

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

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

Objektyp: **Article**

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

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

Heft 5

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-873125>

## **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.

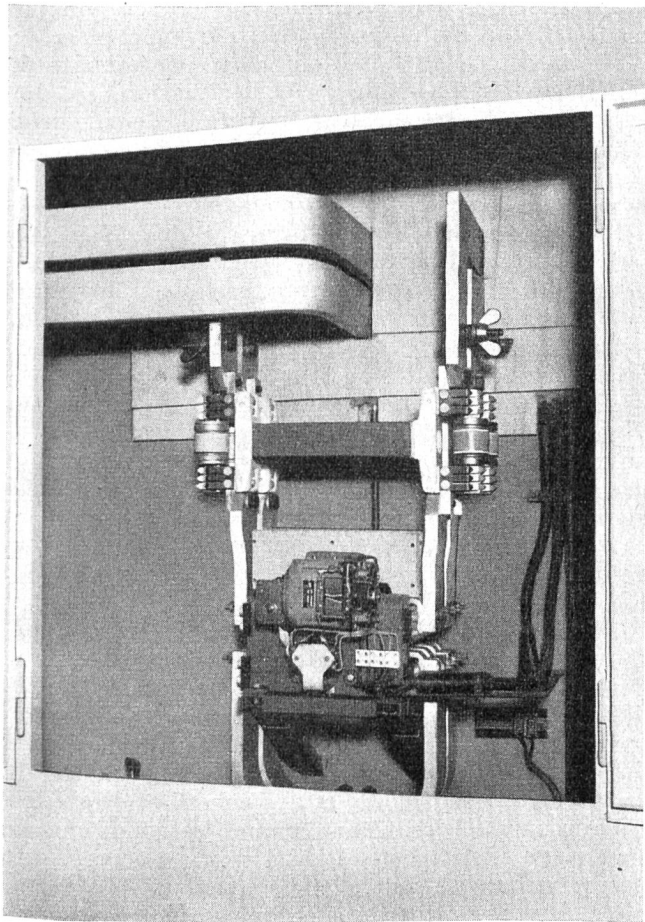


Abb. 4. Motor-Umschalter.

## Wie erkennt man Art und Ursache der Schäden an Bleikabeln ?

Von F. Sandmeier, Bern.

621.315.2.004.6

Ueber Wesensart und Ursache von Kabelschäden bestehen noch oft unklare oder falsche Anschauungen. Es soll deshalb hier gezeigt werden, wie der Praktiker aus den bei einem Kabelschaden zutage tretenden Umständen, insbesondere bei Korrosionen, auf Art und Ursache des Schadens schliessen kann. Von theoretischen Erörterungen wird hiebei abgesehen und von Fall zu Fall auf die einschlägige Fachliteratur verwiesen.\*)

### I. Die Kabelschäden und ihre Ursachen.

#### 1. Vorbemerkung.

In der jüngsten Zeit wurde die Meinung geäußert, die Korrosionsschäden an den Kabeln des schweizerischen Telephonnetzes seien in beschleunigtem Zunehmen begriffen. Das mag zutreffen in bezug auf die Zahl der jährlich vorkommenden Schadenfälle. Grund zur Besorgnis wäre aber nur dann vorhanden,

\*) Die in Klammer gesetzten Zahlen sind Hinweise auf das am Schluss folgende Literaturverzeichnis.

### 2. Stromlieferungsanlage.

Der durch den Tandemverkehr bedingte grössere Strombedarf erforderte eine Erweiterung der bestehenden Stromlieferungsanlage. Es sind zwei Batterien, bestehend aus  $2 \times 24$  Elementen (J. 84) zu je 3024 Ampèrestunden, aufgestellt worden. Den Tagesverbrauch übernimmt, im Pufferbetrieb, eine Brückenpolmaschine, geliefert von der Maschinenfabrik Oerlikon, die bei konstanter Spannung einen Betriebsstrom bis zu 400 Ampère liefert. Die als Reserve dienenden Batterien sind somit nur in den verkehrsschwachen Stunden ohne die Pufferung eingeschaltet.

Die Abb. 4 zeigt die ferngesteuerten Motor-Batterie-Umschalter, die in den Speiseleitungen eingebaut sind. Die Steuerung erfolgt von einer Schalttafel aus, auf der durch Rückmeldung, d. h. durch das Aufleuchten einer Signallampe, die Schalterstellungen gemeldet werden. Die Speiseleitungen bestehen aus Aluminiumschienen von  $1600 \text{ mm}^2$  Querschnitt. Eine Speiseleitung ist für das Ortsamt und die allgemeine Fernbetriebsausrüstung nach dem I. Stock, eine zweite für die Tandemausrüstung nach dem II. Stock, geführt.

### 3. Schlussfolgerungen.

Die seit der Inbetriebnahme der Tandemausrüstung in Olten gemachten Erfahrungen sind sehr gut. Störungen sind keine aufgetreten. Das von der Lieferfirma gewählte Prinzip hat sich bestens bewährt. Die strengen Bedingungen, die die Verwaltung in ihren Grundforderungen für den automatischen Betrieb den Lieferanten stellt, sind in Olten erfüllt. Es kann mit voller Zuversicht die Einschaltung weiterer Verkehrsrichtungen in die Wege geleitet und das neue Werk offiziell dem Betrieb übergeben werden.

G. Hess.

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

Par F. Sandmeier, Berne.

621.315.2.004.6

Les appréciations au sujet du genre et des causes des détériorations des câbles manquent souvent de clarté ou elles sont erronées. Le but du présent article est de démontrer de quelle manière le praticien arrive à reconnaître le genre et la cause des détériorations suivant les circonstances à considérer, notamment dans les cas de corrosion. Nous renonçons à nous étendre sur des considérations théoriques et renvoyons dans chaque cas à la littérature qui s'y rattache.\*)

### I. Les détériorations de câbles et leurs causes.

#### 1. Remarques préliminaires.

Ces tout derniers temps, l'opinion fut émise que le nombre des détériorations de câbles du réseau téléphonique suisse causées par la corrosion croissait rapidement. Ceci peut être vrai quant au total des cas de détérioration qui surviennent dans le courant

\*) Les chiffres entre parenthèses renvoient à la bibliographie figurant à la fin de l'article.

wenn nachgewiesenermassen die durchschnittliche Lebensdauer der Kabel infolge vorzeitiger Korrosion zu kurz wäre. Um die Situation richtig beurteilen zu können, muss man erstens imstande sein, die Art aller Schäden einwandfrei zu erkennen und zweitens muss man sie statistisch richtig erfassen. Es liegt auf der Hand, dass die Korrosionsschäden mit der Ausdehnung und dem Alter eines Kabelnetzes zunehmen. Da ein korrosiver Angriff immer, von ganz krassen Fällen abgesehen, eine beträchtliche Zeit braucht, bis er sich durch Betriebsstörungen bemerkbar macht, können sich nach Jahren ruhigen Betriebes die Fehler häufen.

„Die Elemente hassen das Gebild' der Menschenhand“. Alles, was die Technik schafft, ist, wenn es sich selbst überlassen, d. h. nicht gepflegt wird, dem Zerfall geweiht. Die Verlegungsart der Kabel erlaubt wenig oder keine Pflege. Alles was zur Verlängerung der Lebensdauer getan werden kann, besteht in einigen Schutz- und Vorsichtsmassnahmen, die bei der Fabrikation und der Verlegung zu treffen sind.

Blei, das heute noch allein für Kabelmäntel in Frage kommt, von einigen Versuchen mit Aluminium und nichtmetallischen Werkstoffen abgesehen, ist freilich ein Material, das unter günstigen Bedingungen ausserordentlich lange haltbar ist, wie jahrhundertealte Bleidächer und Wasserleitungen beweisen. Da aber dort, wo man die Kabel auslegen muss, häufig genug die günstigen Bedingungen fehlen oder gar ausgesprochen ungünstige Bedingungen vorhanden sind, muss man damit rechnen, dass das Blei einmal zerstört wird. Diese endliche Zerstörung war bisher nicht zu verhüten, sie ist eine Frage der Zeit. Selbstverständlich forscht man überall eifrig nach geeigneten Schutzmassnahmen. Wo diese Massnahmen in Umhüllungen oder anderen Schutzschichten bestehen, sind diese selbst der Zerstörung ausgesetzt; sie können unter Umständen sogar das Auftreten von Störungen beschleunigen.

Wenn sich alle korrosiven Angriffe auf den Bleimantel auf grössere Flächen verteilen, wäre die durchschnittliche Lebensdauer der Kabel bedeutend höher als die bis heute erzielte, da die Bleimäntel schon aus Festigkeitsgründen eine beträchtliche Dicke aufweisen. Die Tücke der Kabelkorrosion besteht aber in der häufig auftretenden Form der sogenannten Lokalkorrosion, d. h. einem selektiven (punktförmigen) Angriff, mit einem Loch als Resultat und der Betriebsstörung als Folge. Dieser Lochfrass also kann durch undichte, schadhafte oder sonstige ungeeignete Umhüllung begünstigt werden, wie später an Beispielen gezeigt wird.

Bei laboratoriumsmässigen Versuchen zur Bestimmung der Korrosionsgeschwindigkeit oder des Korrosionswiderstandes von Metallen wird immer wieder angegeben, welches Gewicht an Metall in einer gewissen Zeit abgefressen wird, oder es wird daraus abgeleitet, welche Schichtdicke das ausmache, bezogen auf die korrodierte Fläche des Versuchsstückes. Solche Angaben haben wenig oder keinen Wert, wenn sie auf Korrosionen an Kabeln oder allgemein an Rohren angewandt werden sollen, da bei selektiver Korrosion eine winzige Menge weggefressenen Metalls zur Erzeugung eines Loches und damit zu einer Betriebsstörung genügt. Somit kann bei Korrosions-

d'une année. Il y aurait lieu de s'en inquiéter uniquement s'il était établi que la durée moyenne des câbles est trop courte du fait d'une corrosion prématurée. Pour pouvoir bien juger de la situation, on doit être à même de reconnaître irréfutablement le genre de chaque détérioration, et l'on doit dresser une statistique exacte de tous les cas. Il est clair que le nombre des cas de corrosion augmente en proportion de l'extension et de l'âge du réseau des câbles. Vu qu'une attaque par la corrosion, abstraction faite de cas spéciaux, exige un temps assez long jusqu'à ce qu'elle se manifeste par des dérangements de l'exploitation, les défauts peuvent s'accumuler après de nombreuses années d'un bon fonctionnement.

„Les éléments haïssent les œuvres de l'homme.“ Tous les produits de la technique se désagrègent si on les abandonne à eux-mêmes ou si on ne leur voue pas les soins nécessaires. Le genre de pose des câbles ne permet guère ou pas du tout de les entretenir. Tout ce qui peut être fait pour augmenter leur durée consiste en certaines mesures à observer au cours de leur fabrication ou de leur pose.

Le plomb qui, aujourd'hui, entre seul en considération pour la gaine des câbles — abstraction faite de quelques essais entrepris avec de l'aluminium et des matières non métalliques — est un matériel extraordinairement durable lorsqu'il se trouve placé dans des conditions avantageuses, comme le prouvent du reste des toits en plomb et des conduites d'eau âgés de plusieurs siècles. Mais comme les conditions ne sont guère avantageuses là où les câbles doivent être posés, ou qu'elles sont même souvent très défavorables, on doit s'attendre à ce que le plomb se détériore un jour ou l'autre. Cette détérioration qui se produit finalement n'a pu être évitée jusqu'à ce jour; il s'agit là d'une simple question de temps. Il va sans dire qu'on s'efforce partout de trouver des moyens de protection efficaces. Lorsque les mesures consistent à munir les câbles d'enveloppes ou d'autres couches protectrices, celles-ci sont également sujettes à se détériorer; elles peuvent même être la cause d'une accélération des dérangements.

Si les attaques corrosives se répartissaient sur des surfaces plus grandes de la gaine de plomb, la durée moyenne des câbles serait plus considérable que celle obtenue jusqu'à ce jour vu que, aussi pour des raisons de solidité, les gaines de plomb sont relativement épaisses. Mais la corrosion est maligne, et elle se manifeste sous la forme fréquente de corrosion locale, c'est-à-dire d'attaque sélective (sous forme de point), avec un trou comme résultat, donnant lieu, par la suite, à un dérangement de l'exploitation. Ce genre de corrosion sous forme de trou peut donc être favorisé par des enveloppes perméables, défectueuses ou impropres, comme nous le montrerons ci-après par des exemples.

Lors d'essais de laboratoire faits en vue de déterminer la rapidité avec laquelle la corrosion agit ou la résistance que les métaux opposent à la corrosion, on indique toujours à nouveau le poids du métal rongé au bout d'un certain temps, ou bien on calcule l'épaisseur de couche qui en résulte, en considérant la surface corrodée du morceau soumis à l'essai. De telles indications n'ont que peu ou même pas de valeur lorsqu'on doit les appliquer aux câbles ou aux tuyaux

versuchen Lochfrass nicht durch Angabe des Gewichtsverlustes charakterisiert werden (1).

## 2. Die verschiedenen Arten der Kabelschäden.

Es kommt häufig vor, dass gewisse Arten von Korrosionen miteinander verwechselt werden oder dass Schäden als Korrosionen bezeichnet werden, die gar keine sind. Um die Frage nach der Art und der Ursache eines Korrosionsschadens richtig beantworten zu können, muss man sich unbedingt an eindeutige Benennungen halten, die eine Sache der Vereinbarung sind. Als erstes Erfordernis ist deshalb eine Begriffsbestimmung vonnöten. Anfänge zur Abklärung auf internationaler Grundlage sind gemacht worden, z. B. im C.C.I. (2). Aus der Fachliteratur geht aber hervor, dass Meinungsverschiedenheiten bestehen. So werden z. B. Ermüdungsbrüche noch als interkristalline Korrosion bezeichnet (3, 4).

In den folgenden Betrachtungen wird versucht, die verschiedenen Kabelschäden nach ihrer natürlichen Art auseinanderzuhalten. Es müssen deshalb auch die nichtkorrosiven Schäden kurz besprochen werden.

### 2. 1. Fabrikfehler.

Als Fabrikfehler, die am häufigsten auftreten und am meisten zu fürchten sind, kennen wir die offenen *Längsnähte*, die nicht zu verwechseln sind mit *Längsrissen*. Sie haben ihre Ursache in der Besonderheit einer gewissen Art von Bleipressen und werden leider meistens erst beim Auftreten von Störungen erkannt.

### 2. 2. Mechanische Beschädigungen.

Darunter sind, im Gegensatz zu Korrosionen, solche Verletzungen des Bleimantels zu verstehen, bei denen keinerlei chemische Prozesse mitwirken. Sie haben die mannigfachsten Ursachen und können nach der Auslegung der Kabel, aber auch schon vorher entstehen.

#### 2.2.1. Montagefehler.

Unter Montagefehlern sind solche Beschädigungen zu verstehen, die beim Auslegen bzw. Einziehen, beim Spleissen usw. entstanden sind. Es handelt sich meistens um Querrisse, Einbuchtungen oder Stauungen, Verletzungen mit Werkzeugen usw.

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

Sie entstehen durch Erdsenkungen, Felssturz, durch Druck infolge Eisbildung, durch Pickelhiebe oder Einschlagen von Spitzseisen bei Bauarbeiten usw., durch Sprengungen und andere unvorhergesehene und dem Kabel nicht zuträgliche Manipulationen, deren Aufzählung hier ja nicht nötig ist.

Ihrer Besonderheit wegen sei hier als Beispiel eine Beschädigung erwähnt, die vor Jahren vorgekommen ist und so recht das Unberechenbare solcher Störungen illustriert.

Auf dem Areal einer militärischen Anstalt war eine Kabelrolle bis zur nahe bevorstehenden Auslegung des Kabels aufgestellt. Die Anstalt war militärisch bewacht, die Kabelrolle befand sich am Ende des Weges, den die Wache auf jener Seite des Areals zurückzulegen hatte. Nun ist das zweistündige Hin- und Herpatrouillieren, besonders in finsterner Mitternacht, wie's im Liede heisst, eine ziemlich langweilige Beschäftigung. Ob sich nun ein „Tätel“ die Sache kurzweiliger machen wollte, ob er besonders kampff-

métalliques en général, vu que, dans la corrosion sélective, une infime quantité de métal rongé suffit à produire un trou et, partant, un dérangement de l'exploitation. C'est pourquoi, dans les essais de corrosion, l'indication de la diminution du poids n'est pas un indice pour caractériser la formation de trous.

## 2. Les différents genres de détériorations de câbles.

Il arrive fréquemment que l'on confonde certains genres de corrosion, ou que des détériorations soient erronément considérées comme cas de corrosion. Pour bien reconnaître la nature et la cause d'un dommage dû à la corrosion, on doit s'en tenir rigoureusement à des désignations conventionnelles bien arrêtées. Tout d'abord, il est nécessaire d'en fixer les notions. A ce sujet, des tentatives ont été faites sur des bases internationales, p. ex. au sein du C.C.I. (2). Mais il ressort de la littérature en la matière qu'il existe des divergences d'opinion. Par exemple les ruptures provenant du phénomène de fatigue sont encore désignées par „corrosion intercrystalline“ (3, 4).

L'exposé qui suit a pour but de chercher à établir une distinction entre les différents genres naturels de détériorations de câbles. Il convient, par conséquent, de parler brièvement aussi des dommages qui ne sont pas d'origine corrosive.

### 2. 1. Défauts de fabrication.

Les défauts de fabrication les plus fréquents et les plus à craindre sont les *sutures* longitudinales ouvertes que l'on ne doit pas confondre avec les *fissures* longitudinales. Elles proviennent de la particularité d'un certain genre de presses à plomb, et on ne les découvre le plus souvent que lors de l'apparition de dérangements.

### 2. 2. Endommagements mécaniques.

Contrairement à la corrosion, il s'agit, dans ces cas, d'endommagements de la gaine de plomb sans aucun processus chimique. Ils peuvent avoir les causes les plus diverses, et ils se produisent après la pose des câbles, quelquefois même avant.

#### 2. 2. 1. Défauts de montage.

Dans cette catégorie, on comprend les endommagements qui se sont produits pendant la pose ou le tirage, au cours des travaux d'épissure, etc. Il s'agit ici le plus souvent de fissures en travers, d'enfoncements ou de foulures, d'endommagements au moyen d'outils, etc.

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

Ces endommagements peuvent être causés par des affaissements de terrain, des chutes de roc, par des pressions dues à la congélation de l'eau, par des coups de pioches ou l'emploi de barres à mine ou d'explosifs en cas de travaux de construction, ou encore par d'autres manipulations imprévues présentant du danger pour les câbles et dont l'énumération dans cet exposé n'est pas de rigueur.

L'exemple typique mentionné ci-après d'un cas qui s'est produit il y a quelques années illustre bien l'impossibilité de prévoir tous les dérangements rentrant dans cette catégorie.

Une bobine de câble avait été entreposée sur le terrain d'un établissement militaire jusqu'au moment proche de l'exécution des travaux de pose dudit

lustig war oder ob er die Kabelrolle als bequemen Anschlag und Umkehrpunkt bei der „hin- und hergehenden Bewegung“ benützte, oder endlich, ob er es aus reiner Gedankenlosigkeit tat, kurz, er stieß bei jeder Runde mit dem aufgepflanzten Bajonett kräftig gegen die mit Strohzöpfen umhüllte Kabelrolle. Das Resultat war ein siebartig durchlöcherter Bleimantel, was leider erst bemerkt wurde, als das Kabel ausgelegt war und in Betrieb genommen werden sollte, da die Löcher infolge des zum Angriff verwendeten „Stechbajonettes“ nur klein waren.

Es liegt in der Natur der Sache, dass Fehler der Kategorien 2. 2. 1. und 2. 2. 2. manchmal, besonders wenn sie lange unentdeckt bleiben, schwer voneinander zu unterscheiden sind.

### 2. 2. 3. Beschädigungen durch Tiere.

Warum Tiere die Bleimäntel angreifen, ist zur Stunde noch nicht abgeklärt. Beschädigungen werden in der Hauptsache durch Nagetiere, Mäuse und Ratten an Erdkabeln und durch Insekten an oberirdisch verlegten Kabeln verursacht. Man hat angenommen, die Mäuse nagen den Bleimantel an, um sich einen Ausgang zu schaffen, wenn sie in Kabelkanäle geraten. Es ist aber auch schon vorgekommen, dass in einem grösseren Raum senkrecht an einer Mauer verlegte Kabel in einer Höhe von 1,2 m über Boden angenagt wurden.

Weder für den Insektenfrass noch für das Annagen durch Mäuse hat man bisher einen einleuchtenden Grund finden können.

### 2. 2. 4. Ermüdungsbrüche.

Mit der Erwähnung der Ermüdungsbrüche betreten wir das Gebiet der unter 2. genannten Irrtümer.

Ermüdungsbrüche haben mit interkristalliner Korrosion, mit Korrosion überhaupt, nichts zu tun; es ist nicht statthaft, sie als Korrosionen zu behandeln (5, 6). Wir kommen später noch auf die Gründe, die dagegen sprechen, zurück.

Ein Ermüdungsbruch entsteht, wenn ein Gegenstand aus irgendeinem Werkstoff einer Dauerwechselbeanspruchung ausgesetzt wird. Bedingung für den Ermüdungsbruch ist die *Wechselbeanspruchung*, d. h. eine Beanspruchung durch veränderliche mechanische Spannungen mit gleichbleibendem oder wechselndem Vorzeichen (7). Das Besondere, ja Gefährliche an dieser Art der Werkstoffzerstörung ist der Umstand, dass zu einem Ermüdungsbruch viel kleinere Kräfte genügen, als zu einem Bruch bei statischer Belastung nötig wären.

Wechselbeanspruchungen sind Zug und Druck (Längsschwingungen), Hin- und Herbiegen (Querschwingungen), Hin- und Herdrehen (Torsionsschwingungen), im allgemeinen alle Vibrationen.

Blei ist infolge seiner Neigung zur Kornvergrößerung (Rekristallisation) stark der Ermüdung unterworfen (8). Wir treffen Ermüdungsbrüche häufig an Luftkabeln und an Erdkabeln, die an Brücken oder anderen unruhigen Objekten verlegt sind.

### 2. 2. 5. Elektrische Durchschläge.

Als mechanische Beschädigungen müssen auch die durch Ueberschläge aus Starkstromleitungen und

câble. Les lieux étaient gardés militairement, et la bobine de câble se trouvait au bout du chemin parcouru par la sentinelle. Patrouiller pendant deux heures par nuit noire est une occupation plutôt monotone. Une sentinelle avait-elle voulu se procurer un passe-temps, était-elle particulièrement belliqueuse, ou bien la bobine de câble lui servit-elle de „bouteroue“ dans sa course de va-et-vient, ou encore ne le fit-elle que par étourderie, toujours est-il qu'à chaque ronde elle plongea sa baïonnette dans les tresses de paille enveloppant la bobine. Résultat: la gaine de plomb fut percée comme un crible, ce dont on ne s'aperçut que lorsque le câble était déjà sous terre et qu'on voulut le mettre en service, les trous percés par la baïonnette qui avait servi à l'assaut étant relativement petits.

Il est tout naturel qu'on ne puisse distinguer que difficilement les uns des autres les défauts des catégories 2. 2. 1 et 2. 2. 2, surtout lorsqu'il se passe un certain temps avant qu'ils apparaissent.

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

A l'heure qu'il est, on ignore encore pourquoi certaines bêtes s'attaquent aux gaines de plomb. En général, des endommagements sont causés par des rongeurs, souris et rats, aux câbles souterrains et par des insectes aux câbles aériens. Peut-être les souris rongent-elles la gaine de plomb pour chercher une issue lorsqu'elles se trouvent enfermées dans un caniveau. Pourtant il est arrivé que des câbles montés verticalement contre un mur, où la place était assez spacieuse, avaient été rongés à une hauteur de 1,2 m au-dessus du sol.

On connaît tout aussi peu les motifs qui incitent les insectes à s'attaquer aux gaines de plomb des câbles.

### 2. 2. 4. Ruptures dues à la fatigue.

En mentionnant les ruptures dues à la fatigue, nous entrons dans le domaine des erreurs mentionnées sous 2.

Les ruptures dues à la fatigue n'ont, d'une manière générale, aucune relation avec la corrosion, ni avec la corrosion interkristalline en particulier; il est inadmissible qu'on les traite comme cas de corrosion (5, 6). Nous reviendrons, plus tard, sur les motifs qui s'opposent à cette manière de voir.

Une rupture par la fatigue se produit lorsqu'un objet constitué par une matière quelconque est sollicité par des efforts alternés durables. Pour que la rupture à la fatigue se produise, une sollicitation durable est nécessaire, c'est-à-dire une sollicitation par des tensions mécaniques variables à signe constant ou alternant. Ce qu'il y a de particulier et même de dangereux dans ce genre de désagrégation de la matière, c'est qu'une rupture par la fatigue demande des forces beaucoup plus minimes que celles qui seraient nécessaires pour provoquer une rupture par une charge statique.

Les efforts alternés comprennent la traction et la pression (oscillations longitudinales), le pliage dans les deux sens (oscillations transversales), les torsions dans les deux sens (oscillations par torsions alternées), en général tous les genres de vibrations.

Du fait de sa tendance de grossir son grain (rekristallisation), le plomb est fortement sensible à la

durch Blitzschläge entstehenden Durchlöcherungen (Schmorstellen) der Bleimäntel bezeichnet werden.

### 2. 3. Korrosionen.

Zum Verständnis der im zweiten Teil beschriebenen Korrosionsmerkmale müssen hier einige Worte über das Wesen der Korrosion gesagt werden. Es kann das im Rahmen dieses Aufsatzes in mancher Richtung nur andeutungsweise geschehen. Für tieferes Eingehen, namentlich in die Theorie, sei auf die umfangreiche Fachliteratur verwiesen, von der hier eine kleine Auswahl zitiert wird. Bis zum Jahr 1938 bestanden mehr als 10 000 Publikationen über Forschungsarbeiten auf dem Gebiete der Korrosion (9).

Der Ausdruck Korrosion kommt vom lateinischen *corrodere*, was übersetzt wird mit „abnagen“. In unserem Falle handelt es sich um ein Abnagen unter ganz besonderen Umständen, hervorgerufen durch bestimmte Ursachen. Die *chemische* Korrosion wurde z. B. vom C.C.I. so definiert: Ein Metall korrodiert, wenn die Oberfläche angefressen wird und sich mit einem nicht fest haftenden Produkt bedeckt. Wenn dieses entfernt wird, ist ein Gewichtsverlust an Metall zu konstatieren (2). Von anderen Institutionen wird der Begriff enger oder weiter gefasst und kann deshalb, je nach dem Standpunkt, den man einnimmt, angefochten werden. Bei der deutschen Gesellschaft für Metallkunde heisst es: Unter Korrosion versteht man die unbeabsichtigte, von der Oberfläche eines metallischen Körpers ausgehende Zerstörung durch chemische Einwirkung von nichtmetallischen Stoffen (10). Der „Reichsausschuss für Metallschutz“ hat, in der Absicht, eine umfassende Definition zu schaffen, den Begriff „Korrosion“ festgelegt. Danach versteht man unter Korrosion die Zerstörung eines festen Körpers, die durch unbeabsichtigte chemische oder elektrochemische Angriffe von der Oberfläche ausgeht (11). Auch diese Definition ist anfechtbar, da sie die Korrosion z. B. von Quecksilber ausschliesst (12).

Verschiedene andere Definitionen wurden aufgestellt, doch wollen wir es dabei bewenden lassen.

Man sieht, schon die Definition der Korrosion bereitet Schwierigkeiten. Noch grösser werden die Schwierigkeiten, wenn eine allen Erscheinungen gerecht werdende *Theorie der Korrosion* aufgestellt werden soll. Die heute am meisten anerkannte Theorie ist die *elektrochemische Theorie der Korrosion*. Sie geht zurück auf die Beobachtung des Genfer Chemikers und Physikers De la Rive im Jahre 1830, der feststellte, dass die Ursache der Auflösung der Metalle in Säuren mit der Tätigkeit galvanischer *Lokalelemente* verknüpft ist (13). Mit dieser Theorie lassen sich anerkanntermassen die meisten im Rahmen unserer Besprechung erwähnten Korrosionserscheinungen zwanglos erklären (11, 14, 15, 16, 17).

Unter Lokalelement versteht man ein winziges galvanisches Element, das sich auf der Oberfläche eines Metallstückes bilden kann. Die wirksamen Bestandteile des Lokalelementes sind:

- a) Zwei Stellen *verschiedenen Potentials* auf der Metalloberfläche als Elektroden.
- b) Die am Metall haftende Feuchtigkeit als Elektrolyt.
- c) Der Metallkörper selbst als „äusserer“ Schliessungskreis, wie in Fig. 1 angedeutet ist.

fatigue (8). Les ruptures dues à la fatigue se rencontrent souvent aux câbles aériens et aux câbles souterrains fixés à des ponts ou à d'autres objets peu tranquilles.

### 2. 2. 5. Perforations électriques.

Les perforations des gaines de plomb produites par le courant fort et par la foudre rentrent également dans la catégorie des détériorations mécaniques.

### 2. 3. Corrosion.

Pour l'intelligibilité des caractéristiques de la corrosion décrite dans la deuxième partie qui fera suite au présent exposé, il importe de dire ici encore quelques mots sur la nature même de la corrosion. Dans le cadre de cet article, nous devons nous borner à y faire de simples allusions. Quiconque tiendrait à approfondir la matière, notamment la partie théorique, pourra consulter à ce sujet la volumineuse littérature spéciale dont nous ne mentionnons qu'une petite partie. Jusqu'à l'année 1938, il a paru plus de 10 000 publications sur des travaux d'étude dans le domaine de la corrosion.

Le terme „corrosion“ a son origine dans le mot latin „*corrodere*“ qui veut dire „ronger“. Dans notre cas, il s'agit d'un phénomène se produisant dans des circonstances particulières et à la suite de causes bien déterminées. La corrosion *chimique* a, p. ex., été définie par le C.C.I. comme il suit: „Un métal se corrodé lorsque sa surface se ronge et se recouvre d'un produit non adhérent. Celui-ci étant enlevé, on constate habituellement que l'objet métallique a perdu une partie de son poids“ (2). D'autres institutions ont une conception plus ou moins étendue de ce terme, conception prêtant à contestation selon le point de vue que l'on adopte. La „Deutsche Gesellschaft für Metallkunde“ précise: „On entend par corrosion la détérioration non voulue partant de la surface d'un corps métallique et provoquée par l'influence chimique de substances non métalliques“ (10). — En vue de créer une définition plus vaste, le „Reichsausschuss für Metallschutz“ a fixé la „notion corrosion“, selon laquelle on comprend sous ce terme la détérioration d'un corps solide par des attaques chimiques ou électrochimiques non voulues partant de la surface (11). — Cette définition aussi prête à contestation, vu qu'elle exclut la corrosion du mercure, p. ex. (12).

D'autres définitions encore ont été établies; nous nous abstenons de les citer.

On voit donc que déjà la seule définition de la corrosion présente des difficultés. Celles-ci augmentent encore dès qu'il s'agit d'élaborer une *théorie de la corrosion* tenant compte de tous les phénomènes. La théorie ordinairement admise aujourd'hui est la *théorie électrochimique de la corrosion*. Elle a son origine dans les observations que fit en 1830 le chimiste et physicien genevois De la Rive, selon lesquelles la cause de la dissolution des métaux dans les acides est liée à l'action d'*éléments galvaniques locaux* (13). Cette théorie permet d'expliquer de façon naturelle la plupart des phénomènes de corrosion et la totalité de ceux rentrant dans le cadre de notre exposé (11, 14, 15, 16, 17).

On entend par élément local un infime élément galvanique qui peut se former à la surface d'une pièce

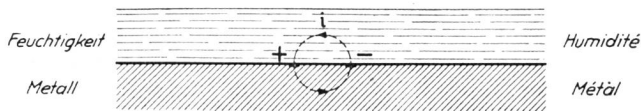


Fig. 1.

Die Stellen ungleichen Potentials werden gebildet durch Inhomogenitäten der Metalloberfläche oder des Elektrolyten. Als solche kommen in Frage: Oxyde, edlere Fremdmetalle (Verunreinigungen),\*) die bei der Verarbeitung des Metalles schon vorhanden waren oder nachträglich auf die Oberfläche gerieten, z. B. durch Maschinen oder Werkzeuge, physikalisch verschiedene Zustände, entstanden durch die Bearbeitung, Konzentrationsunterschiede im Elektrolyten, ungleichmässiger Sauerstoffzutritt u. a. (5, 18, 19).

Ein solches Lokalelement unterscheidet sich im Prinzip nicht von einem galvanischen Element nach der gewohnten Auffassung. Die Stelle mit niedrigerem Potential muss somit, wenn sich die Tätigkeit des Lokalelementes auf Grund der vorherrschenden Verhältnisse fortsetzen kann, der endlichen Auflösung anheimfallen: Das Metall wird zerfressen.

Die Bedingungen für die Entstehung von Lokalelementen sind im Grunde genommen so einfach, dass sich daraus die relative Häufigkeit korrosiver Angriffe an Kabelmänteln erklärt. Das verwendete Blei ist nie hundertprozentig rein; zur Bildung von Lokalelementen genügen aber anscheinend schon kleinste Mengen fremder Metalle. Es wurde allerdings schon öfters versucht, die Korrosionsbeständigkeit des Bleies durch Legieren zu vergrössern (im Sinne der Fussnote). Erfolge sind nicht eindeutig nachgewiesen (20, 21). Die Mehrzahl der Sachverständigen neigt heute zu der Ansicht, dass von Kabelmänteln aus reinstem Blei die grösste Korrosionsbeständigkeit zu erwarten wäre. Da aber, wie erwähnt, noch andere Umstände Anlass zur Bildung von Lokalelementen geben können, bietet die Reinheit des Bleies nicht unbedingte Gewähr für Korrosionsbeständigkeit.

Von ausschlaggebender Bedeutung ist die Anwesenheit von Feuchtigkeit (18, 22, 23, 24, 25). Hier bestätigt sich treffend der alte Satz der Alchimisten: Corpora non augunt nisi fluida. Auf unser Problem bezogen heisst das: Es gibt keine Korrosion ohne Feuchtigkeit. Den besten Beweis dafür sieht jeder Kabelpraktiker in der Tatsache, dass die Korrosion in *dichten* Rohranlagen unbekannt ist. Leider verbieten wirtschaftliche Gründe die konsequente Anwendung dieser Bauweise und zwingen uns zur dauernden Auseinandersetzung mit dem Korrosionsproblem.

### 2. 3. 1. Chemische Korrosion.

Die Zerstörung eines Metallkörpers durch die Tätigkeit der Lokalelemente, die sich auf dem Metallkörper in einem grösseren Bereich bilden können,

\*) Die Korrosionsbeständigkeit von Speziallegierungen, z. B. des rostfreien Stahles, steht nicht damit im Widerspruch, sondern wird durch die Anwesenheit von Fremdmetallen erklärt. Als Folge der gewollten Bildung und Tätigkeit von Lokalelementen entsteht auf der Metalloberfläche eine Schutzschicht.

métallique. Les parties actives d'un élément local sont les suivantes:

- a) deux points à *potentiel différent* sur la surface métallique et formant les électrodes;
- b) l'humidité retenue par le métal et constituant l'électrolyte;
- c) le corps métallique même comme circuit de fermeture „extérieur“ (fig. 1).

Les points à potentiel différent sont produits par des défauts d'homogénéité de la surface du métal ou de l'électrolyte. Entrent en considération comme tels: les oxydes, d'autres métaux *plus précieux* (impuretés\*) qui s'y trouvaient déjà lors du façonnage du métal en cause ou qui arrivèrent sur la surface après coup p. ex. par des machines ou des outils, puis différents états physiques dus au façonnage, des différences de concentration de l'électrolyte, l'accès irrégulier de l'oxygène, etc. (5, 18, 19).

En principe, un élément local de ce genre ne diffère pas d'un élément galvanique comme on le conçoit ordinairement. En conséquence, l'endroit à potentiel moins élevé doit finalement se dissoudre si l'action de l'élément local est continue grâce aux conditions existantes. Le métal est rongé.

En somme, les conditions nécessaires à la formation d'éléments locaux sont si simples, qu'elles suffisent sans autre à expliquer la fréquence relative des attaques corrosives des gaines de câbles. Le plomb utilisé n'est jamais absolument pur; des minimes quantités d'un autre métal paraissent suffire pour la formation d'éléments locaux. On a souvent essayé d'augmenter la résistance du plomb à la corrosion au moyen d'alliages (dans le sens de la notice au bas de la page). Des succès n'ont pu être constatés de façon irréfutable (20, 21). La plupart des experts sont d'avis que la meilleure résistance à la corrosion est réalisée par l'emploi de plomb aussi pur que possible. Vu que d'autres circonstances peuvent favoriser, comme nous l'avons déjà dit, la formation d'éléments locaux, la pureté du plomb n'offre pas de garantie absolue pour la résistance à la corrosion.

La présence d'humidité est de première importance (18, 22, 23, 24, 25). Ici l'ancien théorème de l'alchimiste acquiert toute sa valeur: Corpora non augunt nisi fluida. Appliqué à notre problème, on peut le traduire par ces mots: Pas de corrosion sans humidité. Chaque praticien des câbles en a la preuve par le fait que la corrosion est chose inconnue dans les canalisations en tuyaux *étanches*. Des raisons d'ordre économique interdisent malheureusement de généraliser ce mode de construction et nous obligent à nous occuper constamment du problème de la corrosion.

### 2. 3. 1. Corrosion chimique.

La détérioration d'un corps métallique par l'action des éléments locaux, qui peuvent se former sur une surface assez étendue, est dénommée „corrosion chimique“, bien que le phénomène soit d'ordre électrochimique. L'attaque purement chimique du métal existe p. ex. lorsqu'elle se produit par des gaz (9);

\*) La résistance à la corrosion d'alliages spéciaux, p. ex. de l'acier inoxydable, ne se trouve pas en contradiction, mais s'explique du fait qu'à la suite de la formation voulue d'un élément local et de son action, une couche protectrice se forme à la surface du métal.

nennen wir chemische Korrosion, obschon der Vorgang *elektrochemischer* Natur ist. Es gibt einen rein chemischen Angriff auf Metalle, z. B. durch Gase (9), von dessen Beschreibung wir hier absehen wollen, da er für unsere Betrachtung ohne Bedeutung ist.

In Kabelfehlermeldungen wird häufig als *Ursache* des Schadens angegeben: Chemische Zersetzung, Korrosion oder dergl. Der chemische Angriff ist aber nicht die eigentliche Ursache, die Wurzel des Uebels, sondern die Wirkung; die Ursache besteht in der Anwesenheit chemisch angreifender Stoffe. Wir wollen deshalb den Begriff „chemische Korrosion“ nur zur Bezeichnung der Korrosionsart verwenden.

Die Korrosionsart festzustellen ist meistens nicht allzu schwierig, wohl aber begegnet die Ermittlung der *Korrosionsursache* häufig beträchtlichen Schwierigkeiten, wie der folgende Fall zeigt.

Im Frühjahr 1940 trat eine Störung an einem Fernkabel Bern—Thun auf. Der Schaden, eine Durchlöcherung des Bleimantels infolge chemischer Anfressung, befand sich in einem Spleißschacht, und zwar an einer Stelle, an der das Kabel frei in der Luft bzw. im Wasser lag. Zur Zeit der Fehlerhebung war der Schacht mit Wasser gefüllt. Ob das Kabel ständig oder nur zeitweise im Wasser lag, konnte nicht sicher gesagt werden. Auf jeden Fall musste man annehmen, das Wasser sei die Korrosionsursache. Die Analyse des Wassers ergab folgendes Resultat:

pH-Wert . . . . .	7,82
Trockenrückstand, mg p. Liter . . . . .	130,0
Glührückstand, mg p. Liter . . . . .	100,0
Organische Stoffe, mg p. Liter . . . . .	30,0
Gesamthärte (frz. Grade) . . . . .	10,0
Karbonathärte . . . . .	9,0
Sauerstoff, mg p. Liter . . . . .	7,6
Chlor-Ion, mg p. Liter . . . . .	2,5
Freies Chlor . . . . .	nicht nachweisbar
Schwefelwasserstoff . . . . .	nicht nachweisbar
Sulfate (als SO <sub>3</sub> bestimmt), mg p. Liter . . . . .	6,0
Ammoniak, freies, mg p. Liter . . . . .	0,062
Ammoniak, albuminoides, mg p. Liter . . . . .	0,500
Nitrat . . . . .	Spuren
Nitrit . . . . .	nicht nachweisbar
Sulfit . . . . .	nicht nachweisbar
Phenole und Kresole . . . . .	nicht nachweisbar

Solches Wasser gilt nach den üblichen Begriffen als unter „normalen Verhältnissen“ *nicht korrosiv*. Es musste deshalb angenommen werden, die normalen Verhältnisse seien durch einen Beschleuniger (Katalysator) gestört und dadurch sei die Anfressung möglich geworden. Als Katalysator kam der Phenolgehalt der Kabelumhüllung in Frage und als eigentliche Korrosionsursache wären der veränderliche Wasserstand und die Belüftung anzusehen. Der Fall konnte nicht völlig geklärt werden.

Die einwandfreie Bestimmung der Korrosionsursache wird häufig zur Unmöglichkeit, nämlich dann, wenn bei der Entdeckung des Schadens die Ursache verschwunden ist. Es ist wie bei einem Brande, bei dem man nachher feststellt, dass die Brandursache mitverbrannt ist. In unserem Falle entsteht die Schwierigkeit durch den Umstand, dass ein Kabelschaden erst bemerkt wird, wenn eine Betriebsstörung auftritt. Eine Durchlöcherung des Bleimantels

nous renonçons à en donner ici la description, vu qu'elle est sans importance pour les considérations faisant l'objet de notre exposé.

Dans les rapports sur les défauts de câbles, la *cause* du dommage est souvent imputée à la désagrégation chimique, à la corrosion, etc. L'attaque chimique cependant n'est pas la cause proprement dite, l'origine du mal, mais seulement son effet; la cause réside dans la présence d'éléments corrosifs. Par conséquent, nous emploierons la notion „corrosion chimique“ uniquement pour désigner le genre de corrosion.

Généralement il n'est pas difficile de constater le genre de corrosion, mais la détermination de la cause rencontre souvent des difficultés considérables, comme le montre le cas suivant:

Au printemps 1940, un dérangement se produisit sur un des câbles interurbains Bern—Thoune. Le dommage consistant en une perforation de la gaine de plomb par corrosion chimique s'était produit dans une chambre à épissures à un endroit, où le câble se trouvait en position dégagée soit dans l'air soit dans l'eau. Au moment de la levée du dérangement, la chambre était remplie d'eau. Il n'est pas possible de dire si le câble était constamment plongé dans l'eau ou s'il n'y était que par intervalles. On dut cependant admettre que la présence de l'eau fut la cause de la corrosion. L'analyse de l'eau donna le résultat suivant:

valeur pH . . . . .	7,82
résidus secs mg p. litre . . . . .	130,0
résidus brûlés, mg p. litre . . . . .	100,0
substances organiques, mg p. litre . . . . .	30,0
dureté totale (degrés français) . . . . .	10,0
dureté du carbonate . . . . .	9,0
oxygène, mg p. litre . . . . .	7,6
ions de chlore, mg p. litre . . . . .	2,5
chlore libre . . . . .	ne put être constaté
hydrogène sulfuré . . . . .	ne put être constaté
sulfates (SO <sub>3</sub> ), mg p. litre . . . . .	6,0
ammoniaque libre, mg p. litre . . . . .	0,062
ammoniaque albumineuse, mg p. litre . . . . .	0,500
nitrate . . . . .	des traces
nitrite . . . . .	ne put être constaté
sulfite . . . . .	ne put être constaté
phénols et crésols . . . . .	ne purent être constatés

Dans des „conditions normales“, l'eau de cette composition est ordinairement considérée comme *non corrosive*. On dut admettre que les conditions normales avaient été dérangées par un accélérateur (catalyseur) et que, de ce fait, la corrosion avait pu se produire. Le catalyseur pouvait consister en phénol contenu dans l'enveloppe du câble, et la cause proprement dite de la corrosion pouvait provenir du changement de niveau de l'eau et de l'aération. Ce cas n'a pu être entièrement éclairci.

La détermination incontestable de la cause de la corrosion est souvent chose impossible, surtout lorsque la cause a disparu au moment de l'apparition du dommage. C'est comme dans un incendie, où l'on constate après coup que sa cause a également été détruite par le feu. Dans notre cas, la difficulté est due à ce qu'on ne s'aperçoit du dommage causé au câble qu'au moment où se produit le dérangement de l'exploitation. Une perforation de la gaine de



tels muss nicht unbedingt sofort zu einer Betriebsstörung führen; oft halten Korrosionsprodukt und Kabelumhüllung die Feuchtigkeit lange vom Kabelinneren ab. Somit können sich die Verhältnisse bis zur Entdeckung des Fehlers ändern; man denke nur an die zufällige Infiltration des an sich harmlosen Bodens mit angreifenden Stoffen, oder an den elektrolytischen Angriff durch sporadisch auftretende vagabundierende Ströme usw. Ferner können die Korrosionsprodukte, die zur Charakterisierung des Fehlers dienen, zersetzt, aufgelöst und weggeschwemmt werden. Schliesslich können chemischen Angriffen gleichzeitig verschiedene Ursachen zugrunde liegen, so dass das Bild, wenn der Fehler endlich entdeckt wird, ziemlich verworren aussieht.

Die Ursachen der chemischen Korrosion sind in ihren Einzelheiten so mannigfaltig, dass sie hier nur summarisch aufgezählt werden können.

### 2. 3. 1. 1. *Bodenkorrosion.*

Die Bodenkorrosion ist die allgemeinste und häufigste Form der chemischen Kabelschäden. Man nennt sie so, nicht weil sich der chemische Angriff im Boden abspielt, sondern weil die *Beschaffenheit* des Bodens schuld daran ist. Wenn von der Beschaffenheit der Böden die Rede ist, muss bei uns zuerst daran gedacht werden, dass die Bodenverhältnisse in der Schweiz auf engem Raume sehr stark wechseln (26). Die Aufgabe des Korrosionsforschers gewinnt dadurch beträchtlich an Umfang.

Die Bodenkorrosion erfolgt gewöhnlich nach dem folgenden Schema (18, 27):

- a) Das Blei überzieht sich mit einer dünnen Oxydschicht.
- b) Das Bodenwasser (als Elektrolyt infolge des Gehaltes an gelösten Salzen, an Säuren, organischen Zersetzungsprodukten usw.) löst das Oxyd auf, es bildet sich Bleihydroxyd, -karbonat, -chlorid, -sulfat usw.
- c) Das Oxyd bildet sich von neuem, der Prozess geht weiter.

An der freien Luft würde die Oxydhaut das darunterliegende Metall vor einem weiteren Angriff des Luftsauerstoffs schützen. Ebenso bildeten die Zersetzungsprodukte im Boden gewisse Schutzschichten, die aber selbst wieder weggelöst oder schon infolge ihrer Porosität den Zutritt angreifender Stoffe zum Metall gestatten (16, 18). Die Wirksamkeit einer Schutzschicht ist abhängig von ihrer Porosität, wie dies z. B. von der Vernicklung, Verzinkung usw. her bekannt ist.

Unter der für die Korrosion bedeutsamen Beschaffenheit des Bodens ist sowohl die chemische Zusammensetzung des Bodens als auch die Gesamtheit der physikalischen Eigenschaften zu verstehen. Unter diesen spielen namentlich Durchlässigkeit und Adsorptionsvermögen für Luft und Wasser eine Rolle.

Es ist nicht möglich, korrosive und nicht korrosive Naturböden streng voneinander zu unterscheiden, doch sind die Extreme mit ziemlicher Sicherheit bekannt. Das Ausschlaggebende ist der Gehalt an löslichen Chloriden, Sulfaten und Karbonaten der Alkalien und Erdalkalien. Als korrosive Böden gelten vor allem:

plomb ne provoque pas nécessairement un dérangement subit du service d'exploitation; souvent le produit de la corrosion et l'enveloppe du câble s'opposent longtemps à la pénétration de l'humidité à l'intérieur du câble. Ainsi, les conditions peuvent se modifier jusqu'au moment de la découverte du défaut; on n'a qu'à se représenter l'infiltration fortuite de substances corrosives dans un sol qui, normalement, n'en contient pas, ou l'attaque électrolytique par des courants vagabonds sporadiques, etc. En outre, les produits résultant de la corrosion et qui auraient pu servir à déterminer le caractère du défaut se sont décomposés, ou ils se sont dissous et ont été emportés par l'eau. Il se peut enfin que les attaques chimiques soient provoquées simultanément par plusieurs causes, de sorte que leur aspect devient assez confus au moment de la découverte du défaut.

Les causes particulières de la corrosion chimique sont si diverses que nous ne pouvons les énumérer ici que sommairement.

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

Ce genre de corrosion est celui qui provoque le plus fréquemment des dommages d'origine chimique aux câbles. Dès qu'il est question de la constitution du sol, on doit tenir compte de ce qu'en Suisse les conditions du sol varient énormément sur un espace relativement restreint (26). En conséquence, la tâche de quiconque se charge d'entreprendre des recherches dans ce domaine prend des proportions d'une certaine envergure.

La corrosion par le sol de constitution spéciale a généralement lieu selon le schéma suivant (18, 27):

- a) Le plomb se recouvre d'une mince couche d'oxyde.
- b) L'eau renfermée dans le sol (agissant comme électrolyte par sa teneur en sels dissous, en acides, en produits organiques décomposés) dissout l'oxyde, et il se forme de l'hydroxyde de plomb, du carbonate de plomb, du chlorure de plomb, du sulfate de plomb, etc.
- c) L'oxyde se forme à nouveau et le processus suit son cours.

A l'air libre, la pellicule d'oxyde protégerait le métal contre de nouvelles attaques de l'oxygène de l'air. De même, les produits de décomposition contenus dans le sol formeraient des couches protectrices, si elles n'étaient pas de nouveau dissoutes ou si elles ne favoriseraient pas, de par leur porosité, l'accès de substances corrosives vers le métal (16, 18). L'effet d'une couche protectrice est fonction de sa porosité, comme le montre le résultat obtenu par le nickelage, le zingage, etc.

On entend par „constitution du sol“ influençant la corrosion aussi bien la composition chimique du sol que la totalité des propriétés physiques. Parmi celles-ci, ce sont notamment la perméabilité et la faculté d'adsorption de l'air et de l'eau qui jouent un rôle.

Il n'est pas possible d'établir une différence rigoureuse entre les sols naturels corrosifs et les sols non corrosifs; on reconnaît toutefois assez sûrement les cas extrêmes. La teneur en chlorides, sulfates et carbonates solubles des alcalis et des terres alcalines est de première importance. Sont considérés comme sols corrosifs avant tout:

Alle kalkhaltigen Böden  
Lehmböden  
Humusböden  
Moorböden

les sols calcaires,  
les sols argileux,  
l'humus,  
les sols marécageux.

Lehmböden fördern die Korrosion infolge ihrer Fähigkeit, Wasser festzuhalten. Die Korrosionsgeschwindigkeit ist am grössten bei einem bestimmten Feuchtigkeitsgehalt des Bodens; ist der Gehalt kleiner oder grösser, so schreitet der Angriff langsamer oder schneller fort (4). Es ist bekannt, dass Kabel, die direkt im Wasser liegen, sei es in *ständig* überfluteten Kabelkanälen oder in Gewässern, nicht korrodiert werden. Als Grund wird der erschwerte Zutritt des Luftsauerstoffs vermutet (4); wahrscheinlich spielt auch die grössere Verdünnung des Elektrolyten eine Rolle.

Die obgenannten Böden reagieren teils basisch, teils sauer. Von verschiedenen Metallen weiss man, dass sie nur in sauren Medien korrodieren. Vom Eisen z. B. wird gesagt, dass keine Korrosionsgefahr besteht, wenn der pH-Wert 10 oder mehr beträgt (28). Blei dagegen kann sowohl in sauren als auch in basischen Böden korrodieren (2), was auf die amphotere Natur des Bleies, d. h. auf die Fähigkeit, aus seinen Oxyden Säuren und Basen zu bilden, zurückgeführt wird (5).

Nicht korrosiv sind Böden, die sich vorwiegend aus Spat-, Quarz- und Glimmersand und -geröll zusammensetzen (4).

Im schweizerischen Telephonkabelnetz tritt nun noch ein Umstand hinzu, der die Erkennung der Korrosionsursachen erschwert, nämlich die Art der Verlegung. Ein grosser Teil der Kabel ist in Zoreskanäle verlegt. Die Kabel kommen also nicht in direkte Berührung mit dem sie umgebenden Erdreich. Es kann deshalb vorkommen, dass an einer Fehlerstelle der Boden nicht korrosiv ist, dass aber korrosiver Schlamm mit dem Bodenwasser von weiterher eingeschleppt wird. Soll die Forschung Erfolg haben, so muss also diesem Umstande Rechnung getragen werden.

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

Unter bodenfremden Stoffen verstehen wir chemisch angreifende Agenzien, die nicht einfach als wässrige Lösungen der in einem fraglichen Naturboden enthaltenen Salze oder Säuren anzusprechen sind. Ist die Korrosivität eines Naturbodens einigermaßen vorauszusehen, so entzieht sich die Korrosionsgefahr durch Fremdstoffe meistens jeder Voraussicht; oft wird alles völlig vom Zufall dirigiert. Als bekannte, bodenfremde Korrosionsstoffe seien genannt:

Abwässer aus gewerblichen Betrieben, wie Mostereien, Brennereien, Käsereien usw.; natürliche Dünger, besonders Jauche; Kunstdünger aller Art; Kanalisations-Schmutzwässer; Koks, Asche, Schlacke.

Korrosionen durch Abfallprodukte aus gewerblichen Betrieben kommen vorwiegend auf dem Lande vor, weil in den Städten im allgemeinen die Abwässer besser gesammelt und abgeführt werden; doch sind solche Fälle auch in städtischen Verhältnissen möglich, wie folgendes Beispiel zeigt:

Les sols argileux favorisent la corrosion par leur faculté de pouvoir retenir l'eau. L'accélération de la corrosion est la plus forte à un degré bien déterminé de la teneur en humidité du sol considéré; si la teneur est moins prononcée ou si elle l'est davantage, la corrosion se produit moins rapidement (4). C'est un fait connu que les câbles se trouvant directement dans l'eau — qu'il s'agisse de rivières ou de lacs, ou encore de canalisations de câbles *constamment* remplies d'eau — ne sont pas attaqués par la corrosion. On suppose que cela provient de ce que l'oxygène de l'air n'y a que difficilement accès (4); il est probable que la forte dilution de l'électrolyte joue aussi un rôle.

Les sols cités ci-haut ont une réaction en partie basique, en partie acide. On sait que certains métaux ne sont attaqués par la corrosion que dans des sols acides. Pour le fer, p. ex., il n'y a pas de danger de corrosion si la valeur pH est de 10 ou plus (28). Par contre, le plomb peut être attaqué aussi bien par les bases que par les acides, ce qui est dû à sa nature amphotère, c'est-à-dire à la propriété de ses oxydes de produire des acides et des bases (5).

Ne sont pas corrosifs les sols composés en majeure partie de sable ou d'éboulis de spath, quartz ou mica.

Dans le réseau des câbles téléphoniques suisses, une circonstance rend encore plus difficile la possibilité de reconnaître les causes de la corrosion; il s'agit du mode de pose des câbles. Une grande partie des câbles sont posés dans des caniveaux zorès. Les câbles ne sont donc pas directement en contact avec le sol. Le cas peut donc se produire qu'à l'endroit de la corrosion, le sol même ne soit pas corrosif, mais que du limon corrosif ait été amené de loin par l'eau. Si les recherches doivent aboutir, on doit aussi tenir compte de cette circonstance.

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

Par substances étrangères au sol, nous considérons des agents chimiques corrosifs qui ne sont pas simplement des solutions aqueuses de sels ou d'acides contenus dans le sol naturel en question. Si l'on peut, en quelque sorte, prévoir que le sol est corrosif, le danger de corrosion par des substances étrangères échappe le plus souvent à tout pronostic et dépend du hasard. Les substances corrosives les plus connues et qui sont étrangères au sol sont:

les eaux industrielles provenant des cidreries, des distilleries, des fromageries, etc.; l'engrais naturel, notamment le purin; tous les engrais artificiels; l'eau des égouts; le coke, les cendres, les scories.

Les cas de corrosion provoqués par des déchets d'exploitations industrielles sont les plus fréquents à la campagne, parce qu'en ville les eaux industrielles sont généralement collectées dans des canalisations. Toutefois, les cas de ce genre peuvent aussi se produire dans une ville, comme le montre l'exemple suivant:

Dans la cour d'une maison, où sont situés les ateliers d'un grand commerce photographique, on avait

Im Hofe eines Hauses, in dem sich die Arbeitsräume eines grossen Photogeschäftes befinden, war zum Sammeln der verbrauchten Fixiernatronlösung ein Fass aufgestellt. Es kam ab und zu vor, dass von der Lösung etwas verschüttet wurde und im Boden versickerte. Da an jener Stelle in geringer Tiefe ein Zoreskanal im Boden lag, war die unausbleibliche Folge eine schwere Korrosion des Kabelmantels. Die Ursache war natürlich leicht zu ermitteln.

Von einem Fall, der zwar nicht von Abwässern, aber immerhin von der Einwirkung eines gewerblichen Betriebes herrührt, wird aus England berichtet (5):

Ueber einem Rohrkanal befand sich ein Eiskasten. Infolge der Abkühlung bildeten sich im Scheitel des Rohres Tropfen von Kondenswasser, die auf das Kabel herunterfielen und eine lokale Korrosion verursachten.

Auch „ungewöhnliche“ tierische Ausscheidungen können Korrosionen verursachen:

Im Betonsockel eines Kabelüberführungstragwerkes hatte sich eine Ameisenkolonie eingenistet. Das Nest war in der röhrenförmigen Aussparung, durch die das Kabel eingeführt war, angelegt. Durch die ausgeschiedene Ameisensäure wurde das Kabel schwer korrodiert. Der Bleimantel war stellenweise quantitativ in Bleiformiat verwandelt. — Auch hier war die Ursache leicht und eindeutig zu bestimmen.

Zu den bodenfremden Stoffen ist schliesslich auch das Leuchtgas zu zählen, das etwa infolge undichter Rohrleitungen ausströmen kann und dann an benachbarten Bleikabeln schwere Korrosionen verursacht.

Es liegt in der Art des Auftretens von korrosiven Angriffen bodenfremder Stoffe — man ist heute fast versucht zu sagen „in der Taktik“ — dass die Korrosionsursache bei der Entdeckung des Fehlers oft nicht erkannt werden kann, weil sie verschwunden ist. Gewerbliche Einrichtungen können geändert oder verbessert worden sein, Rohrdefekte von Schmutzwasserleitungen sind behoben worden, Infiltrationen des Bodens sind durch Auswaschung verschwunden, usw.

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

Eine etwas kleinere, aber keineswegs zu vernachlässigende Rolle spielt der chemische Angriff durch Baumaterialien. Hier ist vor allem der Zement zu fürchten, immer unter der Voraussetzung, dass Feuchtigkeit zugegen ist (22). Zement ist korrosiv, weil er Kalk abgibt (22, 29). Schnell abbindende Zemente sind wegen ihres grösseren Tongehaltes weniger gefährlich als langsam abbindende.

Zementrohrleitungen müssen deshalb unbedingt wasserdicht sein. Die sogen. Zementsteine dürfen nur dort angewendet werden, wo Gewähr vorhanden ist, dass sie trocken bleiben. Da diese Garantie meistens fehlt, wird von der Verwendung von Zementsteinen abgeraten (20).

Ausser dem Zement ist natürlich auch der Kalkmörtel angreifend. Gips ist weniger zu fürchten, weil er auf dem Blei eine Schutzschicht aus Bleisulfat bildet, die das Metall vor weiteren Angriffen schützt (29).

placé un tonneau destiné à recueillir les bains usagés d'hyposulfite de soude. Il arrivait de temps à autre que du bain était répandu par terre et qu'il s'infiltrait dans le sol. A cet endroit même, un canal zorès se trouvait dans le sol à une profondeur relativement minime; il s'ensuivit une forte corrosion inévitable de la gaine de plomb. Ici, il fut facile d'en déterminer la cause.

Un cas non dû à des eaux industrielles mais tout de même provoqué par une exploitation de l'industrie nous est signalé d'Angleterre (5):

Au-dessus d'une canalisation en tuyaux, on avait placé un appareil de congélation. Du fait de la réfrigération, des gouttes d'eau condensée se formant au sommet du tuyau tombaient sur le câble, ce qui provoqua une corrosion locale.

Des sécrétions animales „peu ordinaires“ peuvent également provoquer des cas de corrosion:

Dans le socle en béton d'un support de transition, une colonie de fourmis avait élu domicile. Le nid avait été aménagé dans l'espace tubulaire servant à l'introduction du câble. La sécrétion de l'acide formique fut la cause d'une corrosion très accentuée. Par places, la gaine de plomb avait été transformée en formiate de plomb. — Ici également, la cause de la corrosion put être déterminée facilement et sûrement.

Parmi les substances étrangères au sol figure enfin le gaz d'éclairage qui peut s'échapper par des joints non étanches des conduites de gaz et attaquer les câbles à gaine de plomb du voisinage.

Il est dans la nature — on pourrait même dire dans la „tactique“ — de la corrosion par des substances étrangères au sol qu'au moment de la découverte du défaut on ne peut en reconnaître la cause parce qu'elle a disparu. Les installations industrielles peuvent avoir été modifiées ou améliorées, les défauts aux canalisations des eaux d'égouts ont été supprimés, les infiltrations dans le sol ont disparu du fait qu'elles ont été lavées par la pluie, etc.

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

Les attaques chimiques par des matériaux de construction jouent un rôle qui, s'il est moins important, ne doit tout de même pas être négligé. On doit craindre, avant tout, l'effet du ciment, mais également à condition qu'il y ait de l'humidité (22). Le ciment est corrosif parce qu'il rend de la chaux (22, 29). Les ciments rapides sont moins dangereux que les ciments lents pour la raison qu'ils contiennent davantage d'argile.

En conséquence, les conduites en tuyaux de ciment doivent être absolument étanches. Les plots de ciment ne doivent être utilisés que si on a la certitude qu'ils resteront secs. Cette condition ne pouvant généralement pas être réalisée, on déconseille de faire emploi de plots de ciment (20).

Outre le ciment, le mortier à la chaux est naturellement aussi corrosif. Le gypse est moins à craindre, car il forme sur le plomb une couche protectrice de sulfate de plomb qui le protège contre d'autres attaques (29).

Parmi les différentes sortes de bois, le chêne est nettement corrosif à cause de sa teneur en tanin (29).

Von den Hölzern ist das Eichenholz mit Sicherheit als korrosiv erkannt worden, und zwar wegen seines Gehaltes an Gerbsäure (29). Im allgemeinen werden alle Holzarten korrosiv, wenn sie faulen.

#### 2. 3. 1. 4. Beschleuniger der Korrosion.

Viele chemische Prozesse verlaufen von Natur aus so langsam, dass sie z. B. in der Industrie nicht angewandt werden könnten, wenn man nicht Mittel an der Hand hätte, sie zu beschleunigen. Diese Mittel sind die sog. Katalysatoren. Ihre Mitwirkung erstreckt sich auf anorganische und organische Stoffe; viele Vorgänge im lebenden Körper sind auf die Wirkung der Katalysatoren zurückzuführen.

Es liegt der Annahme nichts im Wege, dass auch bei den Korrosionsvorgängen Katalysatoren wirksam sind.

Die Lehre von der Katalyse ist eine Wissenschaft für sich. Die folgenden Tatsachen sind für unsere Betrachtungen wichtig: Katalysatoren bilden mit Substanzen, die träge miteinander reagieren, Zwischenprodukte, die dann schnell wieder zerfallen in tertiäre Produkte und in den Katalysator. Der Katalysator wird also immer wieder neu gebildet, somit nicht verbraucht. Es sieht aus, wie wenn die bloße Anwesenheit des Katalysators zum Ablauf der chemischen Reaktion nötig wäre und, da die Reaktion schneller verläuft, wie wenn sie (nach Ostwald) „geölt“ würde.

Die Beschleunigung korrosiver Vorgänge durch Katalysatoren ist noch wenig erforscht. Mit einiger Sicherheit kann nach Ansicht des Verfassers ein einziger Fall in dieses Kapitel aufgenommen werden, nämlich die Wirkung der *Phenole*.

Zahlreiche Beobachtungen in der Schweiz und in anderen Staaten haben immer wieder gezeigt, dass Kabel, deren Umhüllung mit Teer getränkt war, sehr oft in verhältnismässig kurzer Zeit korrodierten. Für diese Wirkung sind die in den Tränkungsmittern enthaltenen Teersäuren, die *Phenole*, verantwortlich. Ob nur das Monooxybenzol (die Karbolsäure) angreift, oder ob auch seine Homologen (andere zur Familie der Phenole gehörende Verbindungen) zu fürchten sind, ist noch nicht abgeklärt. Es ist daher im folgenden immer nur von „Phenol“ die Rede.

Die durch das Phenol verursachten Schäden sind erheblich (22). In Holland angestellte Untersuchungen zur Feststellung des Einflusses des Erdbodens verliefen resultatlos, weil bei allen Korrosionsfällen Teersäuren zugegen waren (30). Das Bild der Zerstörung wurde also vom Einfluss der Teersäuren beherrscht.

Auch unsere eigene Praxis liefert ständig neue Beweise für die Gefährlichkeit der Phenolwirkung. Hier ein Beispiel aus der jüngsten Zeit:

In einem lehmigen Boden wurden in Zores verlegte Kabel in ca. 6 Jahren zur Unbrauchbarkeit korrodiert. Die Untersuchung ergab die Anwesenheit von Phenol in der Jute. Das Bleirohr einer Wasserleitung, das in der Nähe nackt im selben Boden verlegt war, wies nach 60 Jahren nur ganz unbedeutende Spuren von Korrosion auf. Daraus muss geschlossen werden, dass der Boden an und für sich schwach korrosiv ist, dass also die kurze Lebensdauer der Kabel durch die Phenolwirkung bedingt ist.

D'une manière générale, tous les bois sont corrosifs lorsqu'ils pourrissent.

#### 2. 3. 1. 4. Accélérateurs de la corrosion.

Une quantité de réactions chimiques sont, de par leur nature, si lentes qu'on ne pourrait les appliquer p. ex. dans l'industrie si l'on ne possédait pas des moyens de les accélérer. Ces moyens consistent dans l'emploi de catalyseurs. Leur coopération s'étend aux substances anorganiques et organiques; beaucoup de réactions qui s'accomplissent dans le corps vivant sont la conséquence d'effets produits par les catalyseurs.

Rien ne s'oppose à admettre que des catalyseurs sont également en jeu dans la corrosion.

Les phénomènes de la catalyse constituent une science spéciale. Les faits suivants qui s'y rattachent ont une certaine importance pour la suite de nos considérations: les catalyseurs forment avec des substances à réaction mutuelle lente des produits intermédiaires qui se décomposent de nouveau rapidement en formant des produits tertiaires et le catalyseur. Le catalyseur se reforme donc toujours et ne s'use pas. Il semble que la simple présence du catalyseur suffise pour provoquer la réaction chimique qui, vu qu'elle se fait plus rapidement, paraît (selon Ostwald) avoir été „lubrifiée“.

Le rôle des catalyseurs dans l'accélération du processus de la corrosion est encore très peu connu. De l'avis de l'auteur du présent article, un seul cas peut être traité avec quelque apparence de certitude dans ce chapitre, soit celui concernant l'effet des *phénols*.

De nombreuses observations faites en Suisse et dans d'autres pays ont démontré que des câbles dont l'enveloppe avait été enduite de goudron étaient souvent, mais pas toujours, attaqués par la corrosion. Cet effet est dû aux acides de goudron contenus dans les matières d'imprégnation, soit aux *phénols*. On est encore dans le doute au sujet de la question de savoir si l'acide phénique seul a un effet corrosif ou si l'on doit aussi craindre d'autres combinés appartenant à la famille des phénols. Dans ce qui suit, nous ne parlerons par conséquent que du „phénol“.

Les dommages causés par le phénol sont considérables (22). Aux Pays-Bas, il ne fut pas possible, lors de recherches à ce sujet, d'établir l'influence du sol, parce que dans tous les cas de corrosion on constata la présence d'acides de goudron (30). L'aspect de la désagrégation était dominé par l'influence des acides de goudron.

Nos propres expériences pratiques nous fournissent continuellement des preuves du danger causé par l'effet du phénol. Nous mentionnons ci-après un exemple récent:

Des câbles protégés par des fers zorès posés dans un sol argileux ont été complètement détériorés par la corrosion au bout de 6 ans. L'examen de ce cas démontra que le jute enveloppant la gaine de plomb des câbles contenait du phénol. Le tube de plomb d'une conduite d'eau posée sans protection dans le même sol n'accusait après 60 ans que de faibles traces de corrosion. On put en déduire que le sol même n'exerçait qu'une faible action corrosive et que, par conséquent, la courte durée des câbles était imputable à l'effet du phénol.

Die korrosive oder korrosionsfördernde Wirkung des Phenols auf Blei und andere Metalle wurde wiederholt festgestellt und untersucht. Heute stehen sich zwei Ansichten gegenüber. Die eine besagt, dass das Phenol selbst die Metalle angreift, die andere teilt ihm die Rolle eines Katalysators zu. Auf Grund eigener Beobachtungen hält der Verfasser die zweite Ansicht für richtiger.

Bei Untersuchungen in Holland wurden Bleiprobe auch im Vakuum von Phenol angegriffen. Da aber das Phenol in einem Gemisch von Xylol und Paraffinöl gelöst war und über die Reinheit der Lösungsmittel nichts gesagt ist, erscheint das Resultat auch nicht eindeutig. Der Bericht schliesst denn auch die Deutung als Katalyse nicht aus (31). Auch andere Untersuchungen lassen den Schluss auf Katalyse zu (29, 32, 33, 34).

Die klarste bis heute erhältliche Antwort auf die Frage nach der Art der Wirkung von Phenol bei der Korrosion von Bleikabeln gibt wohl eine Untersuchung, die in Italien ausgeführt wurde (27). Aus dem Resultat der Versuche im Terrain und im Laboratorium wird dort der Schluss gezogen:

„Phenol kann die Korrosion fördern, aber nur, wenn Wasser und Kohlensäure zugegen sind.“

Unsere Beobachtungen scheinen diese Ansicht zu unterstützen:

- a) Bei allen phenolverdächtigen Korrosionsfällen — sie werden erkannt an der charakteristischen Form der Anfressungen, die später beschrieben wird — ist, wenn Phenol in der Kabelumhüllung nachgewiesen werden kann, und man also seine Mitwirkung als wahrscheinlich oder sicher annehmen muss, kein Phenol im Korrosionsprodukt nachweisbar.
- b) Der Gehalt der Kabelumhüllung an Phenol ist stets gering; manchmal sind nur Spuren vorhanden. Man muss also annehmen, die kleine Menge Phenol würde zur Zersetzung der immerhin beträchtlichen Menge Bleies, die zur Erzeugung eines Loches nötig ist, vollständig verbraucht. Da sie aber immer noch anwesend ist, wird das Phenol offenbar zurückgebildet.
- c) Man findet verschiedene Korrosionsprodukte wie Chlorid, Sulfat, Karbonat an den Freistellen, entsprechend der Zusammensetzung des benachbarten Erdreichs. Manchmal sind die Kavernen leer, obschon sie noch von der Kabelumhüllung bedeckt sind. Es muss sich in diesem Fall ein lösliches Bleisalz (Nitrat?) gebildet haben, das weggeschwemmt wurde.
- d) Bei allen Korrosionsfällen mit Phenol in der Kabelhülle war zugleich auch der Boden von einer korrosiven Art.
- e) Der Angriff erfolgte in allen bis jetzt beobachteten Fällen immer dort, *wo die Kabelhülle nicht dicht war*, wo also das Bodenwasser Zutritt hatte. Wo hingegen das Papierband sicher und wasserdicht am Blei klebte, konnte nie eine Anfressung wahrgenommen werden.
- f) Wenn Phenol allein das Blei angriffe, müssten alle Kabel mit phenolhaltiger Hülle korrodieren. Glücklicherweise war das bis jetzt nicht der Fall.

L'effet du phénol de provoquer ou d'accélérer la corrosion du plomb et d'autres métaux a donné lieu à des recherches réitérées. Aujourd'hui, deux opinions sont opposées. Selon l'une, le phénol attaquerait lui-même les métaux; selon l'autre opinion, le phénol aurait le rôle d'un catalyseur. Se basant sur ses propres observations, l'auteur est d'avis que la deuxième opinion prévaut.

A l'occasion de recherches entreprises aux Pays-Bas, des échantillons de plomb ont été attaqués par le phénol aussi dans le vide. Le phénol ayant été dissous dans un mélange de xylène et d'huile de paraffine, et rien n'étant mentionné quant au degré de pureté des dissolvants, le résultat obtenu n'est pas absolument convainquant. D'ailleurs, le rapport en cause n'exclut pas l'hypothèse du catalyseur (31). D'autres recherches admettent également la possibilité de l'action du phénol comme catalyseur (29, 32, 33, 34).

La réponse la plus claire à la question de savoir quel est le genre d'effet du phénol dans les cas de corrosion de câbles sous plomb a été donnée à la suite de recherches effectuées en Italie (27). On conclut du résultat des recherches sur le terrain et dans les laboratoires: „Le phénol peut activer la corrosion, mais seulement en présence d'eau et d'acide carbonique“.

Nos propres observations semblent confirmer cet avis:

- a) Dans tous les cas de corrosion où l'effet du phénol est soupçonné — on les reconnaît à la forme caractéristique des points rongés que nous décrirons plus tard — aucune trace de phénol n'est constatée dans le produit de la corrosion, malgré qu'on a la preuve de son existence dans l'enveloppe du câble et que l'on doit supposer ou admettre que le phénol a pris une part active dans le processus de la corrosion.
- b) La teneur en phénol dans l'enveloppe de câble est toujours minime; quelquefois, il n'y en a que de légères traces. On pourrait donc croire que la petite quantité de phénol serait complètement absorbée par la désagrégation de la quantité de plomb assez considérable nécessaire à la formation d'un trou. Le phénol n'ayant toutefois pas disparu, il s'ensuit qu'il s'est reconstitué.
- c) Aux points rongés, on trouve divers produits résultant de la corrosion, tels que du chlorure, du sulfate et du carbonate, produits correspondant à la constitution du sol environnant. Souvent les creux sont vides, quoiqu'ils soient encore recouverts de l'enveloppe du câble. Dans ce cas, il s'est probablement formé un sel de plomb (nitrate?) qui aura été dissous et emporté par l'eau.
- d) Dans tous les cas de corrosion qui se sont produits en présence de phénol contenu dans l'enveloppe du câble, le sol était également corrosif.
- e) Dans tous les cas observés jusqu'à ce jour, l'attaque corrosive avait toujours lieu aux points où l'enveloppe du câble n'était pas imperméable, donc là où l'eau du sol avait accès. Partout où le ruban de papier était bien collé sur la gaine de plomb et l'enveloppait de façon étanche, une attaque du plomb n'a jamais été constatée.

Diese Beobachtungen bilden augenscheinlich einen Beitrag zur Stützung der Theorie der katalytischen Wirkung des Phenols bei der Bleikorrosion.

Für die Beurteilung der Gefährlichkeit der Teersäuren ist es eigentlich gleichgültig, ob sie das Blei selbst angreifen oder als Katalysator beim Angriff durch Bodenwässer wirken.

Nachdem die Gefahr erkannt war, wurde Teer als Imprägniermittel abgeschafft und durch Asphalt ersetzt. Die Zoreisen werden aber immer noch mit Teer behandelt. Es kann zur Stunde noch nicht gesagt werden, ob darin nicht doch noch ein Gefahrenmoment besteht und ob der Teer ganz aus der Nähe der Kabel verboten werden muss. Es soll demnächst versucht werden, die Frage durch eine Untersuchung zu lösen.

### 2. 3. 2. Korrosion durch Elektrolyse.

Wie jedes Metall kann auch das Blei leicht durch Elektrolyse zersetzt werden. Die Zerstörung der Kabelbleimäntel kann definiert werden als *Korrosion durch einen von aussen aufgedrückten Strom* (18).

Die elektrolytische Korrosion vollzieht sich nach den allgemeinen Gesetzen der Elektrolyse. Demnach wird das Blei zersetzt, wenn es in einem elektrolytischen Stromkreis Anode ist, bei Kabelkorrosionen also dort, wo der Strom aus dem Bleimantel austritt. Diese Regel gilt aber nicht streng; das Blei kann auch als Kathode zersetzt werden, nämlich dann, wenn der Elektrolyt allgemein oder wenigstens an der Stromaustrittsstelle alkalisch ist (35, 36). Diese kathodische Korrosion, die auf die amphotere Natur des Bleies zurückgeführt wird, scheint indessen selten zu sein (5).

Auch bei der Kabelkorrosion gelten die Gesetze von Faraday. Während man aber im Laboratorium meist Übereinstimmung des Resultates mit dem Faradayschen Gesetze findet, ist dies in der Praxis häufig nicht der Fall, was dann zu nutzlosen theoretischen Erwägungen führt. Der Grund liegt nicht etwa darin, dass „der Faraday“ a priori nicht stimmt, sondern in Nebenumständen, die schwer zu erfassen sind. Einer dieser Umstände ist das gleichzeitige Auftreten elektrolytischer und chemischer Korrosion. Es liegt auf der Hand, dass dort, wo Elektrolyse auftritt, der nötige Elektrolyt vorhanden sein muss, der das Blei chemisch (nach der Definition unter 2. 3. 1.) angreift. Die Menge des zersetzten Metalls ist dann grösser als jene, die dem aus dem Bleimantel austretenden Strom entsprechen würde (5). Umgekehrt kann die zersetzte Metallmenge kleiner sein als die entsprechend dem gemessenen Strom zu erwartende Menge, weil ein nicht kontrollierbarer Teil des Stromes in Joulesche Wärme umgesetzt wird.

Bei der chemischen Korrosion ist die Ursache meist in der unmittelbaren Nähe der Fehlerstelle, nämlich im benachbarten Erdreich, zu suchen. Bei der elektrolytischen Anfressung dagegen kann die eigentliche Ursache, die Stromquelle, weit entfernt sein. Die Ermittlung dieser Ursache ist dann eine rein elektrotechnische Angelegenheit. Die Aufgabe besteht u. a. in der Messung der Ströme, die im Bleimantel, vom Bleimantel zur Erde oder von der Erde zum Bleimantel fließen, und der Spannungen des Bleimantels gegen die Erde. Da der Strom theoretisch an jedem

f) Si le phénol seul devait attaquer le plomb, tous les câbles à enveloppe contenant du phénol devraient être rongés par la corrosion. Tel n'a heureusement pas été le cas jusqu'à ce jour.

Ces observations contribuent à soutenir la théorie de l'effet catalytique du phénol dans la corrosion du plomb.

Pour se faire un jugement sur le danger que présentent les acides de goudron, il n'importe pas de savoir s'ils attaquent eux-mêmes le plomb ou s'ils agissent à titre de catalyseur dans les attaques par les eaux du sol.

Dès qu'on reconnut le danger qu'offre le goudron, on le supprima comme agent d'imprégnation et on le remplaça par l'asphalte. Toutefois, on traite encore les fers zorès au goudron. On ne peut dire à l'heure qu'il est s'il n'existe quand même pas un certain danger et si le goudron ne devrait pas être complètement éliminé dans les environs immédiats des câbles. On cherchera prochainement à résoudre cette question par des essais.

### 2. 3. 2. Corrosion par l'électrolyse.

Comme tout autre métal, le plomb aussi peut être facilement décomposé par l'électrolyse. La détérioration des gaines de câbles peut être définie de la manière suivante: *corrosion provoquée par un courant venant de l'extérieur* (18).

La corrosion électrolytique s'accomplit selon les lois générales de l'électrolyse. Par conséquent, le plomb se décompose lorsqu'il est l'anode dans un circuit électrolytique; donc en cas de corrosion de câbles il se décompose au point où le courant quitte la gaine de plomb. Toutefois cette règle n'est pas absolue; le plomb peut être aussi décomposé lorsqu'il est cathode, soit dans les cas où l'électrolyte est alcalin d'une façon générale ou du moins aux points de sortie du courant (35, 36). Cependant, la corrosion cathodique qui résulte de la nature amphotère du plomb paraît être assez rare (5).

La corrosion des câbles est également soumise aux lois de Faraday. Mais tandis que, dans les laboratoires, le résultat correspond le plus souvent à la loi de Faraday, il arrive souvent que tel n'est pas le cas dans la pratique, ce qui montre l'inutilité de pures considérations théoriques. La raison n'en est pas que la loi de Faraday ne soit juste, mais elle réside dans des circonstances secondaires difficiles à saisir. Une de ces circonstances est l'apparition simultanée de la corrosion électrolytique et de la corrosion chimique. Il est clair que là où l'électrolyse se produit, l'électrolyte indispensable doit être présent et qu'à son tour il peut attaquer chimiquement le plomb (selon la définition sous 2. 3. 1). La quantité de métal décomposé est alors plus grande que celle qui résulterait uniquement du courant sortant du câble (5). Inversement, la quantité de métal décomposé peut être plus petite que la quantité qui aurait dû correspondre au courant mesuré, parce qu'une partie du courant échappant au contrôle est transformée en effet Joule.

Dans la corrosion chimique, la cause doit être cherchée le plus souvent à proximité immédiate du point du défaut, c'est-à-dire dans le sol environnant. Par contre, dans la corrosion électrolytique, la cause proprement dite — la source du courant — peut être

Punkt des Bleimantels austritt, ist man dazu gekommen, anzugeben, wieviel Strom auf der Flächeneinheit austreten müsste, damit das Kabel gefährdet würde. In der Schweiz rechnet man mit  $0,25 \text{ mA/dm}^2$  (37), in Deutschland z. B. mit  $0,75 \text{ mA/dm}^2$  (38), in Amerika mit  $0,35$  bis  $0,45 \text{ mA/dm}^2$  (39). Es muss aber darauf aufmerksam gemacht werden, dass diese Annahmen nur theoretischen Wert haben, da, wie ja allgemein bekannt ist (z. B. 34), der korrosive Angriff gerade bei der Elektrolyse immer auf einem sehr kleinen Fleck einsetzt, an dem die Stromdichte grösser ist als die pro  $\text{dm}^2$  ermittelte. Der Verfasser neigt zu der Ansicht, dass es überhaupt kaum möglich ist, eine untere Grenze anzugeben.

### 2. 3. 2. 1. *Streuströme elektrischer Anlagen.*

Die bekanntesten Ursachen der elektrolytischen Korrosion sind die Streuströme geerdeter elektrischer Anlagen, insbesondere der Gleichstrombahnen, die die Schienen als Leiter benützen. Trotz des verhältnismässig grossen Querschnittes der Schienen und trotz sorgfältiger elektrischer Verbindung der Schienenstösse ist der Widerstand eines längeren Schienenstranges nicht so klein, dass nicht ein manchmal beträchtlicher Teil des Stromes durch den Erdboden — falls seine Leitfähigkeit gross genug ist — fließen würde. Der Erdboden stellt also einen Nebenschluss zum Schienenstrang dar. Befinden sich im Bereiche dieses Nebenschlusses noch andere metallene Leiter, wie Gas- und Wasserröhren oder Kabel, so folgt der „Irrstrom“ diesen Leitungen so weit, bis er infolge des Spannungsunterschiedes der Rohrleitung gegenüber den Schienen zu diesen „zurückgesaugt“ wird, d. h. aus der Rohrleitung oder dem Kabel austritt. An dieser Austrittsstelle, der Anode im elektrolytischen Stromkreis, entsteht dann Korrosion.

Im Prinzip ist die Gefährdung der Erdkabel durch Streuströme ziemlich leicht zu überblicken; in der Praxis stellen sich der Ermittlung der Ursachen und ihrer Bekämpfung jedoch mancherlei Schwierigkeiten entgegen. Diese hängen zusammen mit der unterschiedlichen Leitfähigkeit des Bodens, mit der veränderlichen Belastung des streuenden Objektes, der wechselnden Stromrichtung usw. Streuströme können zeitweise, z. B. in der trockenen Jahreszeit, ganz versiegen (40); zu ihrer Bestimmung sind deshalb verschiedene Faktoren, wie Bodenverhältnisse, Wetter, Jahres- und Tageszeit, Grundwasserverhältnisse usw. zu berücksichtigen. Es kann hier nicht näher darauf eingetreten werden.

### 2. 3. 2. 2. *Elementbildung.*

Eine Gefährdung unterirdischer Leitungen durch elektrolytische Anfressung kann auch infolge Bildung von galvanischen Elementen im Boden entstehen. Anlass zur Elementbildung geben Ansammlungen von Mineralien, Erzen, Salzen, ferner Konzentrationsunterschiede der im Bodenwasser gelösten Stoffe und natürlich alle Metallmassen.

Der Bleimantel eines Kabels selbst kann im Verein mit dem Bodenwasser als Elektrolyt zu einem Element werden. Wenn die Stellen verschiedenen Potentials, die nach Abschnitt 2.3 ein Lokalelement bilden, weit auseinander liegen, wie in Fig. 2 angedeutet ist,

très éloignée. La détermination de cette cause rentre donc exclusivement dans le domaine électrotechnique. La tâche consiste, entre autres, à mesurer les courants qui circulent dans la gaine de plomb, de la gaine de plomb à la terre ou de la terre à la gaine de plomb, et les tensions qu'accusent la gaine de plomb contre la terre. Vu que, théoriquement, le courant sort à chaque point de la gaine de plomb, on a été amené à indiquer la quantité de courant qui doit sortir de l'unité de surface pour que le câble soit en danger. En Suisse, on admet  $0,25 \text{ mA/dm}^2$  (37), en Allemagne  $0,57 \text{ mA/dm}^2$  (38) et en Amérique de  $0,35$  à  $0,45 \text{ mA/dm}^2$  (39). On doit bien se rendre compte que ces hypothèses ont une valeur purement théorique (p. ex. 34), vu que, justement dans l'électrolyse, l'attaque corrosive se produit toujours sur une très petite surface, où la densité du courant est supérieure à celle déterminée par  $\text{dm}^2$ . L'auteur est d'avis qu'il n'est guère possible d'indiquer une limite inférieure.

### 2. 3. 2. 1. *Courants vagabonds d'installations électriques.*

Les causes les plus connues de la corrosion électrolytique résident dans les courants vagabonds d'installations électriques reliées à la terre, notamment des chemins de fer à courant continu utilisant les rails comme conducteurs. Malgré la section relativement grande des rails et malgré les connexions soigneusement établies entre les rails, la résistance électrique d'une voie ferrée d'une certaine longueur n'est pas si petite qu'une partie souvent assez considérable de courant ne puisse passer par la terre lorsque la conductibilité de celle-ci est assez grande. Le sol forme donc une dérivation par rapport à la voie ferrée. Si d'autres conduites métalliques telles que des tuyaux du gaz et de l'eau ou des câbles se trouvent situées dans la zone de cette dérivation, le courant vagabond suit ces conduites jusqu'à l'endroit où il est de nouveau „aspiré“ par les rails à cause de la différence de potentiel existant entre la conduite en tuyaux et les rails, c'est-à-dire jusqu'au point où il quitte le tuyau ou le câble. C'est à ce point de sortie représentant l'anode du circuit électrolytique que la corrosion se produit.

En principe, le danger des courants vagabonds à l'égard des câbles est assez facile à reconnaître; dans la pratique, la détermination des causes et la lutte qu'on doit engager pour les éliminer se heurtent à certaines difficultés. Celles-ci dépendent de la conductibilité instable du sol, de la charge variable de la génératrice des courants vagabonds, de l'alternance du sens du courant, etc. A certaines époques, p. ex. en cas de sécheresse, les courants vagabonds peuvent complètement disparaître (40); il convient donc de tenir compte de différents facteurs pour les déterminer, tels que les conditions du sol, les conditions atmosphériques, l'époque de l'année et les heures du jour, les eaux souterraines, etc. Nous ne pouvons ici nous étendre sur ce sujet.

### 2. 3. 2. 2. *Formation d'éléments.*

Le danger de corrosion électrolytique des conduites souterraines peut aussi provenir de la formation d'éléments galvaniques dans le sol. La formation d'éléments est due à l'accumulation de minéraux, de

so kann das Element nicht mehr als Lokalelement angesprochen werden; der Strom im Bleimantel wird messbar.



Fig. 2.

Die Teile des Elementes sind dieselben wie beim Lokalelement. Grundsätzlich bildet z. B. jede korrodierte Stelle des Bleimantels mit dem intakten Teil ein Element.

Da im Bleimantel ein messbarer Strom oft über grosse Strecken fliesst, wie bei der Streustromelektrolyse, könnte man in Versuchung kommen, den Fall als Elektrolyse zu bezeichnen. Das wäre aber durchaus falsch; man würde Ursache und Wirkung miteinander verwechseln. Für die Elektrolyse fehlt das unter 2. 3. 2 definierte Merkmal: der von aussen aufgeprägte Strom. Der im Bleimantel fliessende Strom ist die Wirkung des Elementes, Ursache ist die chemische Umsetzung an den Elektroden. Bei einem Nutzelement wird die Lösungselektrode auch nicht durch den Strom zersetzt, sondern infolge der chemischen Umsetzung kann das Element Strom abgeben. Es handelt sich also trotz des Stromflusses im Bleimantel um chemische Korrosion. Der im Bleimantel fliessende Strom ist ein Merkmal hierfür, sofern er nicht als Fremdstrom identifiziert werden kann.

Befinden sich in der Nähe des korrodierenden Kabels Metallmassen ohne metallische Verbindung mit dem Kabel, so werden sie von unserem Element polarisiert.

(Fortsetzung folgt.)

minerais, de sels, aux différences de concentration de substances dissoutes dans l'eau de fond, et naturellement à la présence de masses métalliques.

La gaine de plomb d'un câble peut elle-même former un élément avec l'eau de fond fonctionnant comme électrolyte. Si les points de différent potentiel qui, selon le chapitre 2. 3, forment un élément local se trouvent très éloignés l'un de l'autre, comme indiqué à la fig. 2, l'élément ne peut plus être considéré comme un élément local; le courant circulant dans la gaine de plomb peut être mesuré.

Les différentes parties de l'élément sont les mêmes que celles d'un élément local. En principe, chaque partie attaquée de la gaine de plomb forme un élément avec la partie intacte.

Du fait que, dans la gaine de plomb, un courant mesurable circule sur de longs parcours comme dans les cas d'électrolyse causée par les courants vagabonds, on pourrait être tenté de croire qu'il s'agit d'électrolyse. On aurait tort, car on confondrait la cause avec l'effet. Pour l'électrolyse, la caractéristique définie sous 2. 3. 2 fait défaut, soit le courant venant de l'extérieur. Le courant qui circule dans la gaine de plomb est l'effet de l'élément, la transformation chimique aux électrodes en est la cause. Dans un élément ordinaire, ce n'est non plus pas le courant qui décompose l'électrode, mais c'est la transformation chimique qui engendre le courant. Malgré la circulation de courants dans la gaine de plomb, il s'agit donc de corrosion chimique, et ledit courant en est la preuve, si on n'arrive pas à l'identifier comme étant de provenance étrangère.

Si des masses métalliques se trouvent dans le voisinage du câble attaqué par la corrosion sans qu'elles accusent une connexion métallique quelconque avec le câble, elles seront polarisées par l'élément.

(A suivre.)

## Neuerungen auf dem Gebiete der Nachrichtentechnik in der Schweiz für das Jahr 1939.

(Für die Erläuterungen zu dieser Veröffentlichung siehe die Technischen Mitteilungen des Jahres 1943, Nr. 1, Seite 28.)

621.39

### A. TELEPHON.

#### 1. Teilnehmereinrichtungen und Bestandteile bei Teilnehmern.

a) *Umleiter für Telephonanrufe.* Von Telephonenteilnehmern wird immer wieder der Wunsch geäussert, dass für sie bestimmte Anrufe vorübergehend auf eine andere Nummer umgeleitet werden möchten. Während ein solcher Auftrag in Handzentralen rasch und mit einfachen Mitteln durchgeführt werden kann, stösst man bei automatischen Telephonzentralen auf grössere Schwierigkeiten, die eine Umleitung von nur kurzer Dauer nicht zulassen. In diesen Zentralen konnten deshalb bisher Umleitungen erst bei einer Dauer von mindestens 4 Tagen und unter bestimmten technischen Voraussetzungen vorgenommen werden.

Es ist nun gelungen, einen kleinen Apparat zu schaffen, der beim Teilnehmer aufgestellt wird und ihm die Möglichkeit gibt, jederzeit irgend eine Nummer festzulegen, nach der bei seiner Abwesenheit

die für ihn bestimmten Anrufe umgeleitet werden sollen.

Der Apparat ist auf Seite 183 der Technischen Mitteilungen des Jahres 1940 beschrieben.

Ueber Gebühr und Anschlussbedingungen geben die Telephonämter Auskunft.

b) *Telephonverstärker für Schwerhörige.* Auf Seite 48 der Technischen Mitteilungen von 1934 ist eine besondere Einrichtung für Schwerhörige beschrieben. Es handelt sich um eine Apparatur für Schwerhörige, die öfters telefonieren müssen.

Die Beschreibung auf Seite 36 des Jahrganges 1943 hingegen befasst sich mit der Anwendung des Telefons für Gespräche zwischen einem Schwerhörigen und seinem Besucher im nämlichen Raume. Die Vorrichtung besteht aus zwei Zweiganschlüssen mit Umschaltekästchen; am Apparat des einen Zweiges spricht der Besucher, am andern, der mit den besonderen Verstärkern versehen ist, der Schwerhörige.