaten und Karbonaten, der Alkalien und Erdalkalien. Als korrosiv gelten besonders:

- kalkhaltige Böden,
- Lehmböden,
- Humusböden und
- Moorböden.

Das Bodenwasser löst infolge seines Gehaltes an gelösten Salzen, an Säuren oder organischen Zersetzungsstoffen die dünne Oxydschicht des Bleies auf. Es bildet sich Bleihydroxyd, -karbonat, -chlorid oder -sulfat. Das Oxyd bildet sich von neuem, und der Prozess geht unaufhaltsam weiter.

b) *Korrosion durch bodenfremde Stoffe*. Unter bodenfremden Stoffen verstehen wir chemisch angreifende Agenzien, die nicht einfach als wässrige Lösungen der in einem Naturboden enthaltenen Salze und Säuren anzusprechen sind, wie zum Beispiel

- Abwässer aus Mostereien, Käsereien, Brennereien, Färbereien usw.;
- Jauche, tierische und menschliche Exkremente;
- Kunstdünger;
- Kanalisations- und Schmutzwässer;
- Koks, Asche, Schlacke.

c) *Korrosion durch Baumaterialien*. Hier ist vor allem Zement zu fürchten, weil dieser beim Zutritt von Wasser Kalk abgibt. Von den Hölzern ist wegen des Gehalts an Gerbsäure das Eichenholz als korrosiv zu betrachten.

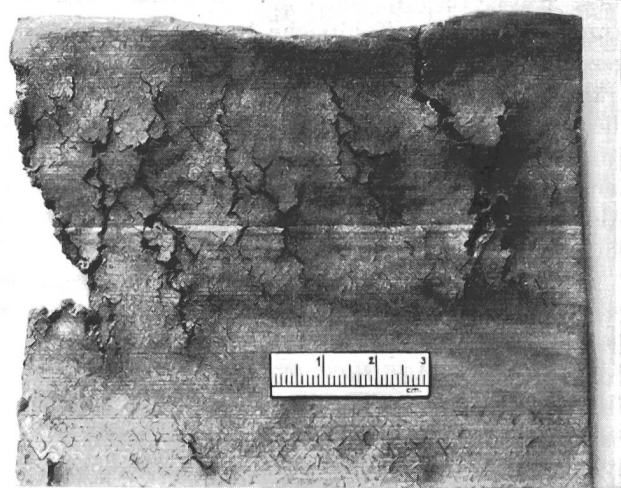


Fig. 21. Ermüdungsbruch
Rupture due à la fatigue

Sont notamment considérés comme corrosifs:

- le sol calcaire,
- le sol argileux,
- la terre végétale,
- le sol marécageux.

Par sa teneur en sels dissous, en acides ou en substances organiques favorisant la décomposition, l'eau du sol décompose la mince couche d'oxyde de plomb. Il se forme de l'hydroxyde, du carbonate, du chlorure ou du sulfate de plomb. L'oxyde se forme à nouveau, et le processus se renouvelle.

b) *Corrosion par des substances étrangères au sol*. Par le terme de «substances étrangères au sol», on comprend des agents à action chimique qui ne sont pas simplement les solutions aqueuses de sels et d'acides contenus dans des sols naturels, comme par exemple:

- les eaux d'écoulement de cidreries, de fromageries, de distilleries, de teintureries, etc.,
- le purin, les excréments d'animaux et de gens,
- les engrais chimiques,
- les eaux d'égouts,
- le coke, les cendres, les scories.

c) *Corrosion par des matériaux de construction*. Il faut redouter ici avant tout le ciment qui rend de la chaux au contact de l'eau. En ce qui concerne le bois, on doit considérer comme corrosif le bois de chêne à cause de sa teneur en acide tannique.

d) *Korrosion unter dem Einfluss von Beschleunigern (Phenol)*. Viele chemische Vorgänge, die von Natur aus langsam verlaufen, können durch das Vorhandensein von sogenannten Katalysatoren beschleunigt werden. Katalysatoren bilden mit Substanzen, die normalerweise träge aufeinander reagieren, Zwischenprodukte, die dann schnell wieder in andere Produkte und in den Katalysator selbst zerfallen. Dieser bildet sich also immer wieder neu. Er wird nicht verbraucht. Es genügen somit kleinste Mengen eines Katalysators, um umfangreiche Zerstörungen hervorzurufen. Unter diese Kategorie fällt nach unserer Ansicht die Wirkung der Phenole. Zahlreiche Beobachtungen haben gezeigt, dass Kabel, deren Umhüllung mit Teer getränkt war, oft in verhältnismässig kurzer Zeit korrodierten. Für diese Wirkung erachten wir die in den Imprägnierungsmitteln der Juteumhüllung enthaltenen Teersäuren, die Phenole, als verantwortlich. Als überzeugendes Beispiel für diese Annahme diene folgender Fall:

In einem lehmigen Boden war ein in Zoresen verlegtes Kabel schon nach 6 Jahren korrodiert. Die chemische Untersuchung ergab die Anwesenheit von Phenol in der Jute. Zufälligerweise wurde im Graben unmittelbar neben dem Kabel ein Stück nacktes Bleirohr einer ungefähr 60 Jahre alten Wasserleitung gefunden. Dieses nackte Bleirohr hatte, im Gegensatz zum Kabel, nur ganz geringe Spuren von Korrosion. Daraus schliessen wir, dass der Boden an und für sich schwach korrosiv war, dass aber die rasche Zerstörung des Kabels durch die Einwirkung von Phenol gefördert wurde. Anfressungen dieser Art sind spiralförmig, entsprechend dem Drall der Juteschnüre, an der Oberfläche des Bleimantels angeordnet und führen oft in eng aneinanderliegenden, nadelstichfeinen Löchern zum Durchbruch. Der Angriff schreitet nicht gradlinig fort. Es entstehen gekrümmte und verzweigte Gänge oder ganze Kavernen, ähnlich dem Wurmfrass im Holz. Häufig zeigen sich die Phenolfressstellen als kleine offene, aber tiefe Gruben, mit unregelmässig gezacktem Umriss, oder als Nest oder tiefe, lange Furche, die sich aus mehreren Einzelgruben zusammensetzt. Der Angriff ist in der Regel interkristallin. Die einzelnen Kristallite sind fast unversehrt, aber aus ihrem Verband abgelöst, so dass sie mit einer Nadel herausgehoben werden können. Korrosionen dieser Art nennen wir in Zukunft *Phenolkorrosionen*.

e) *Biogene Korrosion* nennt man durch Bakterien verursachte Angriffe. Alle diese Fälle sind bisher noch unter den chemischen Korrosionen ohne Katalyse eingereiht, weil die Forschung darüber noch im Anfangsstadium steht.

2. Elektrolytische Korrosionen

Wenn eine Kabelkorrosion auf Grund der mikroskopischen und chemischen Untersuchungen als Elektrolyse erkannt wurde, so wird an Ort und Stelle durch elektrische Messungen die Ursache dieser Elek-

d) *Corrosion sous l'effet de catalyseurs (phénols)*. De nombreuses réactions chimiques qui, de par leur nature, se produisent lentement, peuvent être accélérées par l'emploi de catalyseurs. Ajoutés à des substances qui, normalement, réagissent entre elles avec une certaine lenteur, les catalyseurs forment des produits intermédiaires qui se décomposent rapidement en d'autres produits et le catalyseur même. Celui-ci se reforme donc constamment, il ne s'épuise pas. De très petites quantités d'un catalyseur suffisent à activer d'importantes détériorations. A notre avis, l'effet du phénol rentre dans cette catégorie. De nombreuses observations ont prouvé que des câbles dont l'enveloppe était imprégnée de goudron étaient souvent attaqués par la corrosion dans un temps relativement court. Nous considérons que ce sont les acides bitumeux contenus dans les solutions d'imprégnation de l'enveloppe de jute, soit les phénols, qui en sont responsables. L'exemple qui suit prouve le bien-fondé de notre assertion.

En un sol argileux, un câble placé dans un caniveau zorès subit les effets de la corrosion déjà six ans après sa pose. L'examen chimique montra que le jute contenait du phénol. Tout par hasard, on découvrit dans les fouilles, à proximité du câble, un tuyau en plomb nu provenant d'une conduite d'eau âgée d'environ 60 ans. Contrairement à ce qui s'était produit pour le câble, ce tuyau de plomb n'accusait que de très faibles traces de corrosion. Nous en déduisons que le sol en lui-même était très peu corrosif, et que la détérioration rapide du câble fut accélérée par les effets du phénol. Une corrosion de ce genre a l'aspect de spirales correspondant à celles de la torsade des fils du jute sur le pourtour de la gaine de plomb. Souvent il en résulte des trous semblables à ceux faits par une aiguille, assemblés près les uns des autres et traversant la gaine de part en part. L'attaque ne progresse pas en ligne droite, mais sous forme de couloirs sinués et ramifiés ou de cavernes comme celles du bois rongé par les larves. Fréquemment, les places attaquées par le phénol ont l'aspect de petits creux ouverts, mais profonds, aux contours irrégulièrement dentelés, ou bien elles ressemblent à des nids ou à de longs sillons formés de plusieurs creux. Ordinairement, il s'agit de corrosion interkristalline. Les cristallites sont presque intacts, mais désagrégés, de sorte qu'on peut les enlever avec une aiguille. Nous appellerons dans la suite ce genre de corrosion «corrosion due au phénol».

e) *La corrosion biogène* est causée par des microbes. Tous les cas de ce genre sont encore classés sous la corrosion chimique sans catalyse, les recherches à leur sujet n'étant qu'à leurs débuts.

2. Corrosion électrolytique

Lorsque, sur la base d'examen microscopiques et chimiques, on reconnaît que la corrosion d'un câble est due à l'électrolyse, on cherche à en découvrir la cause en procédant à des mesures électriques sur les

trolyse abzuklären versucht. Gestützt auf die dabei erhaltenen Resultate unterscheiden wir

- a) *Fremdstromelektrolysen*, und
- b) *Elektrolysen infolge von Elementbildungen*.

Bei den ersteren sind vagabundierende Ströme benachbarter Starkstromanlagen die Ursache der Elektrolyse, während es sich bei den letzteren um galvanische Ströme aus den am Kabel gebildeten Lokalelementen handelt.

3. Auswertung der Korrosionsstatistik

Bevor wir an die Auswertung der Korrosionsstatistik treten, soll der normale äussere Aufbau der Kabel beschrieben werden.

Über die Baumwollumwicklung des Adernbündels wird ein fest anliegender nahtloser, luftdicht schliessender Bleimantel gepresst. Der Bleimantel besteht in der Regel aus reinem Blei. Einzig für Kabel, die Erschütterungen ausgesetzt sind, wird das Blei mit 2% Zinn legiert.

Die Wandstärke des Bleimantels wird je nach dem Durchmesser des Kabels abgestuft. Bis zu ungefähr 30 mm äusserem Durchmesser beträgt sie 2 mm, bei 30...40 mm Durchmesser 2,5 mm, bei 40...60 mm Durchmesser 3,0 mm und bei Kabeldurchmessern über 60 mm 3,5 mm.

Der Bleimantel wird warm asphaltiert und hierauf mit 2...3 fest anliegenden Umwicklungen aus imprägniertem Papierband versehen. Darüber folgt eine lückenlos deckende, 2 mm starke Umwicklung aus asphaltierter Jute.

Bei Kabeln, die in Rohrkanalisationen eingelegt werden, folgt nun über die Juteumwicklung eine Armatur aus dicht aneinanderschliessenden, glatten, feuerverzinkten Flacheisendrähten.

Kabel, die ohne mechanischen Schutz im Boden verlegt werden, erhalten über der Jute eine Armatur aus zwei warm asphaltierten Stahlbändern von 0,5...1 mm Dicke. Darüber folgt eine zweite Juteumwicklung.

Die Ausscheidung der Korrosionsfälle nach den vorstehend erwähnten Korrosionsarten erfolgt nach eingehender Prüfung der Art und Form der Anfresungen, der chemischen Untersuchung der Korrosionsprodukte und dem Phenolnachweis im Imprägnierungsmittel der Bleimantelumhüllungen, Papier und Jute. Wir haben deshalb angeordnet, dass uns von jedem auf Korrosion zurückzuführenden Kabelfehler ein Kabelabschnitt zur Untersuchung eingesandt wird, sofern ein Stück Kabel ausgewechselt werden muss. Im Laufe der letzten Jahre sind uns daraufhin einige hundert solcher Muster zugestellt worden, die von unserer Forschungs- und Versuchsanstalt eingehend untersucht wurden.

In den zwanzig Jahren 1926...1946 sind im schweizerischen Telephonkabelnetz insgesamt 802 Korrosionsschäden aufgetreten. Davon konnten 36 Fälle nicht ausgewertet werden, weil die Angaben der

lieux mêmes. Suivant les résultats obtenus, on distingue

- a) *l'électrolyse par des courants étrangers*,
- b) *l'électrolyse par la formation d'éléments*.

Dans le premier genre d'électrolyse, des courants vagabonds d'installations à fort courant voisines en sont la cause, tandis qu'il s'agit, dans le second genre, de courants galvaniques d'éléments locaux dont le plomb du câble forme l'une des électrodes.

3. Statistique sur la corrosion

Avant de nous étendre sur le profit que l'on peut tirer de la statistique sur la corrosion, nous décrirons ci-après la constitution extérieure des câbles.

Le faisceau des conducteurs, enveloppé d'une bande de coton, est enserré dans une gaine de plomb sans couture et hermétique. En règle générale, la gaine de plomb est constituée de plomb pur. Uniquement pour les câbles exposés aux secousses et à de grands efforts de traction, le plomb est allié de 2% d'étain.

L'épaisseur de la gaine de plomb est adaptée au diamètre des câbles. Jusqu'à un diamètre extérieur de 30 mm, elle est de 2 mm, pour un diamètre de 30 à 40 mm de 2,5 mm, pour un diamètre de 40 à 60 mm de 3,0 mm et pour des diamètres plus gros de 3,5 mm.

La gaine de plomb est asphaltée à chaud, enveloppée ensuite de 2 à 3 enroulements compacts de rubans de papier imprégné, puis d'une couche de jute asphalté de 2 mm d'épaisseur.

Les câbles qui seront tirés dans des canalisations en tuyaux sont encore recouverts d'une armure de fils de fer méplats lisses zingués au feu, bien serrés les uns contre les autres.

Les câbles qui doivent être posés dans le sol sans protection mécanique reçoivent sur la couche de jute une double armure de fers feuillard asphaltés à chaud, d'une épaisseur de 0,5 à 1 mm. Cette armure est recouverte d'une deuxième couche de jute.

La distinction des cas de corrosion selon les genres indiqués ci-haut a lieu après un examen consciencieux du genre de la corrosion et de son aspect, l'analyse chimique des produits de la corrosion et la constatation de phénol dans la matière employée pour l'imprégnation des enveloppes de papier et de jute de la gaine de plomb. C'est pourquoi nous demandons qu'on nous remette, pour chaque défaut de câble survenu du fait de la corrosion, un échantillon du câble en cause, lorsqu'une partie de ce câble doit être remplacée. Dans le courant des dernières années, quelques centaines d'échantillons de ce genre nous ont été remis, et notre Laboratoire de recherches et d'essais les a soumis à un examen minutieux.

Dans les 20 années de 1926 à 1946, 802 dommages dus à la corrosion se sont produits dans le réseau téléphonique suisse. 36 cas n'ont pas pu être analysés parce que les indications de nos offices accusaient des lacunes. Dans 40 cas, l'analyse donna des résultats incertains.

Amtsstellen nur lückenhaft vorlagen. In 40 Fällen war die Diagnose unsicher.

Im Jahre 1926 verzeichneten wir 6 Korrosionsfehler, im Jahre 1936 deren 13 und im Jahre 1946 waren es bereits 115. Die Summe der Korrosionsschäden stieg von 6 auf 116 im Jahre 1936 und Ende 1946 auf 802. Genaueren Aufschluss gibt das Kurvenblatt Fig. 22, wo ausser der Gesamtzahl der Korrosionsschäden auch die ausgelegte Kabellänge, die Trasselänge und die Höhe der Reparaturkosten als Funktion der Zeit aufgetragen sind.

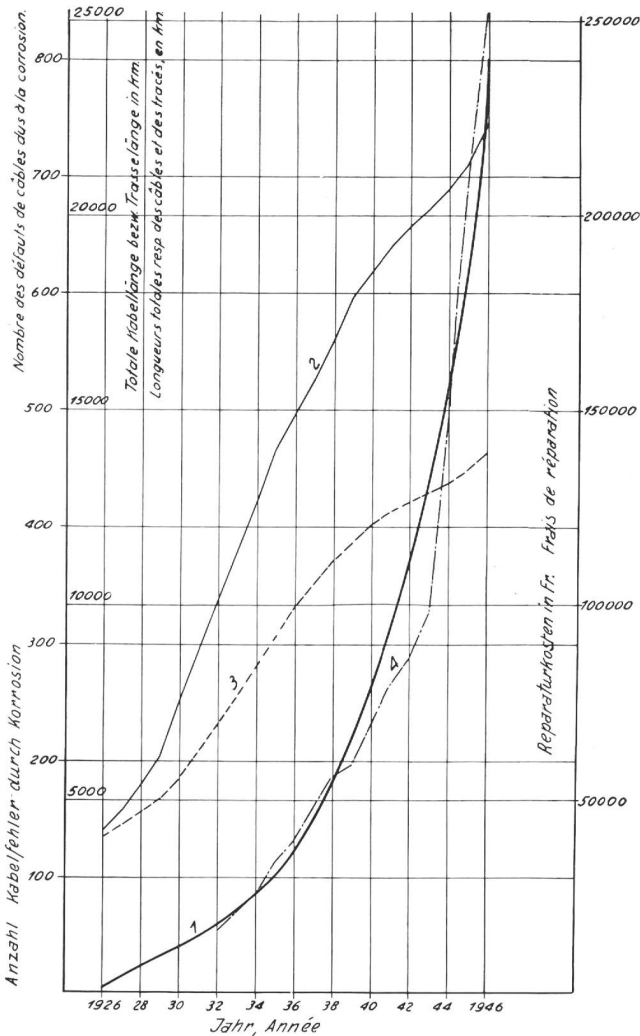


Fig. 22. Gesamtzahl der Kabelfehler, verursacht durch Korrosion. Kabellänge und Reparaturkosten in den Jahren 1926...1946

Nombre total des défauts de câbles dus à la corrosion. Longueur des câbles et frais de réparation dans les années de 1926 à 1946

- 1 = Gesamtzahl der Kabelfehler, verursacht durch Korrosion
Nombre total des défauts de câbles dus à la corrosion
- 2 = Kabellänge (Orts-, Fern- und Bezirkskabel)
Longueur des câbles (locaux, interurbains et ruraux)
- 3 = Trasselänge der Orts-, Fern- und Bezirkskabel
Longueur de tracé des câbles locaux, interurbains et ruraux
- 4 = Reparaturkosten
Frais de réparation

En 1926, nous avons 6 cas de corrosion, en 1936 13 cas et en 1946 115 cas. Le nombre augmenta de 6 à 116 de 1926 à 1936 et à 802 de 1926 à 1946. Les courbes de la figure 22 donnent de plus amples renseignements; en plus du nombre total des dommages causés par la corrosion, on y voit, en fonction du temps, la longueur des câbles posés, la longueur des tracés et le montant des frais de réparation.

Le nombre des défauts de câbles provenant de la corrosion monte rapidement. A la figure 23, les courbes de l'augmentation relative donnent une comparaison du nombre des défauts avec la longueur des câbles posés. Pour l'année 1926, les valeurs correspondent à 100%. Pendant le même temps, la longueur des câbles a augmenté de 5 fois, et le nombre des défauts s'est accru de 25 fois. Le nombre des défauts augmente donc beaucoup plus que ce ne devrait être le cas en proportion de l'augmentation de la longueur des câbles, ce qui est un signe distinct de vieillissement. Cet état de choses provient en partie aussi du fait qu'avec le temps, les défauts peuvent se répéter sur le même câble.

Des 726 dommages dus à la corrosion et pouvant être analysés de plus près, 682 soit le 94% concernent

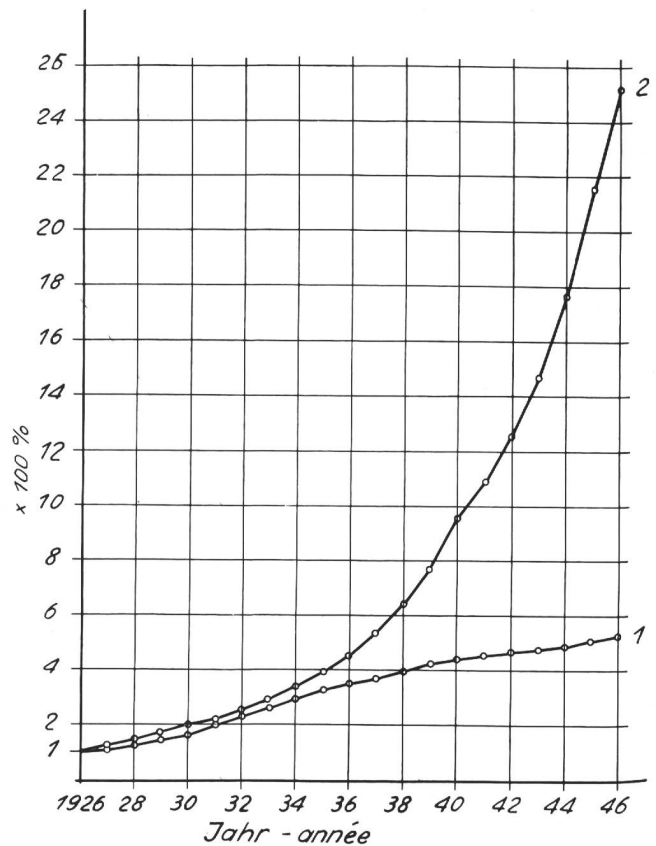


Fig. 23. Relative Zunahme der Kabelfehler durch Korrosion
Augmentation relative des défauts de câbles dus à la corrosion

- 1 = Zunahme der Kabellänge (1926 = 100%)
Augmentation de la longueur des câbles (1926 = 100%)
- 2 = Zunahme der Kabelfehler durch Korrosion (1926 = 100%)
Augmentation des défauts de câbles dus à la corrosion (1926 = 100%)

Die Zahl der durch Korrosion verursachten Kabelfehler steigt rasch an. Die Kurven in Figur 23 zeigen deutlich die relative Zunahme im Vergleich zur ausgelegten Kabellänge. Darin sind die entsprechenden Werte bis zum Jahr 1926 gleich 100% eingesetzt. In der gleichen Zeit, in der die Kabellänge fünfmal grösser geworden ist, ist die Zahl der Kabelfehler auf den 25fachen Wert gestiegen. Die Fehlerzahl steigt also wesentlich mehr, als dies proportional zur Zunahme der Kabellänge der Fall sein sollte, was deutlich ein Zeichen der Alterung ist. Zum Teil ist diese Erscheinung auch darauf zurückzuführen, dass am gleichen Kabel im Laufe der Zeit mehrere Fehler auftreten können.

Von den 726 Korrosionsschäden, deren Ursachen bekannt und somit eine weitere Betrachtung möglich ist, entfallen 682 = 94% auf kleine Kabel, 2×2 bis 40×2 , mit Bleimanteldicken von 2 mm, und nur 44 = 6% auf grössere Kabel mit 2,5...3 mm starken Bleimänteln.

Eine weitere, sehr interessante Feststellung zeigt, dass von den 573 Korrosionen an im Erdboden verlegten Kabeln 555 = 96,8% in Zoresisenkanälen, 11 in Zementsteinkanälen oder kleinen Zementrohren, 5 in Kulisseneisen in Kellerräumen und nur 2 in Einsteigschächten von Kabelrohrkanalisationen aufgetreten sind. Die sehr grosse Häufigkeit der Korrosionsschäden in Zoresisenkanälen ist offenbar nicht nur auf das Vorhandensein der beiden Metalle Blei und Eisen im Erdboden zurückzuführen, denn viele der älteren Kabelrohranlagen wurden mit Gusseisenrohren erstellt, sondern vielmehr auf die ungünstigen Verhältnisse, die durch die längshalbierten Zoreskanäle geschaffen werden. Bei diesen können Wasser und Schlamm sehr leicht eindringen und im Kanal liegenbleiben, wodurch die besten Vorbedingungen für das Entstehen von Korrosionsschäden geschaffen sind.

Im Interesse der Sache wurden 10 aus Rohrkanalisationen ausgezogene Kabel auf Korrosionsanfressungen hin untersucht. An 8 Kabeln, welche zwischen 4 und 26 Jahren in Betrieb waren, wurden Korrosionsspuren festgestellt. Die Zahl der Spuren ist aber so gering, dass es noch ein mehrfaches an Zeit benötigen würde, bis der Mantel durchfressen wäre, trotzdem einige Kanäle direkt Wasser führten. Der Grund dafür liegt vielleicht darin, dass das Wasser im Rohr nicht liegenblieb und kein Schlamm angeschwemmt werden konnte.

Diese wenigen Untersuchungen sollen durch weitere ergänzt werden. Vorläufig ergibt sich daraus eine Bestätigung für die bekannte Schutzwirkung der Rohrkanalisationen.

Nach einer örtlichen Verteilung fallen 50% aller Korrosionsfälle auf die Telephondirektionen Zürich, St. Gallen, Olten und Lausanne, während nur 1,6% auf die Direktionen Neuenburg und Freiburg fallen und Sitten überhaupt keinen Korrosionsschaden mel-

des Kabels de 2×2 à 40×2 conducteurs munis de gaines de plomb de 2 mm d'épaisseur, et seulement 44 soit le 6% se rapportent à des câbles dont la gaine de plomb avait une épaisseur de 2,5 à 3 mm.

D'autre part, on a fait la constatation intéressante que sur 573 cas de corrosion de câbles placés dans le sol, 555 soit le 96,8% se sont produits dans des caniveaux en fers zorès, 11 dans des caniveaux en plots de ciment ou dans de petits tuyaux en ciment, 5 dans des fers à coulisse placés dans des caves et seulement 2 dans des chambres souterraines avec trou d'accès de canalisations en tuyaux. Le très grand nombre des cas de corrosion survenus dans des caniveaux en fers zorès n'est certainement pas seulement dû à la présence des deux métaux plomb et fer dans le sol, car de nombreuses anciennes installations furent établies avec des tuyaux de fonte, mais plutôt aux conditions désavantageuses des caniveaux zorès partagés dans le sens de leur longueur. Dans ces caniveaux, l'eau et le limon pénètrent facilement et restent au fond du canal. C'est de cette manière que se trouvent réalisées les meilleures conditions pour provoquer des dommages par la corrosion.

Dans l'intérêt des recherches, 10 câbles sortis de canalisations en tuyaux furent examinés au point de vue de la corrosion. On constata des traces de corrosion sur 8 câbles qui avaient été en service de 4 à 26 ans. Mais ces traces sont si minimes qu'il aurait fallu un multiple de ce temps jusqu'à ce que la gaine soit rongée de part en part, bien que certaines de ces canalisations conduisaient de l'eau. La raison en est probablement que l'eau qui n'est pas stagnante ne dépose pas de limon.

Ces quelques contrôles seront complétés par d'autres. Pour le moment, ils confirment l'effet protecteur connu des canalisations en tuyaux.

Les cas de corrosion se répartissent par 50% entre les Directions des téléphones de Zurich, St-Gall, Olten et Lausanne et seulement par 1,6% entre les Directions de Neuchâtel et de Fribourg, tandis que Sion n'a jamais annoncé de dommage dû à la corrosion. Il va de soi que cet état de choses est en rapport avec l'étendue du réseau des câbles. La circonscription de Zurich possède le plus grand réseau de câbles et celle de Sion le plus petit.

Les réseaux de câbles des Directions de Bâle avec 2,8%, de Berne avec 5,9%, de Bienne avec 2,7% et de Thoune avec 3,2% de tous les cas de corrosion ont d'égales ou même de plus grandes dimensions que les réseaux de St-Gall, d'Olten et de Lausanne.

Si l'on reporte sur la carte topographique de la Suisse les défauts de câbles dus à la corrosion (fig. 24), on reconnaît 10 régions à fréquence spécialement massive des défauts. Nous en donnons le détail dans le tableau ci-après:

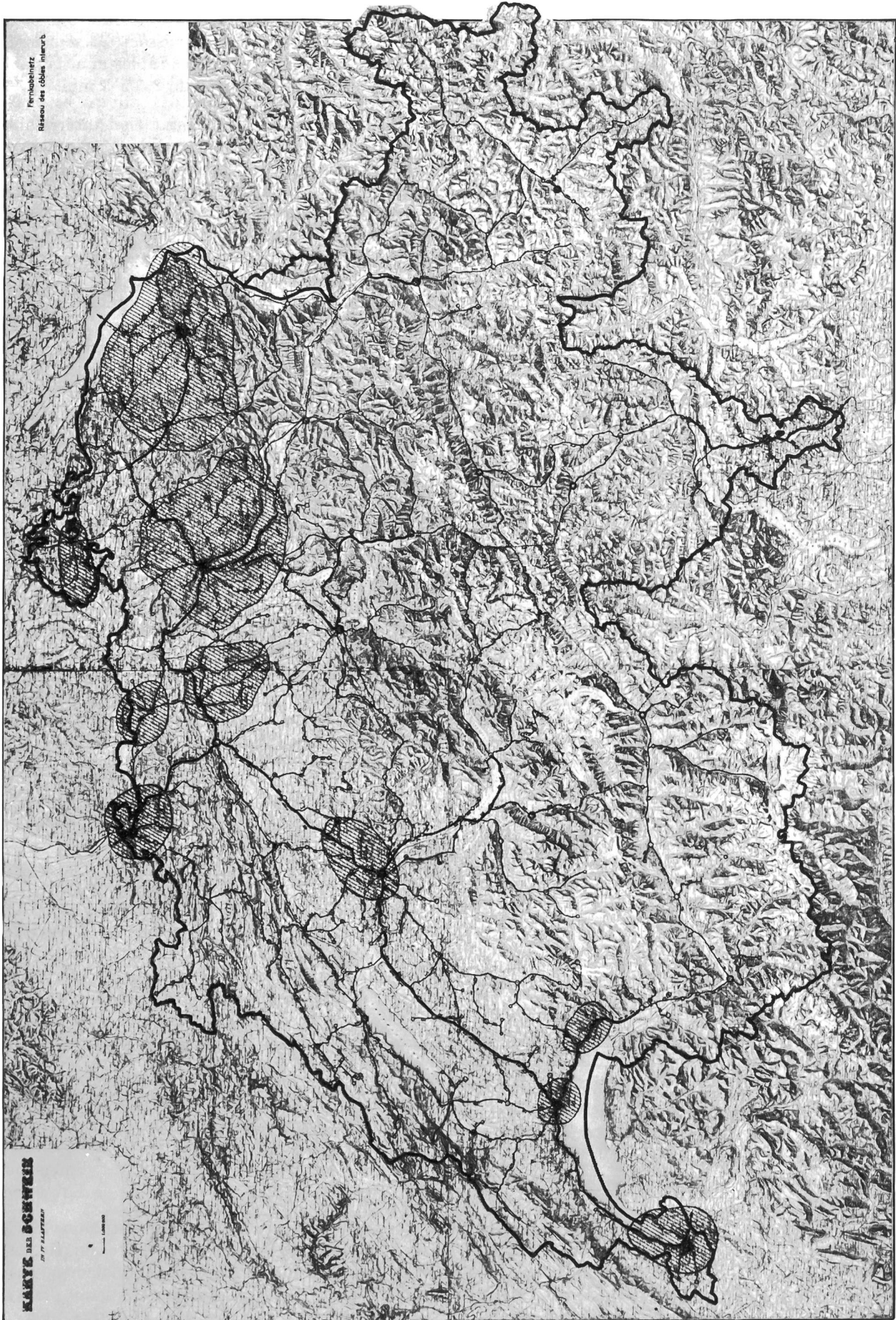


Fig. 24. Örtliche Verteilung der Korrosionsschäden — Répartition locale des endommagements dus à la corrosion

dete. Selbstverständlich steht die Häufigkeit im Zusammenhang mit der Grösse der Kabelnetze. Im Verwaltungsgebiet der Telephondirektion Zürich finden wir das grösste, in demjenigen von Sitten das kleinste Kabelnetz. Gleich gross oder sogar grösser als die Kabelnetze der Direktionen St. Gallen, Olten und Lausanne sind zum Beispiel diejenigen von Basel mit 2,8%, Bern mit 5,9%, Biel mit 2,7% und Thun mit 3,2% der Korrosionsschäden.

Nach der Eintragung der Korrosionsfehler in die topographische Landeskarte (Fig. 24) lassen sich zehn Regionen mit besonderer Massierung der Fehler erkennen. Sie sind in folgender Tabelle zusammengestellt.

Ortsbezeichnung	Fehlerzahl	
	elektrolytische Korrosionen	chemische Korrosionen
Genf (Stadt)	25	10
Lausanne (Stadt)	8	3
Vevey-Montreux	12	1
Bern-Münchenbuchsee- Burgdorf	9	11
Basel	10	4
Frick-Eiken-Stein	1	11
Aarau-Lenzburg-Reinach	9	22
Zürich und Zürcher Ober- land	25	82
Schaffhausen (Klettgau)	6	9
St. Gallen und oberer Thurgau	43	48
Total	148	201

Diese zehn Gebiete enthalten 75% aller elektrolytischen und 54% aller chemischen Korrosionen. Die elektrolytischen Korrosionen sind hauptsächlich in den Städten aufgetreten. In Genf, Lausanne, Aarau und Zürich waren die Schäden auf die damals vorhandenen schlechten Rückstromverhältnisse der elektrischen Bahnen zurückzuführen, während für die Fälle in Vevey-Montreux ein mit Isolationsfehlern behaftetes Rückleiterkabel der Vevey-Montreux-Villeneuve-Bahn als Ursache festgestellt werden konnte. In den Städten St. Gallen, Wil und Basel sind viele elektrolytische Korrosionen als Folge von Isolationsfehlern in den Gleichstromverteilnetzen der Elektrizitätswerke aufgetreten. Einige charakteristische Fälle von Elektrolyse durch Elementbildung mit mehreren Fehlern sind in Münchenbuchsee, Heustrichbad, Pfäffikon-Zürich, Flawil und Speicher aufgetreten.

Interessanterweise sind die Fälle chemischer Korrosionen hauptsächlich auf die Gebiete der Kantone Aargau, Zürich, Schaffhausen, Thurgau und St. Gallen verteilt. An einigen Orten, zum Beispiel in Dürrenroth, Reinach/Aargau, Hombrechtikon, Hinwil und Wald, sind jeweils innert kurzer Zeit am gleichen Kabel mehrere Fehler aufgetreten. Offenbar war man dort bei der Auswechslung der fehlerhaften Kabel etwas zu wenig grosszügig.

Désignation des lieux	Nombre de défauts	
	Corrosion électrolytique	Corrosion chimique
Genève (ville)	25	10
Lausanne (ville)	8	3
Vevey—Montreux	12	1
Berne—Münchenbuchsee—Ber- thoud	9	11
Bâle	10	4
Frick—Eiken—Stein	1	11
Aarau—Lenzburg—Reinach	9	22
Zurich et Oberland zurichois	25	82
Schaffhouse (Klettgau)	6	9
St-Gall et Thurgovie supérieure	43	48
Au total	148	201

Ces 10 régions accusent le 75% de toutes les corrosions électrolytiques et le 54% de toutes les corrosions chimiques. Les corrosions électrolytiques se sont produites surtout dans les villes. A Genève, Lausanne, Aarau et Zurich, les dommages provenaient des mauvaises conditions existant autrefois pour les courants de retour des chemins de fer électriques, tandis que, dans les cas de Vevey—Montreux, la cause était due à l'état défectueux de l'isolation du câble de courant de retour du chemin de fer Vevey—Montreux—Villeneuve. Dans les villes de St-Gall, Wil et Bâle, un grand nombre de corrosions électrolytiques se sont produites du fait de défauts d'isolation affectant les réseaux à courant continu des usines électriques. Quelques cas caractéristiques d'électrolyse avec plusieurs défauts par suite de la formation d'éléments se sont produits à Münchenbuchsee, aux Bains d'Heustrich, à Pfäffikon-Zurich, à Flawil et à Speicher.

Il est intéressant de constater que les cas de corrosion chimique se répartissent surtout entre les régions des cantons d'Argovie, de Zurich, de Schaffhouse, de Thurgovie et de St-Gall. A quelques endroits, par exemple à Dürrenroth, Reinach/Argovie, Hombrechtikon, Hinwil et Wald, plusieurs défauts se sont produits dans un temps relativement court.

Le nombre des défauts dus à la corrosion est minime dans les régions alpestres des Grisons, du Tessin, de l'Oberland bernois et du Valais. Il est surprenant qu'il y ait eu un si petit nombre de dommages dans la zone jurassienne Neuchâtel—Bienne—Bâle, où de nombreux câbles sont posés directement dans le sol calcaire réputé nocif au point de vue de la corrosion.

Comme la corrosion ne peut avoir lieu sans la présence d'humidité, on pourrait croire que, dans certaines contrées, la pluie et la fonte des neiges jouent un rôle dans la fréquence des défauts résultant de la corrosion. Les courbes qui représentent, à la figure 25, les précipitations annuelles enregistrées dans différentes stations des régions les plus intéressantes des Directions des téléphones de St-Gall, Zurich, Olten, Lausanne, Sion, Fribourg et Neuchâtel ne permettent pas de tirer des conclusions à ce sujet. Il est vrai que les précipitations sont moins importantes au Valais

Die Zahl der Korrosionsfehler ist in den Alpengebieten Graubünden, Tessin, Berner Oberland und Wallis verhältnismässig gering. Auffallend ist die sehr kleine Schadenzahl in der Jurazone Neuenburg—Biel—Basel, wo doch viele Kabel direkt im als korrosiv bekannten Kalkboden liegen.

Da ohne Feuchtigkeit keine Korrosion auftritt, liegt die Vermutung nahe, dass allenfalls die Niederschlagsmenge für die Massierung der Korrosionsfehler in gewissen Landesgegenden ausschlaggebend sein könnte. Die Kurven der jährlichen Niederschlagsmengen (Fig. 25), aufgetragen für verschiedene Messstationen der besonders interessant erscheinenden Gebiete der Telephondirektionen St. Gallen, Zürich, Olten, Lausanne Sitten, Freiburg und Neuenburg lassen keinen Schluss in dieser Beziehung zu. Wohl sind die Niederschläge im Wallis kleiner als an den anderen Orten, dafür sind sie im Jura wesentlich

qu'ailleurs; par contre elles le sont beaucoup plus dans le Jura. Le danger de corrosion n'y est cependant pas plus prononcé que par exemple dans les cantons d'Argovie ou de Zurich.

Les dépenses occasionnées par la réparation des dommages dus à la corrosion présentent un intérêt au point de vue économique. Elles sont inscrites sur les courbes de la figure 1. En 1926, elles étaient de 1920 fr., en 1936 de 5000 fr. et en 1946 de 52 737 fr. Ces montants représentent le 0,22% du total des frais d'entretien des installations de câbles en 1926, le 0,79% en 1936 et le 5,05% en 1946. Dans ces chiffres ne sont pas compris les montants pour pertes de conversations et diminution de valeur des câbles.

4. Spécification des dommages selon les différents genres de corrosion

Les 802 dommages causés par la corrosion ont été répartis, après qu'on les eut examinés, entre les diffé-

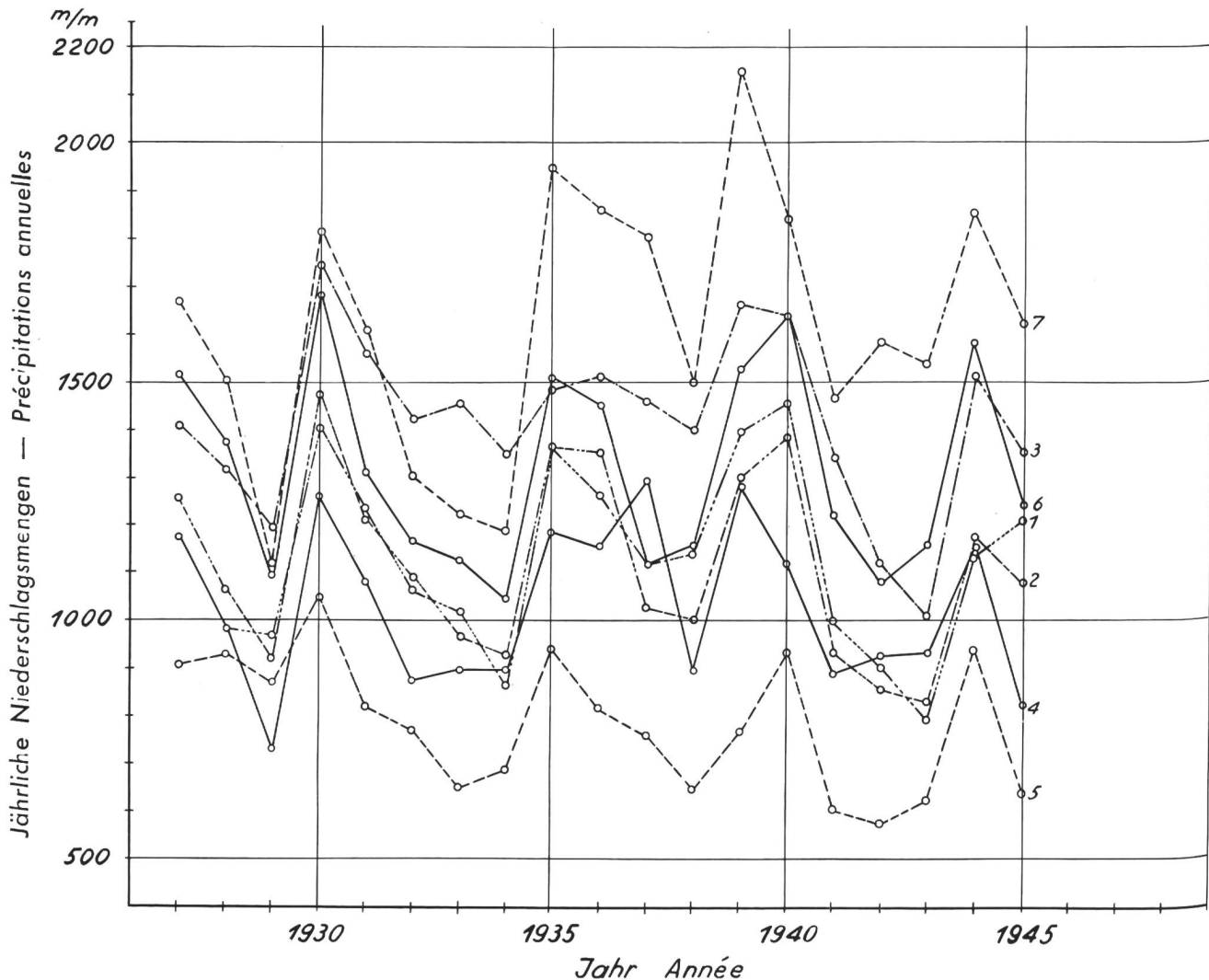


Fig. 25. Jährliche Niederschlagsmengen in mm

Précipitations annuelles en mm

Meßstationen: 1 = Dietikon

Stations de mesure: 2 = Unterkulm

3 = Degersheim

4 = Morges

5 = Martigny

6 = Château-d'Oex

7 = La Chaux-de-Fonds

höher, und trotzdem ist dort keine grössere Korrosionsgefährdung zu verzeichnen als zum Beispiel im Kanton Aargau oder in Zürich.

Von wirtschaftlichem Interesse sind die Kosten für die Reparatur der Korrosionsschäden. Diese sind im Kurvenblatt Fig. 1 aufgetragen. Im Jahr 1926 betragen sie Fr. 1920.—, im Jahr 1936 Fr. 5000.— und im Jahr 1946 Fr. 52 737.—. Das sind 0,22% der gesamten Unterhaltskosten für Kabelanlagen im Jahre 1926, 0,79% derjenigen von 1936 und 5,05% im Jahre 1946. In diesen Zahlen sind die Beträge für Gesprächsausfall und Wertverminderung der Anlagen nicht inbegriffen.

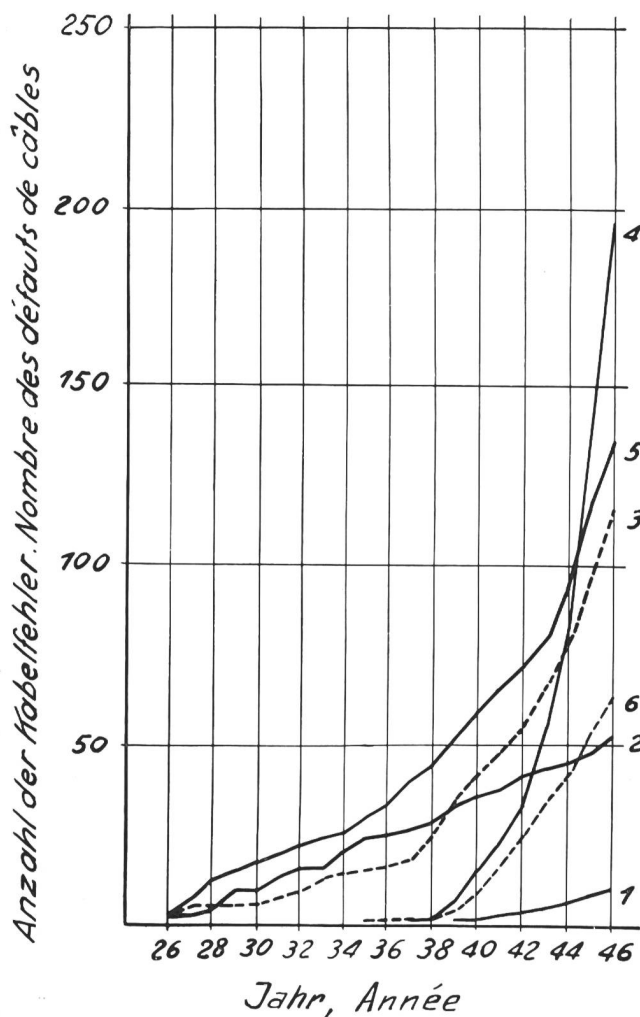


Fig. 26. Zahl der Fehler nach Korrosionsart
 Nombre des défauts dus aux différents genres de corrosion

- 1 = durch Baumaterialien
par des matériaux de construction
- 2 = Bodenkorrosionen
Corrosions dues au sol
- 3 = durch bodenfremde Stoffe
par des matières étrangères au sol
- 4 = Phenolkorrosionen
Corrosions dues au phénol
- 5 = Fremdstrom-Elektrolysen
Electrolyses par des courants étrangers
- 6 = Elektrolyse durch Elementbildung
Electrolyse par la formation d'élément

rents genres de corrosion déjà mentionnés. Le tableau suivant et les courbes de la figure 26 renseignent sur la spécification et la répartition entre les différentes années:

Genre de corrosion	Nombre des dommages
Corrosion par des matériaux de construction	10
Corrosion due au sol	51
Corrosion par des matières étrangères au sol	118
Corrosion sous l'effet d'accélérateurs (phénol)	197
Electrolyse par des courants étrangers . .	132
Electrolyse par la formation d'éléments . .	67
Ruptures dues à la fatigue (câbles aériens)	110
Ruptures dues à la fatigue (câbles souterrains)	76
Cas indéterminés	40

Les cas de corrosion par des matériaux de construction sont exclusivement dus à la sécrétion de chaux par le mortier au ciment ou par le béton. Ils se sont surtout produits dans les fondations des pylônes de transition.

La corrosion due au sol a été constatée spécialement dans des sols argileux ou marécageux. Des cas isolés se sont produits dans du sol graveleux, dans du roc marneux, dans le terre-plein d'un chemin de fer et dans une route sèche. La valeur pH (concentration en ions d'hydrogène) et la teneur en sels et en acides solubles de ces différents genres de sol ne nous sont malheureusement pas connues. Des recherches sur la constitution du sol pourront, plus tard, fournir des renseignements utiles à ce sujet.

Les cas de corrosions par des matières étrangères au sol peuvent être répartis suivant les causes indiquées ci-après:

Cause	Nombre des dommages
Purin et urine	41
Egouts	27
Gaz d'éclairage combiné avec l'humidité du sol (en cas de ruptures de conduites) .	3
Eaux d'écoulement de laiteries	3
Acides provenant d'usines	3
Acide formique	1
Hyposulfite de soude d'un laboratoire photographique	1
Résidus de carbure de calcium	1
Bouurre humide de joints de tuyaux . . .	37

Les dommages les plus nombreux ont été causés par le purin et l'urine. Une autre catégorie concerne les effets d'eaux industrielles s'échappant de canalisations à joints défectueux. Trois cas très intéressants de corrosion étaient dus à l'effet de gaz d'éclairage de conduites dont les joints n'étaient plus étanches, et qui s'était introduit dans des caniveaux zorès. Un cas de ce genre mérite de retenir l'attention. Le câble endommagé se trouvait en partie dans des caniveaux constitués par des plots de ciment et en partie dans des fers zorès. Bien que le gaz d'éclairage arrivât du caniveau en plots de ciment, le dommage s'est

4. Ausscheidung nach den einzelnen Korrosionsarten

Entsprechend den Ergebnissen der angestellten Untersuchungen haben wir die 802 Korrosionsschäden nach den früher erwähnten Korrosionsarten unterteilt. Die nachstehende Zusammenstellung sowie das Kurvenblatt Fig. 26 geben Aufschluss über die Ausscheidung und die jährliche Verteilung.

Korrosionsart	Zahl der Schäden
Korrosion durch Baumaterialien	10
Bodenkorrosion	51
Korrosion durch bodenfremde Stoffe	118
Korrosion durch Beschleuniger (Phenolkorrosion)	197
Elektrolytische Korrosion durch Fremdströme	132
Elektrolytische Korrosion durch Elementbildung	67
Ermüdungsbrüche an Luftpfeifen	110
Ermüdungsbrüche an Erdkabeln	77
Unbestimmte Schadenfälle	40

Die Korrosionen durch Baumaterialien sind ausschliesslich auf die Ausscheidung von Kalk aus dem Zementmörtel oder Beton zurückzuführen. Sie sind hauptsächlich in den Fundamentdurchführungen von Kabelüberführungsmasten aufgetreten.

Die Bodenkorrosionen sind in den meisten Fällen in Lehm- oder Moorböden festgestellt worden. Nur je ein Schaden wurde aus kiesigem Boden, Mergelfels, Bahnkörper oder trockener Strasse gemeldet. Leider ist uns der pH-Wert sowie der Gehalt an löslichen Salzen und Säuren dieser Böden nicht bekannt. Bodenuntersuchungen können in Zukunft darüber Klarheit verschaffen.

Bei den Korrosionen durch bodenfremde Stoffe ist die Ausscheidung nach folgenden Ursachen möglich.

Ursache	Zahl der Schäden
Jauche und Urin	41
Abwasser aus Kanalisationen	27
Leuchtgas, im Verein mit der Bodenfeuchtigkeit (bei Gasrohrbruch)	3
Abwasser aus Molkereien	3
Säuren aus Fabrikbetrieben	3
Ameisensäure	1
Fixiersalz aus einem Photolaboratorium	1
Karbidrückstände	1
Feuchte Muffendichtungspolster	37

Die grösste Zahl der Schäden ist durch Jauche oder Urin verursacht worden. Eine weitere Kategorie bilden die Einwirkungen von Abwässern aus undichten Kanalisationen. Drei sehr interessante Korrosionen waren die Folge der Einwirkung von Leuchtgas, das aus undichten Gasleitungen in die Zoreskanäle eingedrungen ist. Einer dieser Fälle verdient besondere Aufmerksamkeit. Das beschädigte Kabel war zum Teil in Zementsteinkanälen und zum Teil in Zores-eisen verlegt. Obschon das festgestellte Leuchtgas aus dem Zementsteinkanal zuströmte, war der

produkt in den Kanal zorès à proximité du point de jonction des deux systèmes de canalisation. La raison en est, de toute évidence, que l'humidité s'est maintenue plus longtemps dans le caniveau zorès et qu'elle a agi communément avec le gaz sur le plomb. Sur des parties de 30 et de 40 cm de longueur, la gaine de plomb fut transformée sur tout son pourtour en carbonate de plomb. Dans le canal, on ne trouva plus que de la céruse. Dans trois cas spéciaux, les causes purent être facilement déterminées. Dans le premier cas, il s'agissait de l'influence de l'hyposulfite de soude provenant d'un laboratoire photographique, dans le deuxième cas de l'effet de résidus de carbure de calcium d'une ancienne installation de soudure à l'autogène, et dans le troisième cas de la décomposition du plomb par de l'acide formique. Une colonie de fourmis s'était installée dans le canal en béton d'un support de transition. L'acide formique que dégageaient les fourmis avait fortement corrodé la gaine de plomb.

Une cause spéciale de la corrosion avait comme origine l'humidité des bourrelets d'obturation des manchons. Dans les canalisations en fers zorès, les manchons de protection en fonte étaient remplis d'asphalte. Pour empêcher la masse de remplissage de couler dans le caniveau zorès, on bourra le point de transition au moyen d'une tresse d'obturation telle qu'on l'utilise pour l'isolation des conduites de vapeur et des conduites d'eau. Cette bourre n'est certainement pas exempte d'acide et elle est hygroscopique. Aux endroits où la bourre est appliquée sur la gaine de plomb dénudée et décapée, une corrosion intense se produit très rapidement. Comme moyen d'étanchéité, on utilise aujourd'hui la bande Denso.

La corrosion sous l'effet du phénol ne fut reconnue comme telle qu'à partir de 1937. Ce genre de corrosion est de beaucoup le plus fréquent (197 cas); le nombre augmente d'année en année. Son apparition est certainement en corrélation avec l'emploi, de 1928 à 1933, de goudron de gaz par les fabriques de câbles pour imprégner les enveloppes de papier et de jute, car le 73% de tous les cas de corrosion sous l'effet du phénol concernent des câbles fabriqués et posés à cette époque. Le plus souvent, on constata aux lieux des défauts que le sol était constitué d'argile ou d'humus, mais dans des cas isolés il s'agissait de gravier et de roc marneux. Dans tous les cas, le canal était humide, mouillé et souvent même rempli de limon imprégné d'eau. La thèse du savant italien E. Da Fano⁸⁾ selon laquelle le phénol peut activer la corrosion en présence d'eau et d'acide carbonique paraît se confirmer aussi dans la pratique, du moins en ce qui concerne l'eau.

Lorsqu'on dispose du matériel de recherche nécessaire, on démontre qu'il s'agit réellement de corrosion par du phénol en déterminant la teneur en phénol de l'enveloppe de câble. Pour prouver la présence du

⁸⁾ Voir Telegr.- und Fernsprech-Techn. 1932, N° 10, p. 267...270.

Schaden unmittelbar nach dem Übergang zum Zoreskanal aufgetreten. Der Grund liegt offenbar darin, dass die Feuchtigkeit dort länger erhalten blieb und, zusammen mit dem Gas, auf das Blei einwirkte. Der Bleimantel wurde auf ungefähr 30...40 cm Länge über dem ganzen Umfang zu Bleikarbonat verwandelt. Im Kanal war nur noch Bleiweiss sichtbar. — In drei besonderen Fällen waren die Ursachen leicht feststellbar. Es handelte sich beim ersten Falle um die Einwirkung von Fixiersalz aus einem Photolaboratorium, beim zweiten um die Wirkung von Karbidrückständen einer früheren Schweissanlage und beim dritten um die Zersetzung des Bleies durch Ameisensäure. Eine Ameisenkolonie hatte sich im Betonkanal eines Kabelüberführungstragwerkes eingenistet. Durch die von den Tieren ausgeschiedene Säure wurde das Kabel stark korrodiert.

Eine besondere Ursache von Korrosionen bildeten die feuchten sogenannten Muffendichtungspolster. In Zoreskanalanlagen wurden bei den Spleissungen die gusseisernen Schutzmuffen mit Asphalt ausgegossen. Damit die Vergussmasse nicht in den Zoreskanal ausfließen konnte, verstopfte man den Übergang mit einem Dichtungszopf, wie dieser für die Wärmeisolierung von Dampf- und Wasserleitungen Verwendung findet. Dieses Dichtungsmaterial ist vermutlich nicht säurefrei und nimmt ausserdem leicht Feuchtigkeit auf. Dort, wo eine solche Dichtung auf den nackten, gereinigten Bleimantel zu liegen kommt, entstehen innert kurzer Zeit sehr starke Korrosionen. Heute verwendet man als Abschluss das sogenannte Densoband.

Die Korrosionen unter Einwirkung von Phenol wurden erst im Jahre 1937 als solche erkannt. Sie sind heute mit 197 Fällen am stärksten vertreten und nehmen von Jahr zu Jahr zu. Wir glauben, dass diese Erscheinung darauf zurückzuführen ist, dass die Kabelfabriken in den Jahren 1928...1933 für die Imprägnierung der Papier- und Juteumhüllung Gasteer verwenden mussten. Tatsächlich entfallen 73% aller Phenolkorrosionen auf Kabel, die in den Jahren 1928...1933 ausgelegt und somit auch in dieser Zeit fabriziert wurden. Meistens sind die Fehlerstellen in Lehm- oder Humusböden, vereinzelt aber auch in Kies und Mergelfels festgestellt worden. In jedem Falle aber war der Kanal feucht, nass oder oft sogar mit nassem Schlamm gefüllt. Die These des italienischen Forschers *E. da Fano*⁸⁾, wonach Phenol die Korrosion fördern kann, wenn Wasser und Kohlensäure zugegen sind, scheint sich, wenigstens in bezug auf das Vorhandensein von Wasser, auch in unserer Praxis zu bewahrheiten.

Wo das nötige Untersuchungsmaterial zur Verfügung steht, wird die Richtigkeit der Diagnose auf «Phenolkorrosion» durch die Bestimmung des Phenolgehaltes der Kabelumhüllung nachgewiesen. Die Proben werden für den Phenolnachweis einer

phénol, on soumet les échantillons à une distillation par la vapeur d'eau, et l'on en vérifie la teneur dans le produit de la distillation au moyen de l'une des trois méthodes mentionnées dans le n° 1 du Bulletin technique⁹⁾, soit 1° réaction d'après Folin-Denise, 2° réaction selon Hinden, 3° réaction selon Houghton. Les trois méthodes permettent de reconnaître le phénol dans des dilutions d'au moins 1 : 10⁶ à 1 : 10⁷. La concentration du phénol est évaluée par comparaison avec des solutions de phénol de concentration connue, et l'on calcule, sur la base du degré de concentration trouvé, la teneur spécifique des échantillons en phénol (mgr de phénol obtenus par distillation par gramme de solution contrôlée). Il résulte d'un grand nombre de recherches que la teneur en phénol des matières d'imprégnation ne doit pas dépasser 0,001%. Dans des cas caractéristiques de corrosion due au phénol, la teneur en phénol variait de 0,0075% à 0,0448%, ce qui représente des valeurs considérablement plus élevées que le pour-cent admis.

Le nombre des cas de *corrosion électrolytique due aux courants vagabonds* d'installations à courant fort occupe, avec 132 cas, le deuxième rang. 88 cas, ou le 66%, ont trait à l'influence des courants vagabonds des chemins de fer à courant continu, 41 cas, ou le 31%, aux courants d'anciens réseaux à courant continu des usines électriques et 4 cas à l'influence des courants de batteries téléphoniques alimentant des installations d'embranchement ou les dispositifs de chauffage des disques d'appel des cabines téléphoniques.

Selon les «Règles à suivre pour assurer la protection des conduites métalliques et des câbles souterrains contre les effets de corrosion des courants vagabonds des chemins de fer électriques», élaborées par le Secrétariat général de l'Association suisse des électriciens en 1922, une installation souterraine est menacée de destruction par la corrosion lorsque des différences moyennes de tension de plus de 0,8 volts se produisent temporairement entre un tuyau ou une gaine de câble et les rails.

Nos mesures, qui ne furent naturellement exécutées qu'après qu'on eut découvert les dommages, ont donné aux lieux des défauts des différences de tension de 1,0 volt au maximum. Nous sommes d'avis que, pour les dommages dus à la corrosion, la différence de tension entre la gaine de plomb et le sol qui l'environne directement est plus déterminante que la différence de tension entre le câble et les rails. C'est donc uniquement celle-ci qui fut mesurée ces dernières années, et les mesures ont donné des valeurs étonnamment faibles de l'ordre de grandeur de 10 à environ 500 mV. Pour les mesures, on se servit d'une électrode ne pouvant se polariser ou tout au moins d'une électrode fer-plomb, ceci afin d'éviter autant que possible l'influence de tensions de polari-

⁸⁾ Vgl. Telegr.- und Fernsprech-Techn. 1932, Nr. 10, S. 267...270.

⁹⁾ Voir Bull. techn. PTT 1947, N° 1, p. 21...27.

Wasserdampfdestillation unterzogen und das Destillat nach einer der drei erwähnten Methoden⁹⁾, 1. Reaktion nach *Folin-Denise*, 2. Reaktion nach *Hinden*, 3. Reaktion nach *Houghton*, auf Phenol geprüft. Mit allen drei Methoden können Phenole noch in Verdünnungen von mindestens 1 : 10⁶ bis 1 : 10⁷ nachgewiesen werden. Die Phenolkonzentration wird anhand von Phenolvergleichslösungen bekannter Konzentrationen abgeschätzt und daraus der spezifische Phenolgehalt (mg abdestillierte Phenole pro Gramm Einwaage der untersuchten Lösung) der Proben berechnet. Aus vielen Untersuchungen haben wir festgestellt, dass der Phenolgehalt der Imprägnierungsmittel nicht über 0,001% liegen darf. Bei charakteristischen «Phenolkorrosionen» wurden zum Beispiel Phenolgehalte von 0,0075% bis 0,0448% gefunden, also Werte, die erheblich über dem als zulässig betrachteten Prozentsatz liegen.

Die Zahl der *elektrolytischen Korrosionen verursacht durch vagabundierende Ströme* benachbarter Starkstromanlagen ist mit 132 Fällen an zweiter Stelle. Davon entfallen 88 oder 66% auf die Einwirkung von Streuströmen elektrischer Gleichstrombahnen. 41 Schäden oder 31% sind aufgetreten durch vagabundierende Ströme aus früheren Gleichstromverteilnetzen der Elektrizitätswerke und 4 Fälle sind auf die Wirkung von Telephonbatterieströmen für die Speisung von Nebenstellenanlagen oder für die Heizung von Nummernschaltern in Telephonkabinen zurückzuführen.

Nach den *Leitsätzen betreffend Schutzmassnahmen zur Verminderung der Korrosion an Rohren und Kabeln durch Erdströme elektrischer Bahnen*, bearbeitet vom Generalsekretariat des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins vom Jahre 1922, wird eine unterirdische Anlage als korrosiv gefährdet bezeichnet, wenn zwischen Rohr oder Kabelmantel und Schiene zeitlich mittlere Spannungsdifferenzen auftreten, die grösser als 0,8 Volt sind.

Unsere Messungen, die natürlich erst ausgeführt wurden, nachdem der Schaden aufgetreten ist, haben an den Fehlerstellen Spannungsdifferenzen von höchstens 1,0 Volt ergeben. Die Spannungsdifferenz zwischen Kabelmantel und dem direkt umgebenden Erdreich betrachten wir als für das Entstehen von Korrosionsschäden entscheidender als die Spannungsdifferenz zwischen Kabel und Schiene. Es wurden daher in den letzten Jahren nur noch diese gemessen und dabei erstaunlich geringe Werte in der Grösse von nur 10 bis ungefähr 500 mV festgestellt. Als Messelektrode diente entweder eine nicht polarisierbare Elektrode oder mindestens eine Eisen-Bleielektrode, um nach Möglichkeit Gegenspannungen oder Polarisierungseinflüsse zu vermeiden. Es zeigte sich aber, dass Potentialmessungen gegen Erde unsicher sind. In Zukunft soll daher die Grösse der aus dem Kabel austretenden Ströme bestimmt werden.

⁹⁾ Vgl. Techn. Mitt. PTT 1947, Nr. 5. 21...27.

On remarqua toujours que la mesure de potentiels contre terre donnait des résultats incertains. Désormais, nous déterminerons l'intensité des courants sortant du câble.

En procédant à des mesures dans la gaine de plomb, on constata des courants de 10 à 100 mA, et dans un cas même de 540 mA.

Ces mesures de courants et de tensions montrent que l'état des installations ferroviaires des chemins de fer est en général satisfaisant grâce aux efforts fructueux de l'Office de contrôle de la Commission de corrosion. On doit admettre que les attaques ont débuté, dans des temps reculés, par des sorties de courants relativement fortes, et qu'elles se sont ensuite poursuivies lentement jusqu'au percement de la gaine sous l'effet de courants faibles.

Les attaques électrolytiques du fait de la formation d'éléments accusent 67 cas. Aux endroits des défauts, on a mesuré des différences constantes de potentiel entre la gaine de plomb et le sol environnant de l'ordre de 20 à 250 mV et, dans la gaine de plomb, des courants continus constants de 10 à 70 mA, dans un cas même jusqu'à 190 mA.

Les éléments galvaniques sont formés par la gaine de plomb et le canal en fers zorrès ou les plaques de terre en cuivre comme électrodes, et le sol humide comme électrolyte. Dans quelques cas, l'élément cuivre-plomb était la cause indubitable de l'attaque, et ce fut le plomb, soit le moins précieux des deux métaux, qui fut décomposé. Le circuit était fermé par la connexion métallique du plomb avec la plaque de terre. Après la déconnexion de cette liaison, le courant cessa de circuler, et le danger de corrosion sembla avoir diminué. Dans deux cas, où les gaines des câbles en cause furent percées successivement dans un laps de temps relativement court, il ne s'est plus produit de défauts depuis la déconnexion de la plaque de terre.

L'effet d'élément entre le plomb et les fers zorrès prête à discussion. Il va de soi qu'une tension électrique se produit aussi par l'élément formé de ces deux métaux. Mais, en règle générale, le plomb oxydé est positif contre le fer dans le circuit extérieur; le fer étant le métal le moins précieux, c'est lui qui se décompose à l'intérieur de l'élément. A ces endroits, les caniveaux de fer sont souvent rouillés, ce qui prouverait le bien-fondé de cette thèse.

Dans les sols très alcalins, où la valeur pH est supérieure à 8, la situation est inverse. Le fer devient passif.

Des éléments locaux peuvent par exemple être constitués par le plomb et l'oxyde de plomb, ou par le fer et l'oxyde de fer. Nous ne savons pas encore si ces éléments peuvent être la cause des trous typiques de l'électrolyse.

Le Laboratoire de recherches et d'essais de la Direction générale des PTT continue à étudier les problèmes relatifs à la formation d'éléments.

Im Bleimantel gemessene Ströme wurden in der Grössenordnung von 10 bis 100 bis max. 540 mA festgestellt.

Diese Strom- und Spannungsmessungen zeigen also, dass heute die Geleisanlagen der Bahnen, dank der sehr fruchtbringenden Arbeit der Kontrollstelle der Korrosionskommission, im allgemeinen gut sind. Es muss angenommen werden, dass die Anfressungen in früherer Zeit bei grösseren Stromaustritten begonnen haben und hierauf bei den kleinen Strömen bis zum Durchbruch langsam fortschritten.

Als *elektrolytische Angriffe infolge von Elementbildung* wurden 67 Korrosionsfälle registriert. An den Fehlerorten sind dauernd gleichbleibende Potentialdifferenzen zwischen dem Kabelmantel und dem umgebenden Erdreich in der Grösse von 20...250 mV und konstante Gleichströme im Bleimantel von 10...70 mA, in einem Falle sogar bis 190 mA, gemessen worden.

Die galvanischen Elemente werden im feuchten Boden als Elektrolyt aus dem Bleimantel und dem Zoreisenkanal oder den Kupfererdplatten als Elektroden gebildet. In einigen Fällen wurde als Ursache einwandfrei die Elementbildung Kupfer/Blei nachgewiesen, wobei das Blei als unedleres Metall in Lösung geht. Der Stromkreis war durch die metallische Verbindung des Bleimantels mit der Erdplatte geschlossen. Nach Auftrennung dieser Verbindung hörte der Stromfluss auf. Die Korrosionsgefahr scheint vermindert zu sein. In zwei Fällen, wo die betreffenden Kabel in rascher Folge mehrere Manteldurchbrüche hatten, sind seit der Trennung im Jahre 1945 keine Fehler mehr aufgetreten.

Umstritten ist die Wirkung der Elementbildung Blei/Zoreisen. Selbstverständlich wird auch zwischen diesen beiden Metallen eine Elementspannung entstehen. Im allgemeinen ist aber oxydiertes Blei im äusseren Stromkreis positiv gegen das Eisen, das heisst, im Innern des Elementes muss das Eisen als unedleres Metall in Lösung gehen. Im allgemeinen findet man an solchen Stellen auch verrostete Eisenkanäle, was als Beweis für diese These dienen kann.

In stark alkalischen Böden, wo der pH-Wert (Wasserstoffionenkonzentration) grösser als 8 wird, sind die Verhältnisse umgekehrt, das heisst, das Eisen wird passiviert.

Lokalelemente können zum Beispiel zwischen Blei und Bleioxyd oder Eisen und Eisenoxyd entstehen. Ob auch dabei der bekannte, für die Elektrolyse typische Lochfrass entsteht, wissen wir noch nicht. Die Forschungs- und Versuchsanstalt PTT wird die Probleme der Elementbildung noch weiter untersuchen.

Als *Ermüdungsbrüche* haben wir im gesamten 187 Fälle gewertet. Davon entfallen 110 auf sogenannte Luftkabel und 77 auf Erdkabel. Die Schadenzahl an Luftkabeln wird jährlich kleiner, während diejenige

Nous avons considéré au total 187 cas comme étant des ruptures *dues à la fatigue*. 110 de ces cas concernent des câbles aériens et 77 des câbles souterrains. Le nombre des dommages aux câbles aériens diminue chaque année, tandis que celui des câbles souterrains augmente constamment, ce qui se comprend sans autre, les installations de câbles aériens n'étant plus établies que passagèrement pour être remplacées petit à petit par des câbles souterrains.

Les ruptures de gaines de plomb de câbles souterrains dues à la fatigue se produisent notamment aux câbles conduits sur des ponts et, dans des cas isolés, aussi dans les chambres souterraines de canalisations en tuyaux ensuite des trépidations engendrées par le trafic routier. Trois cas ont été provoqués du fait de la dilatation et du rétrécissement alternatifs du matériel par l'échauffement le jour, suivi de la chute de température la nuit.

5. Durée d'âge moyenne des gaines de câbles

Il pourrait être intéressant de connaître, sur la base de toutes nos observations, le temps qu'il faut

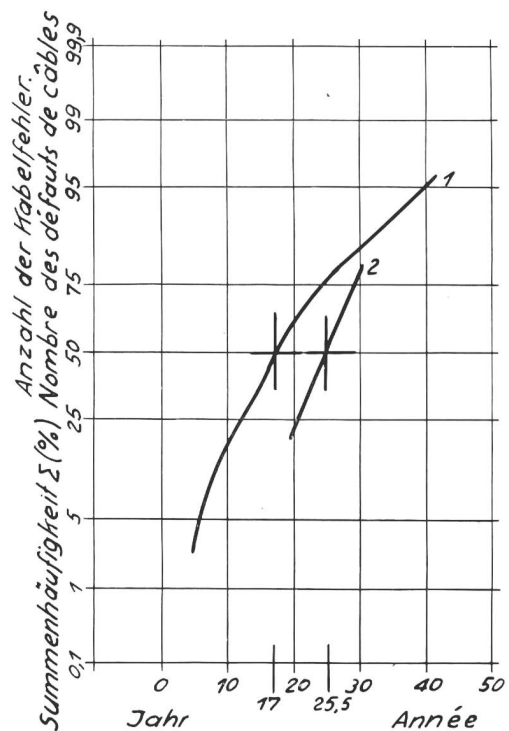


Fig. 27. Bodenkorrosion

Corrosions dues au sol

1 = Bleimanteldicke 2 mm

Epaisseur de la gaine de plomb 2 mm

2 = Bleimanteldicke 2,5...3 mm

Epaisseur de la gaine de plomb 2,5 à 3 mm

dans la pratique jusqu'à ce qu'une gaine de câble soit détériorée par la corrosion.

Nous avons, par conséquent, déterminé pour chaque genre de corrosion la durée d'âge moyenne des gaines en établissant des courbes de pourcentages, dans lesquelles l'ordonnée indique le pour-cent des défauts de câbles et l'abscisse le nombre d'années cor-

an Erdkabeln steigt. Die erste Feststellung wird verständlich dadurch, dass die Luftkabelanlagen in unserer Verwaltung nur noch Notbehelf sind und nach und nach durch Erdkabel ersetzt werden. Die Ermüdungsbrüche an Erdkabeln entstehen hauptsächlich an über Brücken geführten Kabeln, vereinzelt auch in Rohrleitungsschächten als Folge der Erschütterungen durch den Strassenverkehr. Drei Fälle sind auf den Einfluss der Materialdehnung und -schrumpfung durch die Sonnenbestrahlung und die nächtliche Abkühlung zurückzuführen.

5. Die mittlere Lebensdauer der Kabelmäntel

Nach allen diesen Beobachtungen dürfte es interessieren, wie lange es unter praktischen Verhältnissen dauert, bis ein Kabelmantel durch Korrosion zerstört wird. Wir haben deshalb für die einzelnen Korrosionsarten die mittlere Lebensdauer unter Bildung der Summenhäufigkeitskurven bestimmt. In den Figuren 27...31 sind einige dieser Kurven dargestellt. Aus ihnen kann die mittlere, minimale oder maximale Zeit, die es gebraucht hat, bis ein Bleimantel durchfressen war, entnommen werden. Die interessantesten Resultate sind nachstehend tabellarisch dargestellt.

respondant. Les figures 27 à 31 représentent quelques courbes de ce genre. On y voit le temps moyen, le temps minimum ou le temps maximum qu'il a fallu pour qu'une gaine de plomb soit percée par l'effet de la corrosion.

Nous avons obtenu les résultats intéressants indiqués au tableau II.

Ces chiffres ont une valeur purement pratique. Ils renseignent sur les circonstances dont on doit tenir compte dans l'exploitation des câbles. Les valeurs diffèrent beaucoup les unes des autres, ce qui provient des conditions du sol plus ou moins favorables aux attaques corrosives. Nous ne pouvons dire si un câble a continuellement été exposé à l'humidité dès le moment de sa pose ou si les courants vagabonds ont toujours existé et quelle était leur intensité.

C'est la corrosion par les phénols qui parvient le plus rapidement à percer la gaine des câbles. D'autre part, la durée moyenne d'âge des gaines de câbles attaquées par l'électrolyse provoquée par des courants étrangers est plus grande que lorsque l'attaque est due à l'électrolyse engendrée par la formation d'éléments. Ceci provient certainement du fait que, dans le premier cas, le courant est en général intermittent et change parfois même de polarité, tandis que, dans

Tabelle II

Tableau II

Korrosionsart — Genre de corrosion	Bleimanteldicke 2 mm Épaisseur de la gaine de plomb 2 mm				Bleimanteldicke 2,5...3 mm Épaisseur de la gaine de plomb 2,5 à 3 mm			
	Zahl der auswertbaren Fehlermeldungen Nombre des rapports de défauts de câbles	Lebensdauer Durée d'âge			Zahl der auswertbaren Fehlermeldungen Nombre des rapports de défauts de câbles	Lebensdauer Durée d'âge		
		min. Jahre min. années	mittel Jahre moy. années	max. Jahre max. années		min. Jahre min. années	mittel Jahre moy. années	max. Jahre max. années
Korrosion durch Baumaterialien Corrosion par les matériaux de construction	10	9	20	23	—	—	—	—
Bodenkorrosion Corrosion due à la constitution du sol	44	5	17	42	5	20	25,5	31
Korrosion durch bodenfremde Stoffe Corrosion par les substances étrangères au sol	107	4	14	31	2	—	—	—
Phenolkorrosion Corrosion sous l'effet de phénol	169	4	13,5	35	18	9	22	35
Fremdstromelektrolyse Electrolyse par des courants étrangers	116	5	26,5	44	11	6	29	41
Electrolyse durch Elementbildung Electrolyse par la formation d'éléments	63	7	22,5	37	—	—	—	—
Ermüdungsbrüche an Erdkabeln Ruptures de gaines de câbles sout. dues à la fatigue	73	2	14	44	—	—	—	—
Ermüdungsbrüche an Luftkabeln Ruptures de gaines de câbles aériens dues à la fatigue	107	2	7	15	—	—	—	—

Diese Zahlen haben rein praktische Bedeutung. Sie geben Aufschluss über die Verhältnisse, mit denen in der Praxis gerechnet werden muss. Die Streuung der Werte ist sehr gross. Sie ist auf die im Erdboden wechselnden Bedingungen für einen korrosiven Angriff zurückzuführen. Wir wissen nicht, ob ein Kabel seit seiner Verlegung dauernd der Feuchtigkeit ausgesetzt war, oder ob die vagabundierenden Ströme immer vorhanden waren und in welcher Stärke sie wirkten.

le second cas, le courant relativement faible et de polarité constante arrive plus rapidement à percer la gaine.

6. Résumé

Le nombre progressif des dommages causés aux câbles téléphoniques par la corrosion s'explique par le développement continu du réseau des câbles et surtout par le vieillissement des installations. L'em-

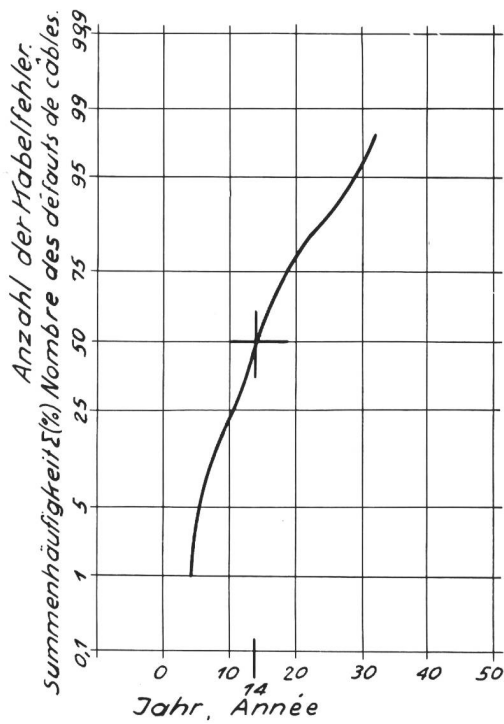


Fig. 28. Korrosion durch bodenfremde Stoffe
Corrosion par des matières étrangères au sol
Bleimanteldicke 2 mm
Épaisseur de la gaine de plomb 2 mm

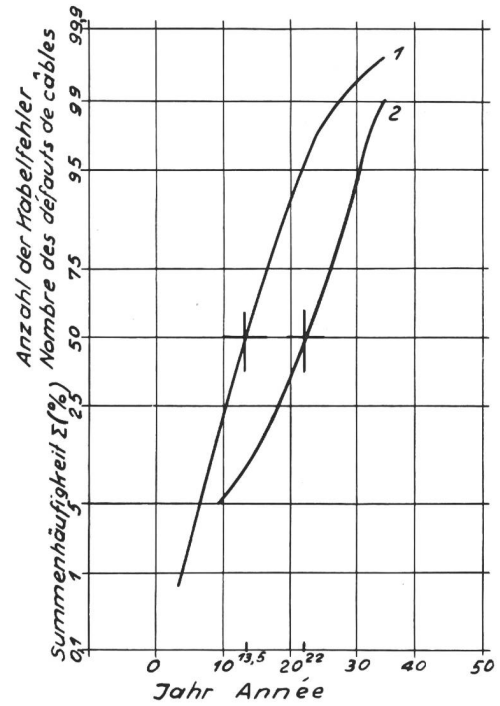


Fig. 29. Phenolkorrosion
Corrosion due au phénol
1 = Bleimanteldicke 2 mm
Épaisseur de la gaine de plomb 2 mm
2 = Bleimanteldicke 2,5...3 mm
Épaisseur de la gaine de plomb 2,5 à 3 mm

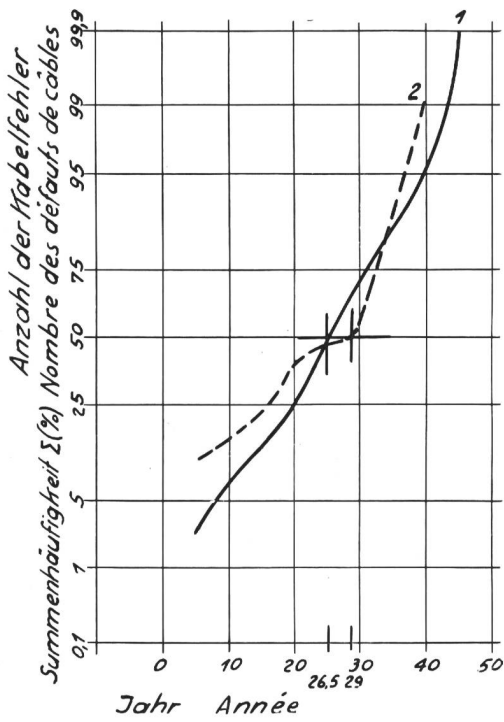


Fig. 30. Elektrolytische Korrosion durch Fremdströme
Corrosion électrolytique due à des courants étrangers
1 = Bleimanteldicke 2 mm
Épaisseur de la gaine de plomb 2 mm
2 = Bleimanteldicke 2,5...3 mm
Épaisseur de la gaine de plomb 2,5 à 3 mm

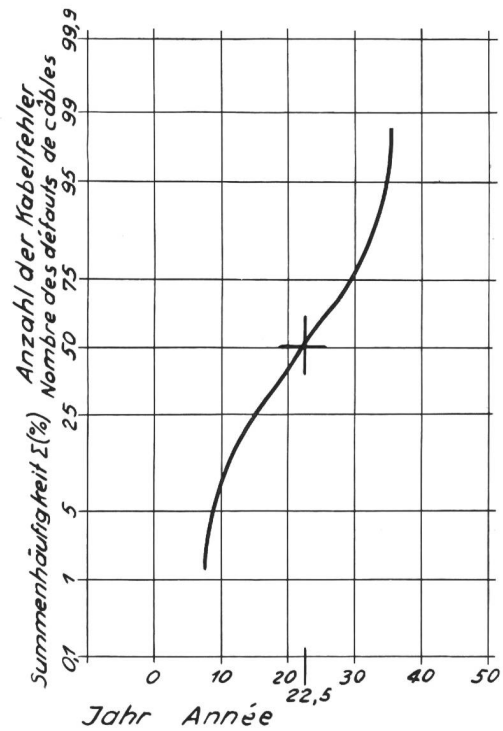


Fig. 31. Elektrolytische Korrosion durch Elementbildung
Corrosion électrolytique par la formation d'éléments
Bleimanteldicke 2 mm
Épaisseur de la gaine de plomb 2 mm

Am schnellsten führen die Phenolkorrosionen zum Durchbruch des Mantels. Interessant mag ferner erscheinen, dass die mittlere Lebensdauer der Kabelmäntel bei Angriffen durch Fremdstromelektrolysen grösser ist als bei Elektrolyse durch Elementbildung. Dies ist offenbar die Folge des im allgemeinen intermittierenden Stromflusses, unter Umständen auch mit umgekehrtem Vorzeichen bei den ersteren, während bei den letzteren der dauernde, gleichgerichtete Fluss eines verhältnismässig kleinen Stromes rascher zum Durchbruch führt.

6. Zusammenfassung

Die starke Zunahme der Korrosionsschäden an Telephonkabeln ist einerseits auf die Vergrösserung des Kabelnetzes und andererseits besonders auf die Alterung der Anlagen zurückzuführen. Nachteilig wirkt sich die frühere Verwendung von Gasteer zur Imprägnierung der Kabelumhüllungen aus.

Die Bodenart in der direkten Umgebung der Fehlerstellen hatte bei der in unserer Verwaltung bisher gebräuchlichen Verlegung der Kabel in Zoreisenkanäle keinen grossen Einfluss, weil das Kabel ja nicht direkt mit dem Boden in Berührung kommt. Sehr starke Korrosionen sind sowohl im Lehmboden, in Mergelfels als auch in ausgesprochenem Kiesboden aufgetreten. Schlimmer ist, dass in die Zoreisenkanäle Wasser und Schlamm leicht eintreten können und diese unter Umständen von weither zur Fehlerstelle zugeschwemmt werden. Schlamm und Wasser bleiben an der tiefsten Stelle im Kanale lange liegen, wo denn auch meistens die Angriffstellen zu finden sind. Gefährlich ist vor allem die wechselnde Belüftung. Dauernd im Wasser liegende Kabel korrodieren selten. Unsere Aufzeichnungen geben keinen einzigen Korrosionsschaden an unseren verschiedenen Seekabeln oder an Kabeln, die in der Nähe der Seen dauernd im Grundwasser liegen, an.

Zoreisenkanäle sind also in bezug auf den Korrosionsschutz der Kabel ungünstig. Die Telegraphen- und Telephonverwaltung wird sich entscheiden müssen, ob sie im Sinne der Korrosionsbekämpfung in Zukunft eine andere Verlegungsart, zum Beispiel kleine Zementrohrkanäle oder dergleichen, wählen will. Dies ist aber ausser einer technischen weitgehend eine wirtschaftliche Frage. Die Verlegung der Kabel in Zoreisenkanäle gewährleistet uns heute eine gute Erdung unserer Anlagen und sicher einen nicht zu vernachlässigenden Schutz gegen die induktiven Beeinflussungen durch benachbarte Starkstromleitungen. Die einfache und praktische Verlegungsart der Kabel müsste verlassen und durch den teureren Bau von Rohrkanälen und den damit verbundenen Kabeleinzug ersetzt werden. Ob sich eine solche Lösung rechtfertigt, müssen Vergleichsberechnungen zeigen.

Die wirklichen Ursachen von Korrosionsschäden sind oft ausserordentlich schwer festzustellen, weil sich die Verhältnisse vielleicht längst verändert haben, bis sich die Schäden bemerkbar machen. Aus-

ploi de goudron de gaz pour l'imprégnation des enveloppes de câbles s'est révélé préjudiciable.

La nature du sol dans les environs immédiats des points de défauts n'a pas une grande influence lorsque les câbles sont posés dans des caniveaux zorès, car le câble n'est pas en contact direct avec le sol. Des cas de corrosion très prononcés se sont produits dans des sols argileux, le roc marneux, comme aussi dans des terrains essentiellement graveleux. Ce qui est plus grave, c'est que l'eau et le limon peuvent facilement s'infiltrer dans les caniveaux zorès, et qu'ils sont souvent charriés de très loin. Le limon et l'eau restent longtemps au point le plus bas du canal. C'est le plus souvent en ces endroits que les câbles sont attaqués. L'aération alternative est surtout dangereuse. Les câbles qui sont constamment dans l'eau sont rarement attaqués par la corrosion. La statistique n'indique aucun cas de corrosion qui se serait produit aux câbles lacustres ou aux câbles se trouvant en permanence dans les eaux de fond à proximité des lacs.

Les caniveaux en fers zorès ne protègent donc pas les câbles contre la corrosion. L'Administration des télégraphes et des téléphones devra se décider si elle veut adopter dorénavant, pour lutter efficacement contre la corrosion, un autre mode de pose de câble, en employant par exemple des tuyaux de ciment de petites dimensions ou d'autres caniveaux de genre semblable. Mais il s'agit, le cas échéant, non seulement d'une question technique, mais spécialement aussi d'une question économique.

La pose de câbles dans des caniveaux en fers zorès assure une bonne mise à la terre de nos installations et, sans nul doute, aussi une protection efficace contre les influences inductives de conduites à fort courant du voisinage.

Le mode de pose actuel des câbles, simple et pratique, devrait être abandonné et remplacé par la construction plus coûteuse de canalisations en tuyaux et le tirage des câbles dans ces tuyaux. Des calculs comparatifs montreront si une solution dans ce sens se justifie.

Il est souvent extrêmement difficile de déterminer les véritables causes des dommages provenant de la corrosion, parce que les circonstances se sont probablement modifiées depuis longtemps lorsque les dommages apparaissent. En outre, les courants vagabonds éventuels peuvent être sensiblement influencés par le creusage des fouilles aux lieux des défauts.

L'accroissement du nombre des dommages dus à la corrosion et l'importante valeur que représentent les installations de câbles justifient la poursuite des recherches intenses dans le domaine de la corrosion. Notre Laboratoire de recherches et d'essais voue une attention particulière à ce domaine. Entre autres choses, il est prévu de mettre au clair les questions relatives à la formation d'éléments et d'effectuer des recherches sur l'état du sol. On continuera aussi à soumettre de nombreux cas de câbles détériorés par la

serdem werden allfällig fließende Streuströme durch die Aufgrabungen an den Fehlerstellen empfindlich beeinflusst.

Die Zunahme der Korrosionsschäden und der sehr hohe Wert der Kabelanlagen rechtfertigen eine zielbewusste, intensive Korrosionsforschung. Unsere Forschungs- und Versuchsanstalt widmet sich weitgehend diesem Gebiete. Es ist unter anderem vorgesehen, die Fragen der Elementbildung näher abzuklären und Bodenuntersuchungen auszuführen. Daneben müssen aber, wie bisher, noch eine Menge Prüfungen an korrodierten Kabeln vorgenommen werden, denn die Verhältnisse sind in jedem Falle vom anderen etwas verschieden. Für die Durchführung der Untersuchungen benötigen wir aber von unseren Amtsstellen unbedingt genaue und lückenlose Angaben über die Beobachtungen an den Fehlerstellen.

Im weiteren sind verschiedene Versuche über mögliche Schutzmassnahmen vorgesehen, so zum Beispiel isolierende Mantelüberzüge aus Soflex und Polyäthylen, gerichtete elektrische Drainage, künstlich durch Anlegen negativer Spannung kathodisch gehaltene Bleimäntel. Voraussichtlich werden auch die direkt im Erdboden verlegten bandarmierten Kabel weniger korrosionsanfällig sein als die in Zoreskanälen liegenden Kabel, weil die Feuchtigkeit nicht künstlich zurückgehalten wird und der Luftzutritt erschwert ist.

7. Schutzmassnahmen

Alles Irdische ist dem Zerfall geweiht. Einen absoluten Schutz gegen Korrosion gibt es nicht. Man kann nur durch geeignete Massnahmen die Lebensdauer der Kabel verlängern.

Gestützt auf die heutigen Erkenntnisse empfehlen wir:

1. Möglichste Vermeidung von Kalk-, Moor- und Lehmböden und Schuttablagerungsplätzen, die Nähe von Miststöcken und Jauchegruben sowie das Unterkreuzen von Abwasserleitungen.
2. Möglichste Verhinderung des Zutrittes von Feuchtigkeit, Sauerstoff, Kohlensäure und Leuchtgas.
3. Zum Schutz gegen elektrolytische Korrosionen sind folgende Massnahmen zu treffen.
 - a) In erster Linie ist das Entstehen von vagabundierenden Strömen auf ein Minimum zu beschränken. Bei Bahnanlagen wird dies erreicht durch elektrisch gut leitende Schienenverbindungen und durch vermehrte, richtig verteilte Speisestationen.
 - b) Vermindern des vom Kabel geführten Streustromes durch den Einbau von sogenannten Isoliermuffen. Dadurch wird der Kabelmantel elektrisch unterteilt. Der Schutz gegen induktive Beeinflussungen wird vermindert. Diese Massnahme darf nur dann angewendet werden, wenn dadurch keine Erhöhung der Geräuschspannungen in den Telephonstromkreisen zu erwarten ist.

corrosion à une étude approfondie, car les circonstances varient toujours quelque peu d'un cas à l'autre. Ceci exige toutefois que des indications exactes et complètes nous soient données par nos Offices au sujet de leurs observations faites sur les lieux des dérangements.

D'autre part, il est prévu de procéder à différents essais sur la possibilité de réaliser des mesures de protection, comme par exemple celles consistant à recouvrir la gaine de plomb d'une enveloppe isolante en soflex ou en polyéthylène, à établir des drainages électriques ou à appliquer une tension négative à la gaine de plomb pour qu'elle soit toujours cathode.

Il est à prévoir que les câbles armés de feuillard et posés directement dans le sol seront moins sujets à être attaqués par la corrosion que les câbles posés dans des fers zorès, vu que l'humidité n'est pas retenue artificiellement et que l'air n'y arrive que difficilement.

7. Mesures de protection

Tout, dans ce monde, finit par se désagréger. Il n'existe aucune protection absolue contre la corrosion. On peut uniquement prolonger la durée d'une chose par des mesures appropriées.

Jusqu'à nouvel avis, nous recommandons d'appliquer les mesures suivantes:

- 1° Eviter autant que possible les sols calcaires, tourbeux et argileux, les dépôts de décombres, la proximité de fumiers et de fosses à purin, ainsi que le croisement de conduites d'égouts.
 - 2° Empêcher dans la mesure du possible que l'humidité, l'oxygène, l'acide carbonique et le gaz d'éclairage n'aient accès aux câbles.
 - 3° Pour protéger les installations de câbles contre la corrosion électrolytique, on réalisera les mesures suivantes:
 - a) En premier lieu, on doit chercher à réduire au minimum l'engendrement de courants vagabonds. Dans les installations de chemins de fer, on atteint ce but par des connexions bonnes conductrices entre les rails et par l'augmentation du nombre des postes d'alimentation et leur répartition bien comprise.
 - b) On insérera dans les installations de câbles des manchons isolants pour réduire l'intensité des courants vagabonds qu'elles conduisent. Par cette mesure, on sectionne électriquement la gaine de plomb, ce qui diminue la protection contre les influences inductives. On n'aura recours à ce procédé que si l'on ne doit pas craindre que les tensions perturbatrices ne s'accroissent.
 - c) On établira des drainages électriques entre les gaines de plomb et le point de potentiel le plus bas des rails. En ce faisant, on cherche à obtenir que le câble soit constamment négatif par rapport au sol environnant.
- Avant d'installer des manchons isolants ou d'établir des drainages électriques, il est indis-

- c) Einbau einer elektrischen Drainage zwischen dem Kabelmantel und dem Punkt des tiefsten Potentials der Geleiseanlage. Man sucht damit zu erreichen, dass das Kabel dauernd negativ gegen das umgebende Erdreich wird. Vorgängig dem Einbau von Isoliermuffen oder Drainageeinrichtungen sind genaue Untersuchungen der Streustromverhältnisse unerlässlich.
- d) Die elektrische Verbindung der Eisendrahtarmatur oder des Zoreisenkanals mit dem Bleimantel. Durch Fremdströme wird dann in erster Linie das aussen liegende Eisen angegriffen. Im Falle einer Elementbildung zwischen Zoreisenkanal und Bleimantel wird die Stromaustrittsstelle durch diese Verbindung kurzgeschlossen. Ob dabei die chemische Zersetzung im «Element» durch den grösseren Stromfluss aktiviert wird, ist noch abzuklären.
- e) Die Erdung des Kabelbleimantels mit Kupfererdelektroden ist wegen der Gefahr der Elementbildung zu vermeiden. An Stelle des Kupfers soll besser Blei oder ein unedleres Metall, zum Beispiel Eisen, gewählt werden.

V. 1. Beschädigung der Kabel durch Blitzschläge

a) Statistik

In den Jahren von 1927...1946 wurden uns von den Amtsstellen total 302 Kabelschäden, verursacht durch Blitzschläge, zur Kenntnis gebracht, die sich wie folgt verteilen:

Art des Schadens	Zahl der Schäden
Bleimanteldefekte	45 = 15 %
Reine Erdschlüsse der Adern ohne Bleimanteldefekt	15 = 5 %
Ausschliesslich Aderunterbrüche	62 = 20,4%
Kurzschlüsse a-b Draht	52 = 17,2%
Verwicklungen mit Adern verschiedener Paare im gleichen Kabel	104 = 34,4%
Mangels Angaben nicht auswertbare Fälle	24 = 8 %

In 295 Schadenfällen = 98% ist die Überspannung über die an das Kabel angeschlossene Freileitung zugeführt worden. Direkte Blitzeinschläge mit Zersplitterung der Stangen oder durchgeschmolzenen Freileitungsdrähten sind nur vereinzelt vorgekommen. Die Schäden sind fast durchwegs als die Folge der Induktionswirkung benachbarter Blitzeinschläge zu betrachten. In nur 7 Fällen ist der Einschlag direkt in den Kabelmantel erfolgt. Davon sind 4 als Überschläge von den dem Kabel benachbarten Kirsch- oder Nussbaumwurzeln und 2 als Überschläge von benachbarten eisernen Fahrleitungsmasten der Schweiz. Bundesbahnen bezeichnet worden. In einem einzigen Falle ist das alte Telegraphenkabel nach dem Observatorium auf dem Säntis durch einen direkten Blitzeinschlag an einer Stelle, wo das Kabel im ausgeschwemmten Graben blank an der Oberfläche lag, beschädigt worden.

pensable de procéder à des recherches minutieuses sur la présence de courants vagabonds.

- d) Des connexions électriques seront prévues entre l'armure en fils de fer des câbles ou le caniveau zorès et la gaine de plomb. Ce sont, dans ce cas, les parties de fer extérieures qui sont d'abord attaquées par les courants étrangers. En cas de formation d'un élément entre le caniveau zorès et la gaine de plomb, le point de sortie du courant est court-circuité par la connexion électrique. On devra encore se rendre compte si, de ce fait, on active la décomposition chimique dans «l'élément» par le courant de plus grande intensité qui pourrait éventuellement en résulter.
- e) On évitera de relier les gaines de plomb des câbles à des électrodes de cuivre. En lieu et place du cuivre, on choisira du plomb ou un métal moins précieux, comme par exemple du fer.

V. 1. Endommagement des câbles par des coups de foudre

a) Statistique

Dans les années de 1927 à 1946, nos Offices nous ont signalé 302 dommages causés aux câbles par des coups de foudre, soit

Gainnes de plomb défectueuses	45 = 15 %
Mises à la terre des conducteurs sans endommagement de la gaine de plomb	15 = 5 %
Interruptions exclusives de conducteurs	62 = 20,4%
Courts-circuits entre les fils a et b	52 = 17,2%
Mélanges entre conducteurs de différentes paires dans le même câble	104 = 34,4%
Cas non définis faute d'indications	24 = 8 %

Pour 295 endommagements ou dans le 98% de tous les cas, la surtension venait de la ligne aérienne raccordée au câble. Des coups de foudre directs faisant voler en éclats les poteaux ou fondant les fils aériens furent rares. Nous estimons, par contre, que presque tous les endommagements étaient dus aux effets d'induction de la foudre tombée dans les environs immédiats. Dans sept cas seulement, la foudre atteignit directement le câble. De ces sept cas, quatre furent considérés comme décharges provenant de racines de cerisiers ou de noyers et deux comme décharges depuis les pylônes en fer des lignes de contact des chemins de fer fédéraux. Dans un seul cas, la foudre endommagea directement un câble, soit le vieux câble télégraphique de l'Observatoire du Säntis à un endroit où il se trouvait à nu à la surface d'un fossé délavé.

D'après les 278 rapports donnant des indications utiles, 53,6% de tous les dommages se sont produits sur une distance jusqu'à 5 m du point de transition de la ligne aérienne, 20,8% des dommages entre 5 et 20 m de ce point et 25,6% au delà de 20 m de l'extrémité du câble.



Fig. 32. Örtliche Verteilung der Kabelschäden, verursacht durch Blitzschläge — Répartition locale des endommagements dus à la foudre

Nach den 278 auswertbaren Meldungen sind 53,6% aller Schäden in den ersten 5 m des Kabels nach dem Übergang von der Freileitung auf das Kabel festgestellt worden. 20,8% der Schäden sind innerhalb der ersten 5...20 m und 25,6% weiter als in 20 m Entfernung vom Kabelende aufgetreten.

Die örtliche Verteilung der Blitzschlagschäden im schweizerischen Telephonkabelnetz ist in Figur 32 festgehalten. Genau 50% der Schäden sind im Kanton Tessin aufgetreten, wo die engeren Gebiete von Bellinzona, Locarno, Cavigliano, Locco, Mesocco, Olivone, Lugano, Capo Lago und Bruzella besonders auffallen. Die weiteren 50% der Schäden verteilen sich nahezu gleichmässig auf den übrigen Teil der Schweiz, wobei im Wallis sowie in den Kantonen Genf und Freiburg nur je ein Blitzschlagschaden verzeichnet wurde. Die grosse Häufigkeit der Gewitter im Tessin ist vielleicht darauf zurückzuführen, dass sich die vom Mittelmeer herkommenden elektrisch geladenen Wolken in dem nach Süden offenen Tal sammeln und dort entladen. Für die anderen Gebiete der Schweiz bilden die Alpenkette und der Jura gewissermassen einen Schirm.

b) Nähere Beschreibung der Schäden

Die festgestellten Bleimanteldefekte sind ausnahmslos an Kabeln aufgetreten, die vor dem Jahre 1934 ausgelegt wurden. Es ist dies offenbar auf die damals übliche Montageart der Kabelüberführungspunkte zurückzuführen.

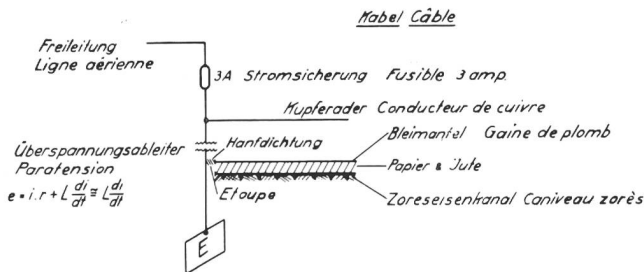


Fig. 33. Schema der Überspannungsschutzeinrichtung bei Kabelüberführungen
Schéma du dispositif de paratension aux points de transition

Der Bleimantel des Kabels wurde bei der Einführung in den Sicherungskasten in der Stopfbüchse durch eine Handdichtung von der Erdung der Überspannungsableiter isoliert. Ebenso ist der Bleimantel durch die äusseren imprägnierten Papierbänder und die Juteummwicklung gewissermassen vom Zoreisenkanal isoliert, weil jede metallische Verbindung fehlte. Bei der Ableitung einer Überspannungswelle hat dann die am Erddraht auftretende Spannung $e = L \cdot \frac{di}{dt}$ Volt zum Durchschlag der für 2000 V bemessenen Isolation zwischen Kupferader und Bleimantel einerseits und zwischen Bleimantel und Zoreisenkanal andererseits geführt. Der dabei entstehende Lichtbogen schmilzt im Bleimantel ein Loch in der

La répartition locale des endommagements dus à la foudre sur le réseau des câbles téléphoniques suisses est représentée à la figure 32. Exactement 50% des endommagements ont eu lieu dans le canton du Tessin, spécialement dans les régions de Bellinzone, Locarno, Cavigliano, Locco, Mesocco, Olivone, Lugano, Capo Lago et Bruzella. Les autres 50% des dommages se répartissent assez régulièrement sur le reste du territoire suisse, les cantons du Valais, de Genève, et de Fribourg n'accusant chacun qu'un seul endommagement par la foudre. La grande fréquence des orages dans le Tessin est peut-être due au fait que les nuages chargés d'électricité venant de la Méditerranée s'accroissent dans la vallée ouverte au sud du canton, où ils se déchargent. Pour les autres régions de la Suisse, la chaîne des Alpes et le Jura forment pour ainsi dire un écran.

b) Description détaillée des dommages

Les défauts constatés aux gaines de plomb se sont produits sans exception sur des câbles posés avant l'année 1934. Ce fait est certainement imputable au genre de montage des constructions de transition de cette époque.

Au point d'introduction du câble dans l'armoire à protections, la gaine de plomb était isolée de la conduite de terre du paratension par le chanvre du presse-étoupe. La gaine de plomb était en quelque sorte également isolée du caniveau zorès par les papiers extérieurs et l'enveloppe de jute, une connexion métallique faisant ainsi défaut. Lors de la dérivation d'un flux de surtension, la tension

$$e = L \cdot \frac{di}{dt} \text{ volts apparaissant au fil de terre perfore}$$

l'isolation, calculée pour 2000 volts, entre le conducteur de cuivre et la gaine de plomb, d'une part, et entre la gaine de plomb et le canal zorès, d'autre part. L'arc voltaïque qui en résulte fond dans la gaine de plomb un trou d'un diamètre de 3 à 10 mm. On comprend facilement que l'isolation du câble puisse être perforée, si l'on se représente qu'un fil tendu d'une longueur d'un mètre accuse une inductivité d'environ $0,6 \mu\text{Hy}$ et que le courant d'un coup de foudre peut atteindre quelques mille ampères pendant quelques microsecondes. Si nous admettons par exemple une pointe de courant de 10 000 ampères pendant une $\mu\text{sec.}$, il en résulte une chute de tension de $0,6 \times 10^{-6} \cdot \frac{10\,000}{1 \times 10^{-6}} = 6000$ volts par mètre de fil de terre.

Les bords à arêtes vives des trous fondus en un temps très court et semblables à ceux d'un trou estampé sont un indice caractéristique de leur cause. Il arrive même que le plomb fondu soit chassé entre la gaine de plomb et le faisceau des conducteurs, comme on le voit à la figure 34.

Depuis l'année 1934, on emploie en vue de réaliser une étanchéité parfaite dans le presse-étoupe, soit au point d'introduction du câble dans l'armoire

Grösse von ungefähr 3...10 mm Durchmesser aus. Der Durchschlag der Kabelisolation wird leicht erklärlich, wenn man beachtet, dass ein gestreckter Draht von 1 m Länge eine Induktivität von ungefähr $0,6 \mu\text{Hy}$ hat und dass Blitzströme die Grösse von einigen tausend Ampère während wenigen Mikrosekunden erreichen können. Wenn wir zum Beispiel einen Stossstrom von 10 000 Ampère während $1 \mu\text{sec}$ annehmen, so entsteht je Meter Erddraht ein Spannungsabfall

$$\text{von } 0,6 \times 10^{-6} \cdot \frac{10\,000}{1 \times 10^{-6}} = 6000 \text{ Volt.}$$

Als charakteristisches Merkmal dieser in sehr kurzer Zeit ausgeschmolzenen Löcher sind scharfe, wie gestanzte Ränder zu sehen. Oft findet man, dass das geschmolzene Blei zwischen den Bleimantel und das Aderbündel eingetrieben wurde. Figur 34 zeigt das Bild eines solchen Schadens.

Seit dem Jahre 1934 wird bei der Einführung des Kabels in den Sicherungskasten für die Dichtung in der Stopfbüchse ein auf dem Bleimantel aufgelöteter Bleiring verwendet. Dadurch wird der Bleimantel zwangsläufig zur Erdung mitbenützt und praktisch auf gleichem Potential wie der Zoresisenkanal gehalten. Zwischen Kupferräder und Bleimantel bleibt somit nur noch die einige Volt betragende Lichtbogen-Spannung am Überspannungsableiter. Das Kabel erhält dadurch einen weitgehenden Schutz. Die Praxis bestätigt dies, denn es sind an Anlagen, die nach dem Jahre 1934 erstellt wurden, keine Bleimanteldefekte mehr durch Blitzschläge entstanden.

Eine weitere Art der Blitzschlagschäden sind Aderunterbrüche und Erdschlüsse einzelner Adern. Figur 35 zeigt das Bild einer unterbrochenen Ader und eines zusammengeschmolzenen Aderpaares. Die deutlich sichtbare Schmelzperle am Draht zeigt, dass hohe Temperaturen am Lichtbogenfusspunkt auftreten müssen.

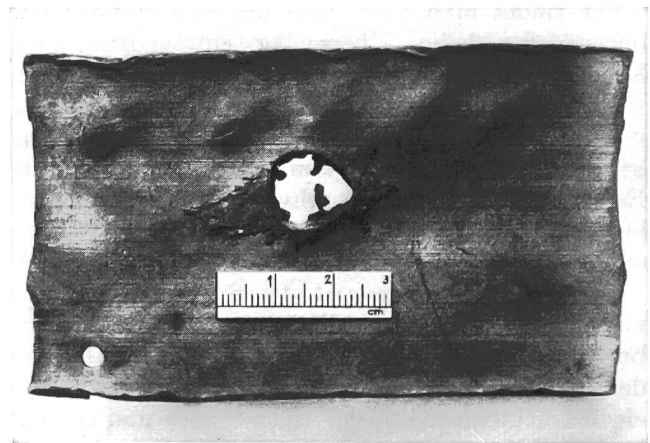


Fig. 34. Bleimanteldefekt, verursacht durch Blitzschlag
Gaine de plomb détériorée par la foudre

à protections, un anneau de plomb soudé sur la gaine de plomb du câble. La gaine de plomb a, de la sorte, fonction de conduite à la terre, et elle se trouve pratiquement au même potentiel que le caniveau zorès. Entre les conducteurs de cuivre et la gaine de plomb, il ne subsiste plus que la tension de l'arc voltaïque de quelques volts du paratension. Le câble est ainsi efficacement protégé, ce qui s'est confirmé dans la pratique, car aux installations établies après l'année 1934, aucun câble n'a plus été détérioré par la foudre.

Un autre genre de dommage consiste dans l'interruption ou la mise à terre de certains conducteurs. A la figure 35, on voit deux conducteurs interrompus et deux conducteurs soudés ensemble. La perle très distincte formant le bout du fil montre qu'au point où l'arc s'est produit, la température était considérable.

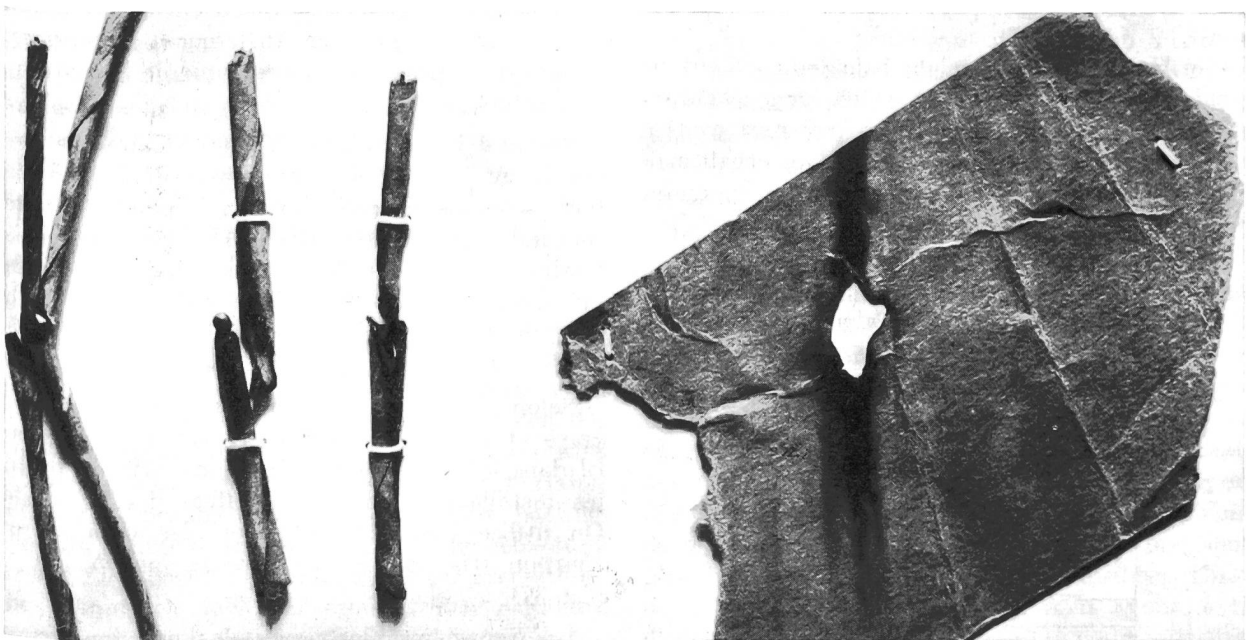


Fig. 35. Kabelschäden, verursacht durch Blitzschlag — Câbles détériorés par la foudre

Oft findet man aber, dass das Isolierpapier nur durch eine beim Überschlag entstandene feine Metallspitze durchbrochen wird, wodurch die Adern zusammengeschweisst werden. Bei der kleinsten Bewegung des Kabels wird jedoch diese Verbindung wieder unterbrochen und damit die Störung behoben. Es ist deshalb oft sehr schwer, den Fehlerort zu lokalisieren. Wie kann man sich die Entstehung solcher Schäden erklären?

Im Sicherungskasten ist die Spannungsdifferenz zwischen Kupferader und Bleimantel gleich der Lichtbogenspannung, also nur ungefähr 70 Volt. Da aber der Bleimantel als Erdelektrode dient, fließt in ihm ein beträchtlicher Teil des Blitzstromes und erzeugt längs des Mantels einen Spannungsabfall $J \times R$, während die isolierte Kupferader die Anfangsspannung beibehält. Wird nun der Spannungsabfall gleich der Durchschlagspannung der Isolation, so entsteht infolge der Spannungsdifferenz zwischen Bleimantel und Kupferader im Kabelinnern ein Lichtbogen, der die dünne Kupferader abschmilzt und im allgemeinen auch geringe Schmelzspuren am Bleimantelinnern zurücklässt. Zur Erläuterung sei erwähnt, dass der Bleimantel eines Kabels 2×2 0,0055 Ω Widerstand je Meter Länge aufweist. Fließen zum Beispiel 10 000 Ampère, so wird die Durchschlagspannung von 2000 V nach 36 m erreicht. Sind Richtungsänderungen in der Kabeltrasse, so wird der Selbstinduktionskoeffizient des Kabelmantels erhöht und dadurch die «wirksame Länge» verkürzt.

Ungefähr 30% aller Schäden durch Blitzschläge sind Durchschläge von Kabelader zu Kabelader. Die nähere Betrachtung zeigt, dass die an diese Adern angeschlossenen Freileitungen meist in verschiedenen Richtungen und womöglich noch in verschiedene Höhenlagen führen. Es treten somit zwischen diesen Freileitungen Spannungsdifferenzen auf, die grösser werden als die Durchschlagfestigkeit der Aderisolation ist.

Unter Umständen sind solche Schäden auch auf die verschiedene Ansprechzeit der Ableiter zurückzuführen; denn wenn zwei Adern gleich induziert werden und in der einen der Ableiter anspricht, so erhält man als gefährliche Spannung die Differenz der Spannungen zwischen den Adern.

c) Schutzmassnahmen

Zum Schutz gegen Überspannungen sind in den Sicherungskasten, entsprechend dem Schema nach *corps isolant en stéatite, Steatitkörper*

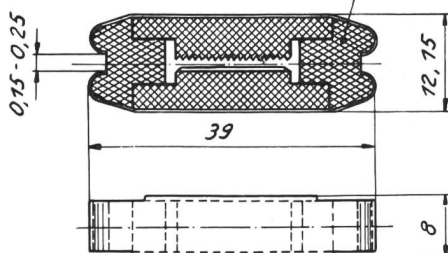


Fig. 36. Kohleblitzschutzplatte — Parafoudre à charbon

Mais il arrive aussi que le papier isolant n'est percé que par une fine pointe métallique résultant de la décharge qui soude légèrement un conducteur à l'autre. Au plus petit mouvement du câble, une connexion de ce genre est de nouveau supprimée et le dérangement disparaît ce qui, souvent, rend la localisation du défaut difficile.

Comment les défauts de ce genre se produisent-ils?

Dans l'armoire à protections, la différence de tension entre les conducteurs de cuivre et la gaine de plomb est égale à la tension de l'arc, donc seulement d'environ 70 volts. Mais vu que la gaine de plomb sert d'électrode de terre, une partie considérable du courant de la foudre la suit et produit le long de la gaine une chute de tension $J \times R$, tandis que le conducteur de cuivre isolé conserve la tension initiale. Si la chute de tension devient égale à la tension de perforation de l'isolation, il se produit du fait de la différence de tension entre la gaine et le conducteur un arc à l'intérieur du câble, qui fait fondre le mince conducteur de cuivre et laisse en général aussi de légères traces de fusion à la paroi intérieure de la gaine de plomb. A titre de renseignement, nous mentionnons que la gaine de plomb d'un câble 2×2 accuse une résistance de 0,0055 ohm par mètre de longueur. Si l'intensité du courant est, par exemple, de 10 000 ampères, la tension de perforation de 2000 volts est atteinte à une distance dépassant 36 mètres. En cas de changement de direction du tracé du câble, le coefficient de selfinduction de la gaine de plomb augmente et la «longueur efficace» se raccourcit.

Environ 30% de tous les dommages causés par des coups de foudre sont des décharges entre deux conducteurs de câble. Il résulte des recherches faites à ce sujet que les lignes aériennes reliées à ces conducteurs allaient le plus souvent dans plusieurs directions et même aussi à différentes altitudes. Ces lignes aériennes peuvent ainsi accuser des différences de tension qui dépassent la résistance diélectrique de l'isolation des conducteurs.

Suivant les circonstances, les dommages de ce genre sont aussi dus à ce que les parafoudres ne réagissent pas en même temps; car lorsque deux conducteurs sont induits de manière identique et que l'un des parafoudres réagit, la tension dangereuse pour le câble est égale à la différence des tensions entre les conducteurs.

c) Mesures de protection

Selon le schéma de la figure 2, un fusible de 3 ampères et un paratension sont branchés sur chaque fil dans les armoires à protections, afin de protéger les installations contre les effets des surtensions. On utilise comme paratension des parafoudres à charbon (fig. 36) ou des paratensions à gaz rare (fig. 37).

Les propriétés électriques des paratensions sont les suivantes:

Figur 33, je Draht eine 3-Ampère-Stromsicherung und ein Überspannungsableiter eingebaut. Als Überspannungsableiter werden sogenannte Kohleblitzplatten (Fig. 36) oder Edelgassicherungen (Fig. 37) verwendet.

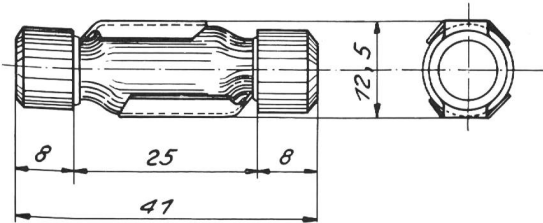


Fig. 37. Edelgasableiter
Paratension à gaz rare

Die elektrischen Eigenschaften der Ableiter sind in folgender Tabelle zusammengestellt.

Ableiterart	Ansprechspannung		Reduktion der Spannung auf Lichtbogen spannung nach μs
	bei 50 \sim Wechselfspannung	bei Stoss Steilheit ca. 1200 V/ μs	
Kohleblitzplatten	7...800 V	1200 V	1,3 μs
Edelgasableiter	250 V	1100 V	3 μs

Die Figuren 38 und 39 zeigen Oszillogramme der beiden Ableiterarten, welche bei der Stossprüfung aufgenommen wurden.

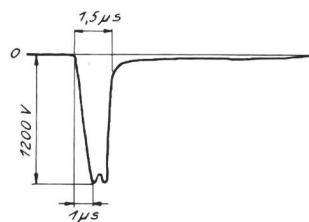
Der grosse Unterschied der Ansprechspannungen der Edelgasableiter ist auf den Entladeverzug in den Röhren mit kleinem Druck zurückzuführen. Ein Stossfaktor von 4 ist für diese nicht abnormal. Daraus geht aber hervor, dass die Edelgasableiter gegen Blitzschläge nicht besser schützen als die billigeren Kohleblitzplatten. Sie werden mit Vorteil einzig dort angewendet, wo statische Ladungen abgeleitet werden müssen, oder wo erhöhte Gefahr von Berührungen mit Niederspannungsleitungen besteht.

Mit Rücksicht auf die häufigen Durchschläge von Kabelader zu Kabelader sind wir bestrebt, Ableiter zu suchen, die bei ungefähr 250...300 V Stoßspannung möglichst gleichmässig ansprechen. Wir müssen so tiefe Werte ansetzen, weil für die Ableitung der Spannung zwischen zwei beliebigen Adern immer zwei Ableiter in Serie geschaltet sind.

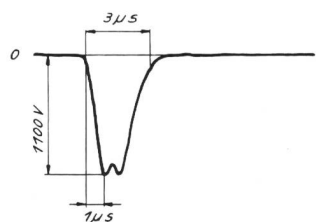
Die in Figur 33 skizzierte Schaltung gewährt den nötigen Schutz nicht einwandfrei. Im Falle eines Blitzeinschlages wird der Überspannungsableiter ansprechen und die 3-A-Stromsicherung sicher abschmelzen. Dadurch erhält man aber nicht etwa die gewünschte Trennung der Kabelader von der Freileitung, denn durch die hohe Spannung wird die Trennstrecke vom Sicherungsträger zur Haltefeder der Sicherung überschlagen. Somit hat die Kabelader während der ganzen Dauer der Ableitung über den Lichtbogen Verbindung mit der Freileitung. Daher kann sich auch der schon früher erwähnte Spannungsabfall längs des Bleimantels nachteilig auswirken. Zur Verbesserung dieser Verhältnisse

Genre de paratension	Tension d'amorçage		Réduction de la tension à celle de l'arc selon μs
	d'un courant alternatif de 50 périodes	en cas de choc, pente de courbe env. 1200 V/ μs	
Parafoudre à charbon	7 à 800 V	1200 V	1,3 μs
Paratension à gaz rare	250 V	1100 V	3 μs

Les figures 38 et 39 représentent les oscillogrammes des deux genres de paratensions, au moment du choc.



Kohleblitzplatte
Parafoudre à charbon



Edelgasableiter
Paratension à gaz rare

Fig. 38 Oszillogramme des Spannungsverlaufes an den Überspannungsableitern
Fig. 39 Oszillogrammes des décharges dans les paratensions

La grande différence qu'accusent les tensions d'amorçage des paratensions à gaz rare doit être imputée au retardement de la décharge dans des tubes à faible pression. Pour ces paratensions, un facteur de choc de 4 n'est pas anormal. Il en résulte que les paratensions à gaz rare ne protègent pas mieux les installations que les paratensions à charbon qui ont l'avantage d'être meilleur marché. On les utilise uniquement dans les cas où l'on doit dériver des charges statiques, ou lorsqu'il y a danger de contact avec des lignes à basse tension.

Etant donné les nombreux cas de décharges d'un conducteur de câble sur un autre, l'Administration des télégraphes et des téléphones cherche à obtenir des paratensions réagissant d'une façon aussi régulière que possible aux tensions de choc de 250 à 300 V. On est tenu de choisir des valeurs si basses parce que, pour la dérivation des tensions entre deux conducteurs quelconques, on intercale toujours 2 paratensions en série.

La connexion représentée à la figure 33 n'assure pas une protection absolue. En cas de coup de foudre, le paratension réagira et le fusible de 3 ampères fondra sûrement. Mais on n'obtient pas la séparation voulue entre le conducteur de câble et la ligne aérienne car, du fait de la haute tension, l'espace entre le support et le ressort-porteur du fusible est ponté par la décharge. Le conducteur de câble reste ainsi en liaison avec la ligne aérienne pendant toute la durée de la dérivation par l'arc voltaïque. C'est pourquoi la chute de tension le long de la gaine de plomb, mentionnée plus haut, peut avoir des effets nuisibles. En vue d'améliorer cet état de choses, nous avons, à titre d'essai, intercalé un parafoudre pour surtensions élevées avant le fusible, conformément à la figure 40.

haben wir versuchsweise vor die Stromsicherung eine Grobfunkenstrecke entsprechend Figur 40 eingeschaltet.

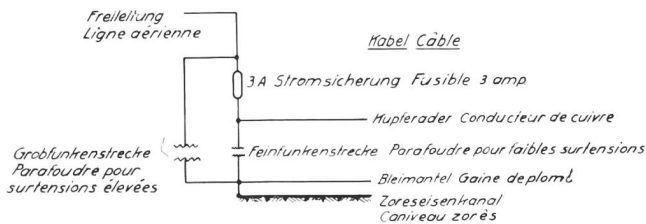


Fig. 40. Verbesserte Schutzvorrichtung für Kabelüberführungen
Dispositif protecteur perfectionné pour point de transition

In dieser Schaltung erfolgt die weitere Entladung nach dem Abschmelzen der Stromsicherung über die Grobfunkenstrecke. Die Kupferader ist abgetrennt. Ein Durchschlag gegen den Bleimantel ist damit verhindert. Die während fünf Jahren in praktischen Versuchen erhaltenen Resultate bestätigen diese Theorie.

Durch Messungen haben wir festgestellt, dass die Erdübergangswiderstände der Kabelmäntel mindestens gleich gross oder sogar kleiner sind als diejenigen von Wasserleitungen und Erdplatten, also fast durchwegs unter 2Ω liegen. Eine Parallelschaltung bringt keine wesentliche Verbesserung mehr. Wir benützen daher seit 1942 mit gutem Erfolg nur noch den Bleimantel, in Verbindung mit dem Zoreskanal oder der Armatur des Kabels, als Erdelektrode. Von Vorteil ist dabei die grosse Ausdehnung und damit die grosse Kapazität des Kabelnetzes. Sie ermöglicht, grosse Ladungen aufzunehmen, ohne dass das Potential gegenüber der Umgebung merklich steigt. Für das gute Funktionieren der Ableiter ist es ausserdem wichtig, dass die Verbindung zwischen Ableiter und Erdelektrode und zur Erde möglichst impedanzlos hergestellt wird. In vorliegendem Falle haben wir dies durch die metallische Einführung des Kabels in den Sicherungskasten weitgehend erreicht.

Es bleibt uns noch eine Erklärung dafür zu suchen, warum ungefähr 75% aller Blitzschlagschäden in den ersten 20 m des Kabels zu finden sind.

Der bereits früher erwähnte Spannungsabfall längs des Bleimantels entsteht natürlich in der Nähe der Überspannungsableiter, denn mit grösser werdender Entfernung wird der Strom im Bleimantel wegen des Übertritts nach Erde immer kleiner. Ausserdem wird eine Überspannungswelle in der Zeit bis zum Absinken der Spannung auf die Lichtbogenanspannung am Ableiter schon weit in das Kabel eindringen. Die

Fortpflanzungsgeschwindigkeit $V = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}$ einer un-

pupinisierten Kabelader beträgt ungefähr 200 000 km/sec. Wenn nun die Ansprechzeit eines Ableiters $1 \mu s$ beträgt, so dringt die Welle bereits 200 m tief ein, wobei die Durchschlagsspannung von 500 V, zwischen 2 Adern zum Beispiel, in den ersten 20 m ohne weiteres erreicht werden kann.

Dans ce genre de connexion, la décharge, après l'interruption du fusible, se continue par la voie du parafoudre pour surtensions élevées. Le conducteur du câble se trouve déconnecté; une décharge sur la gaine de plomb est ainsi évitée.

Cette théorie est confirmée par les résultats obtenus au cours d'essais pratiques s'étendant sur une période de 5 ans.

En procédant à des mesures, nous avons constaté que la résistance à la terre des gaines de plomb était au moins de même grandeur ou même plus faible que celle des conduites d'eau et de plaques de terre, donc presque toujours inférieure à 2 ohms. Une connexion en parallèle n'apporte pas d'amélioration sensible. C'est pourquoi, depuis l'année 1942, nous n'utilisons plus, comme électrode de terre, que la gaine de plomb reliée au caniveau zorès ou à l'armure du câble. Un avantage de ce système est la grande étendue et, partant, la grande capacité du réseau des câbles. Elle permet d'absorber de fortes décharges sans que le potentiel augmente sensiblement par rapport au sol avoisinant. Il importe, pour le bon fonctionnement des paratensions, que leur connexion à l'électrode de terre et à la terre puisse être établie si possible sans impédance. Dans notre cas, cette condition est réalisée dans une grande mesure par l'introduction métallique du câble dans l'armoire à protections.

Nous voulons encore chercher à expliquer pourquoi environ 75% de tous les dommages dus à la foudre se produisent dans les premiers 20 mètres du câble.

La chute de tension le long de la gaine de plomb, mentionnée plus haut, commence naturellement près du paratension; plus la distance est grande, plus le courant s'affaiblit dans la gaine de plomb du fait de son passage à la terre. En outre, une onde de surtension pénétrera déjà fort avant dans le câble dans l'espace de temps qu'il faut pour que la tension tombe à la valeur de celle de l'arc voltaïque se formant dans

le paratension. La vitesse de transmission $V = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}$

dans un conducteur de câble non pupinisé est d'environ 200 000 km/sec. Si l'amorçage d'un paratension est d'une microseconde, l'onde pénétrera déjà jusqu'à 200 m; la tension de claquage de 500 V par exemple, entre 2 conducteurs peut, de ce fait, être atteinte sans autre déjà dans les 20 premiers mètres.

L'isolation est toujours perforée au point le plus faible. C'est à son extrémité qu'un câble souffre le plus par le tirage et par son introduction dans l'armoire à protections, ce qui est certainement aussi une des causes de ce que les dommages se produisent de préférence en ces endroits.

2. Dommages causés aux câbles par les effets des courants forts

a) Statistique

Pendant les 20 années considérées, nos Offices nous ont signalé au total 58 dommages causés aux câbles par les effets d'installations à courant fort.

Ein Durchschlag der Isolation erfolgt immer an der schwächsten Stelle. Ein Kabel leidet durch den Kabelzug und die Einführung in den Sicherungskasten an den Enden am stärksten. Auch dies mag mit ein Grund dafür sein, warum die Schäden zur Hauptsache dort auftreten.

2. Kabelschäden, verursacht durch Starkstromeinflüsse

a) Statistik

Während der in Betracht stehenden zwanzig Jahre wurden uns von den Amtsstellen total 58 Kabelschäden gemeldet, die durch die Einwirkung von Starkstromanlagen verursacht wurden.

Davon entfallen

11 = 19% auf Defekte in Hochspannungsanlagen,
15 = 26% auf Defekte in Niederspannungsanlagen und
22 = 38% auf Erdschlüsse in Bahnfahrleitungen.
10 Fälle = 17% konnten infolge ungenügender Angaben in den Fehlermeldungen nicht ausgewertet werden.

Elf Schäden sind durch direkte Berührung der Telephonkabelanlagen mit Starkstromkabeln oder Schutzerdleitungen von Kraftwerken und Transformatorstationen entstanden. In vier Fällen wurden Kabelmäntel durch die Berührung von herabfallenden Hochspannungsleitern mit Telephonfreileitungen zerstört, und zwei Defekte sind auf die Induktionswirkung durch Kurzschlußströme bei langen Parallelführungen der Telephonfreileitungen mit Starkstromfreileitungen zurückzuführen.

Eine besondere Schadenart bilden jene Fälle, in denen das Kabel als Zwischenleiter für vagabundierende Erdschlußströme benachbarter Starkstromanlagen dient. Es wurden zwei solche Schäden durch Erdschlüsse in Kraftwerken, 15 Schäden durch Kurzschlüsse im 15-kV-Fahrleitungsnetz von Normalbahnen und 7 Schäden durch Erdschlüsse in Strassenbahnanlagen verursacht. Weitere 7 Bleimanteldefekte sind aufgetreten als Folge von Überschlägen an Fahrleitungsabspannisolatoren an Brückenüberführungen.

b) Beschreibung der Schäden

Die Schäden sind im allgemeinen Verbrennungen des Bleimantels, unter Umständen sogar des ganzen Kabels. Einzig in den vorerwähnten beiden Fällen, wo die Defekte durch die Induktionswirkung entstanden sind, ist der Kabelmantel unverletzt geblieben. Es wurden lediglich Aderunterbrüche festgestellt.

Die Mantelverbrennungen sind entweder an jenen Stellen aufgetreten, wo die gute leitende Verbindung des Zoresisenkanals fehlte, also beim Übergang zu den Zoresformstücken und bei Kanalunterbrechungen in Zementsteinschächten, oder dort, wo zwischen der Stark- und Schwachstromkabelanlage eine Berührung mit verhältnismässig schlechtem Kontakt bestand.

In den ersterwähnten Fällen hatte der Zoresisenkanal durch die Aufnahme vagabundierender Ströme

Sur ce nombre, 11 cas = 10% sont dus à des déficiences d'installations à haute tension, 15 cas = 26% à des déficiences d'installations à basse tension et 22 cas = 38% à des mises à terre de conduites de contact de chemins de fer. Dix cas = 17% n'ont pu être examinés de plus près pour cause d'indications insuffisantes dans les rapports de défauts.

Onze cas se sont produits par des contacts directs entre des installations de câbles téléphoniques et des câbles à fort courant ou les terres de protection d'usines électriques et de stations transformatrices. Dans 4 cas, des gaines de câbles ont été détériorées du fait du contact de conducteurs de lignes à haute tension tombés sur des lignes téléphoniques aériennes, et 2 cas sont survenus à la suite d'effets d'induction provoqués par des courants de courts-circuits dans de longs parallélismes de lignes téléphoniques aériennes avec des lignes aériennes à fort courant.

Un genre spécial de dommage fut celui où les câbles avaient servi de conducteurs intermédiaires pour les courants vagabonds d'installations à courant fort du voisinage, engendrés par des mises à terre. Deux dommages de ce genre provenaient de courts-circuits dans des usines, 15 de courts-circuits dans le réseau des lignes de contact de 15 kV des chemins de fer à voie normale, et 7 de courts-circuits dans des réseaux de tramways. Sept défauts de gaines de plomb se sont produits à la suite de décharges aux isolateurs d'arrêt placés sur des ponts.

b) Descriptions des dommages

D'une manière générale, ce genre de dommage est caractérisé par des parties de gaines de plomb fondues et même par des câbles brûlés. Uniquement dans les deux cas survenus à la suite d'effets d'induction, la gaine de plomb n'a pas subi de dommage. Seuls des conducteurs ont été interrompus.

La fusion de la gaine a eu lieu à des endroits où une connexion bonne conductrice du caniveau en fers zorès faisait défaut, donc aux points de transition avec les pièces zorès façonnées, et aux points d'interruption du canal dans les chambres en plots de ciment, ou encore là où un câble d'une installation à fort courant était en mauvais contact avec un câble téléphonique.

Dans les premiers cas mentionnés, le canal en fers zorès accusait une surtension du fait qu'il avait servi de conduite aux courants vagabonds ou qu'il était entré en contact avec une installation à fort courant, ce qui provoqua des décharges sous forme d'arc voltaïque entre le canal et le câble aux points d'interruption du canal.

Pour mieux illustrer les circonstances entrant en jeu dans de tels cas, nous mentionnerons les exemples suivants:

1° A la «Wühre», à Zurich, le service des dérangements signala en son temps l'interruption d'un câble. La localisation du défaut, qui ne put avoir lieu qu'après qu'on eut déconnecté le réseau de

oder durch die Berührung einer Starkstromkabelanlage mit gutem Kontakt erhöhte Spannung erhalten. Diese führte bei den Kanalunterbrechungen zu Lichtbogenüberschlägen zwischen Kanal und Kabel.

Zur besseren Erläuterung der Verhältnisse mögen folgende Beispiele dienen:

1. In der Wühre in Zürich wurde seinerzeit vom Störungsdienst ein Kabel als unterbrochen gemeldet. Die Fehlerlokalisierung, die erst nach dem Ausschalten des Lichtnetzes möglich war, führte zur Aufdeckung eines durch Starkstrom vollständig abgeschmolzenen Kabels. Die Fehlerstelle befand sich in einem Zementsteinschacht, dort wo das Kabel aus dem Zoresisenkanal herausgeführt war. Die Fehlerursache konnte in einer direkten, ziemlich weit entfernt liegenden Berührung des Telephonzoresisenkanals mit einer gusseisernen Spleissmuffe eines Niederspannungskabels festgestellt werden. Im Niederspannungskabel war ein Erdschluss aufgetreten. Der Erdschlußstrom wurde vom Zoresisenkanal fortgeleitet und bewirkte an der Unterbrechungsstelle den Lichtbogenübergang auf den Kabelmantel. Durch die grosse fliessende Energie wurde das Kabel am Lichtbogenfusspunkt vollständig abgeschmolzen. Weitere Schäden sind glücklicherweise weder bei den Teilnehmern noch in der Zentrale entstanden.

Das Telephonkabel wäre durch den Erdschluss nicht beschädigt worden, wenn die direkte Berührung mit der Starkstromanlage nicht vorhanden und wenn im Zementsteinschacht die Zoreskanäle leitend miteinander verbunden gewesen wären.

2. In Lausanne haben sich an einer Kreuzungsstelle die Zoresisenkanäle eines Niederspannungs- und eines Telephonkabels leicht berührt. Im Niederspannungsnetz, 380/220 V, das mit 200 Ampère abgesichert war, war ein Erdschluss aufgetreten. In der Folge davon entstand zwischen den beiden Zoresisenkanälen ein Lichtbogen, der aus dem Eisenkanal ein Loch von ungefähr 40 mm Durchmesser herauschmolz und das Telephonkabel verbrannte. Der Erdübergangswiderstand des Telephonkabelmantels betrug ungefähr 1Ω . Daher konnte die 200-A-Sicherung nicht trennen.

Auch hier wäre der Schaden nicht entstanden, wenn an der Kreuzungsstelle das eine der beiden Kabel, den Vorschriften entsprechend, in einen Kanal aus schlecht leitendem Material gelegt worden wäre.

3. Ein weiterer, sehr interessanter Schadenfall ist in Amsteg aufgetreten. Auf der 132-kV-SBB-Gittermastenleitung mit Erdseil ist ein Durchschlag eines Isolators erfolgt. Unser Fernkabel war einerseits ungefähr 4...5 m von einem geerdeten Mastfuss entfernt verlegt und andererseits über das Ortskabelnetz und damit über die Erdung der Kabel-

lumière, conduisit à la découverte d'une partie de câble complètement fondue par le courant fort. Le défaut se trouvait dans une chambre en plots de ciment, soit au point où le câble sortait du caniveau zorès. La cause même du défaut put être déterminée à un endroit assez éloigné, où le caniveau zorès du téléphone se trouvait en contact avec un manchon d'épissure en fonte d'un câble à basse tension. Une mise à terre s'était produite dans le câble à basse tension. Le courant de mise à terre passa par le caniveau zorès, puis, au point de l'interruption, en un arc voltaïque sur la gaine du câble. La grande énergie qui se manifesta en ce point provoqua à la base de l'arc la fusion complète du câble. D'autres dommages ne se produisirent heureusement ni chez les abonnés ni au central.

Le câble téléphonique n'aurait pas été endommagé s'il n'y avait pas eu de contact direct avec l'installation à fort courant et si, dans la chambre en plots de ciment, les caniveaux en fers zorès avaient été reliés entre eux par une connexion de continuité électrique.

- 2^o A Lausanne, les caniveaux zorès d'un câble téléphonique et d'un câble à basse tension se touchaient légèrement à leur point de croisement. Une mise à terre se produisit dans le réseau à basse tension de 380/220 volts protégé par des fusibles de 200 ampères. Entre les deux caniveaux, un arc voltaïque s'amorça qui fondit un trou de 40 mm de diamètre environ dans le canal en fer et brûla le câble téléphonique. La résistance à la terre de la gaine du câble téléphonique était d'environ 1 ohm, ce qui explique que le fusible de 200 ampères ne fonctionna pas.

Ici non plus, le dommage ne se serait pas produit si, au point de croisement, l'un des deux câbles avait été placé, comme les prescriptions l'exigent, dans un canal en matière mauvaise conductrice.

- 3^o Un autre cas très intéressant est celui d'Amsteg. Sur la ligne à pylônes métalliques de 132 kV des CFF avec fil de terre, un isolateur fut endommagé par une décharge électrique. Notre câble interurbain se trouvait à une distance de 4 à 5 m du pied d'un pylône relié à la terre; d'autre part, il se trouvait en liaison par le réseau des câbles locaux et, de ce fait, par la terre des poteaux-colonnes, avec le réseau des conduites d'eau et la terre de protection de l'usine électrique d'Amsteg.

Le canal zorès absorba une partie du courant venant de la terre du pylône et le reconduisit à l'usine. A un endroit, où une pièce zorès façonnée était insérée dans notre canalisation, une décharge eut lieu sur notre câble. L'arc fondit un trou dans la gaine de plomb. Si la pièce façonnée avait été pontée électriquement, il est certain qu'il n'y aurait pas eu de dommage.

stangen mit dem Wasserleitungsnetz und der Schutzterde des Kraftwerkes Amsteg verbunden.

Der Zoresisenkanal nahm von der Masterdung einen Teil des Erdschlußstromes auf und leitete diesen zum Werk zurück. An einer Stelle, an der ein Zoresformstück eingebaut war, erfolgte der Überschlag auf das Kabel. Der Lichtbogen brannte ein Loch in den Bleimantel. Wenn das Zoresformstück elektrisch überbrückt gewesen wäre, wäre der Schaden bestimmt nicht aufgetreten.

Dieser Fall zeigt deutlich, dass man die Nähe von Erdleitungen der Hochspannungsanlagen möglichst meiden soll und dass bei langen Parallelführungen die elektrischen Durchverbindungen grundsätzlich ausgeführt werden sollen.

4. In der Eisenkonstruktion einer Strassenbrücke über das Geleise der Rorschach—Heiden-Bahn ist ein Zoresisenkanal befestigt. Die 15-kV-Fahrleitung ist ebenfalls an der Brücke abgespannt. Infolge eines Isolatorendefektes floss über die Brücke und den Telephonkabelkanal ein Erdschlußstrom. Durch die Spannungsdifferenz zwischen Zoreskanal und Bleimantel ist in einem Zementsteinschacht ein Lichtbogen und in der Folge ein Loch im Bleimantel entstanden. Auch dieser Schaden wäre nicht aufgetreten, wenn die Durchverbindung der Zoreskanäle vorhanden gewesen wäre.

c) Schutzmassnahmen

Um Schäden durch die Einwirkung von Starkstromanlagen nach Möglichkeit zu vermeiden, empfehlen wir folgende Massnahmen:

1. Direkte Berührungen von Schwachstromkabeln mit Starkstromkabeln oder Schutzterdleitungen von Kraftwerken und Transformatorstationen sind grundsätzlich zu vermeiden. Wo Kreuzungen oder Parallelführungen mit geringem Abstand entstehen, ist im Sinne des *Bundesgesetz für elektrische Anlagen* das eine der beiden Kabel in einen Kanal aus schlecht leitendem Material zu legen.
2. Bei Kabelunterführungen unter elektrischen Bahnen sind die Kabel bis ungefähr 10 m beidseitig der Geleise in Kanäle aus schlecht leitendem Material, am besten Steinzeugröhren, zu verlegen.

Diese Kanäle sind so zu erstellen, dass sie dauernd sauber und trocken bleiben.

3. Die gleiche Massnahme findet sinngemäss Anwendung für Kabelanlagen im Bereiche von Schutzterdelektroden von Kraftwerken, Schalt- und Transformatorstationen und Gittermasten.
4. Eiserne Bahnbrücken und Strassenüberführungen, an denen Fahrleitungen abgespannt sind, sollen für die Kabelführung wo möglich vermieden werden.
5. Im Bereiche von Starkstromanlagen und bei langen Parallelführungen mit Bahnen und Hochspannungsleitungen sind die Zoreskanalformstücke oder Armaturdrähte elektrisch leitend untereinander und mit dem Bleimantel zu verbinden.

(Eingegangen am 28. Juli 1948.)

H. Kölliker

Ce cas prouve clairement qu'il faut éviter dans la mesure du possible la proximité de conduites de terre d'installations à haute tension et établir, par principe, des connexions de continuité électrique en cas de longs parallélismes.

- 40 Dans la construction en fer d'un pont routier traversant la voie ferrée du chemin de fer Rorschach—Heiden se trouve un canal zorès. La ligne de contact de 15 kV est également fixée au pont. Du fait qu'un isolateur était endommagé, un courant de mise à terre passa du pont sur le canal du câble téléphonique. La différence de tension entre le canal zorès et la gaine de plomb engendra un arc voltaïque dans une chambrette en plombs de ciment, qui fondit un trou dans la gaine de plomb. Ce dommage aurait été évité si l'on avait établi une connexion de continuité électrique entre les éléments du canal en fers zorès.

c) Mesures de sécurité

Pour éviter dans la mesure du possible des dommages par la présence d'installations à courant fort, il est recommandé d'observer les mesures suivantes:

- 10 On doit empêcher de toute façon que des contacts directs ne se produisent entre des câbles à faible courant et des câbles à fort courant ou des conduites de terre de protection d'usines électriques ou de stations transformatrices. Aux croisements ou aux parallélismes à faible distance entre les fils, on placera, conformément aux prescriptions légales sur les installations électriques, l'un des câbles dans un canal constitué de matière mauvaise conductrice.
- 20 En cas de passages sous les voies de chemins de fer électriques, les câbles seront placés dans des conduites en matière mauvaise conductrice (tuyaux de grès) jusqu'à une distance d'environ 10 m au-delà des rails extérieurs.

Ces conduites seront établies de telle manière qu'elles restent constamment propres et sèches.

- 30 La même mesure sera appliquée aux installations de câbles se trouvant dans la zone dangereuse des terres de protection des usines électriques, des postes de coupure, des stations transformatrices et des pylônes en treillis.
- 40 On évitera autant que possible d'utiliser, pour les installations de câbles, les ponts métalliques de chemins de fer et les ponts routiers traversant des chemins de fer et auxquels sont fixés des fils de contact.
- 50 Dans la zone des installations à fort courant et en cas de longs parallélismes avec des chemins de fer et des lignes à haute tension, les pièces façonnées des caniveaux en fers zorès ou les fils d'armure des câbles doivent être reliés électriquement entre eux et avec la gaine de plomb.

(Reçu le 28 juillet 1948.)

H. Kölliker