

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

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe

Band: 35 (1957)

Heft: 12

Artikel: Probleme der Bleikabelkorrosion. 7. Mitteilung, Kabelfabrikation, Korrosion und Kabelfehlerstatistik = Problèmes de la corrosion des câbles sous plomb. 7e communication, fabrication des câbles, corrosion et statistique des défauts de câbles

Autor: Vögtli, K.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-875097>

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 30.04.2026

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

TECHNISCHE MITTEILUNGEN

BULLETIN TECHNIQUE

PTT

BOLLETTINO TECNICO

Herausgegeben von der Schweizerischen Post-, Telegraphen- und Telefonverwaltung. Publié par l'administration des postes, télégraphes et téléphones suisses. Pubblicato dall'amministrazione delle poste, dei telegrafi e dei telefoni svizzeri

Probleme der Bleikabelkorrosion

(7. Mitteilung)

Kabelfabrikation, Korrosion und Kabelfehlerstatistik

Von Kurt Vögli, Bern

Problèmes de la corrosion des câbles sous plomb

(7^e communication)

Fabrication des câbles, corrosion et statistique des défauts de câbles

Par K. Vögli, Berne

621.315.221:620.193

Zusammenfassung. Eine Analyse der zeitlichen Verteilung der Korrosionsschäden im Kabelnetz der schweizerischen PTT-Verwaltung zeigt, dass die Häufigkeit der auf Elektrolyse zurückzuführenden Korrosionen konstant geblieben ist, wogegen die Schäden zufolge Ermüdung der Bleimäntel und der sogenannten Phenolkorrosion stark zugenommen haben.

Résumé. L'analyse de la répartition chronologique des dommages dus à la corrosion dans le réseau des PTT montre que leur fréquence est restée constante en ce qui concerne les dommages occasionnés par l'électrolyse, alors que celle due à la fatigue des enveloppes et celle relative à la corrosion dite «du phénol» ont fortement augmenté.

1. Einleitung

Eine Kabelfehlerstatistik kann von ganz verschiedenen Gesichtspunkten aus aufgenommen und interpretiert werden. Verschiedene Arbeiten [1...5], in denen die Fehlerhäufigkeit im Kabelnetz der schweizerischen PTT-Verwaltung behandelt wird, geben vor allem Auskunft über wirtschaftliche und organisatorische Fragen. Man kann aus ihnen zum Beispiel sofort erfahren, wie viele Schadenfälle gesamthaft und nach verschiedenen Ursachen getrennt in einem bestimmten Zeitraum aufgetreten sind und wie viele in Zukunft erwartet werden müssen. Man kann sich auch ein Bild davon machen, was die Reparaturen kosteten und noch kosten werden. Kurven und Tabellen zeigen, wie das Kabelnetz wächst, wie viele Kilometer neuer Kabel verlegt wurden und um wie viele Kilometer das Trasse zugenommen hat. Angaben über das mittlere Fehleralter von Kabeln mit dünnen Bleimänteln und von dickwandigen Kabeln lassen abschätzen, in welchem Masse ein Kabel durch eine grössere Wandstärke den verschiedenen Korro-

1. Introduction

Une statistique des défauts de câbles peut être établie et interprétée à partir de points de vue totalement différents. C'est ainsi que divers travaux [1...5] considérant la fréquence des défauts dans le réseau des PTT fournissent des renseignements surtout d'ordre économique ou relatifs à des questions d'organisation. Leur considération permet par exemple de déterminer sans autre, globalement ou répartis selon leurs causes, le nombre des dommages apparus dans une période donnée et celui auquel il faut s'attendre à l'avenir. On peut aussi se faire une image du coût des réparations qui en résultent. Courbes et tableaux montrent l'extension du réseau, combien de kilomètres de câbles neufs et de tracé furent posés. Des données sur l'âge moyen des dommages de câbles avec gaines de plomb minces et épaisses laissent évaluer dans quelle mesure un câble peut être rendu plus résistant à l'action des différents agents de corrosion par le choix d'épaisseurs plus importantes.

sionsarten gegenüber widerstandsfähiger gemacht werden kann usw.

Fragt man aber, ob die Kabel im allgemeinen besser oder schlechter geworden sind, das heisst, ob diese heute den verschiedenen korrosiven Einflüssen besser widerstehen als früher, so erhält man keine direkte Antwort. In der vorliegenden Arbeit soll daher das umfangreiche statistische Material in der Weise bearbeitet werden, dass etwas über die Qualität der Kabel verschiedener Fabrikationsepochen ausgesagt werden kann. Besonders darf aus einer Untersuchung der Fehlerhäufigkeit in Funktion der Fabrikationszeit ein solcher Aufschluss erwartet werden.

2. Alterung einer Kabelanlage

Es soll zunächst eine ausgedehnte Kabelanlage betrachtet werden, die nur Kabel enthält, die gleichzeitig zur Zeit $t = 0$ verlegt worden sind. In einem späteren Zeitpunkt $t = t_1$ sind dann alle Teile der Anlage während gleich langer Dauer, aber verschiedenen und örtlich unterschiedlich starken Korrosionsinflüssen ausgesetzt gewesen. Zur Zeit $t = 0$ wird ein solches Netz noch keine Schäden aufweisen, abgesehen von allfälligen Montierungsfehlern, die aber nicht berücksichtigt werden sollen. Einige Zeit später werden dann infolge Korrosion der Bleimäntel vereinzelte Störungen zu beheben sein; mit zunehmendem Alter der Anlage wird deren Störanfälligkeit immer grösser werden.

Es lassen sich plausible Gründe für eine mit dem Alter ansteigende Fehlercharakteristik aufführen. Betrachtet man zum Beispiel den Fall der elektrolytischen Korrosion: Bereits kurze Zeit nach der Verlegung können dort Schäden auftreten, wo starke Ströme aus dem Bleimantel eines Kabels austreten. Dies kann beispielsweise bei einer Bahnunterführung der Fall sein. Solche Fehlerstellen sind aber örtlich eng begrenzt, so dass nur wenige Schadenfälle dieser Art zu befürchten sind, besonders dann, wenn nach deren erstem Erscheinen Massnahmen getroffen werden, die weitere Störungen ausschliessen. Je länger jedoch die Kabel im Boden liegen, um so grösser wird die Gefahr, dass nun auch kleinere Stromstärken genügend Material abgetragen haben, um Fehler zu bewirken. Die Gebiete mit geringen Stromstärken in den Kabelmänteln sind aber sehr viel grösser als jene mit extrem grossen Werten, so dass auch die Zahl der Schadenstellen zunehmen wird. Analog liegen die Verhältnisse bei den Ermüdungsbrüchen, weil weit mehr Objekte geringfügigen Erschütterungen ausgesetzt sind als sehr starken. Bei der Gruppe der chemischen Korrosionen werden Stellen mit extrem aggressiven Verhältnissen ebenfalls selten anzutreffen sein, während grosse Gebiete mittlere bis geringe Aggressivität aufweisen werden. Wir sind also berechtigt anzunehmen, dass die Fehlerhäufigkeit mit zunehmendem Alter der Anlage ansteigen wird.

Il n'est par contre pas possible de savoir directement si la qualité des câbles est meilleure ou moins bonne, c'est-à-dire si la résistance aux agents de corrosion a augmenté ou diminué. C'est pourquoi le matériel statistique considérable doit être utilisé en vue de l'établissement de renseignements sur les câbles d'époques de fabrication différentes. On peut s'attendre à de telles informations par l'établissement de la fréquence des dommages en fonction de l'époque de fabrication.

2. Vieillessement d'une installation de câbles

On considère tout d'abord une installation étendue de câbles ayant tous été posés au même moment $t = 0$. Plus tard, en un moment $t = t_1$, toutes les parties de l'installation sont d'âge égal mais exposées à des agents de corrosion différents par le lieu et l'intensité de leur action. Compte non tenu des déficiences de montage qui n'ont pas à être considérées, un tel réseau ne présentera au moment $t = 0$ aucun dommage. Plus tard, des perturbations localisées ayant leurs origines dans la corrosion devront être écartées. Enfin la fréquence des perturbations augmentera avec l'âge de l'installation.

On peut mentionner des causes plausibles pour l'augmentation des déficiences avec le temps. Si l'on considère par exemple le cas des corrosions électrolytiques, il est alors possible de dire que peu de temps après la pose des câbles, des dommages apparaîtront tout d'abord aux endroits où de forts courants sortent des enveloppes. Ceci peut se produire par exemple aux passages souterrains. Ces endroits étant étroitement localisés, leur apparition sera réduite, d'autant plus qu'on sera intervenu efficacement lors de leur détection. Le danger d'un transport de matériel sous l'effet d'intensités de courant, aussi petites soient-elles, sera d'autant plus grand que le câble aura été plus longtemps dans le sol. Les régions avec faibles intensités de courant sont cependant sur les gaines de plomb bien plus nombreuses que celles présentant de grandes valeurs, si bien qu'il faut s'attendre à une augmentation des déficiences. Les conditions sont semblables dans le cas de ruptures occasionnées par la fatigue puisque là aussi le nombre des cas soumis à des ébranlements de peu d'importance dépasse de beaucoup les cas de grande intensité. Dans le groupe des corrosions par voie chimique, les endroits soumis à des conditions de grande agressivité se rencontreront peu souvent, alors que l'extension des zones d'agressivité moyenne ou faible sera beaucoup plus étendue. Nous sommes donc autorisés à admettre que la fréquence des déficiences de l'installation augmentera avec le temps. La rapidité de l'augmentation des dommages dépendra de la qualité des câbles. Pratiquement, il serait souhaitable pour l'exploitation d'avoir un type de câble pour lequel les dommages dus à la corrosion apparaîtraient après que la plus grande

Wie rasch die Schadenfälle zunehmen, hängt von der Qualität der Kabel ab. Für den praktischen Betrieb wäre ein Kabeltyp erwünscht, bei dem Korrosionsschäden erst dann erwartet werden müssen, wenn die Kabel aus anderen betrieblichen Gründen bereits zum grössten Teil ausgewechselt worden sind. So würde sich die beginnende Anfälligkeit des Kabelmaterials überhaupt nicht auswirken. Für den Betrieb sehr unangenehm ist es dagegen, wenn Kabel nach ein bis zwei Jahren bereits geflickt werden müssen. Den Praktiker interessieren daher weniger die allgemeinen Funktionen der Fehlerverteilung als die Fehlerhäufigkeit in dem Zeitabschnitt, in dem die Kabel tatsächlich im Betrieb stehen.

Nimmt man an, ein und derselbe Fehler trete nur einmal auf, so ist bei homogenen, das heisst aus lauter gleichalterigen Kabeln zusammengesetzten Anlagen das Alter eines Kabelfehlers immer gleich dem Alter der ganzen Anlage im Augenblick seines Auftretens. Bei einem heterogenen Netz, das Kabel verschiedener Fabrikationsepochen enthält, ist dagegen das Alter eines Kabelfehlers in gewissen Grenzen variabel. Man wird daher, um wenigstens im Durchschnitt eine Aussage über das Fehleralter machen zu können, das mittlere Alter aller Schäden bestimmen, die während eines bestimmten Zeitabschnittes aufgetreten sind. Fragen wir zum Beispiel nach dem mittleren Alter aller während der Dauer eines Jahres fehlerhaft gewordenen Kabel, so wird jede Gruppe von Kabeln, die im Laufe eines bestimmten Jahres verlegt worden sind, Fehler aufweisen, deren Alter der Zeitdifferenz zwischen Verlegungs- und Stichjahr entspricht. Je nach der Qualität der betrachteten Kabel wird eine kleinere oder grössere Zahl von Fehlern auftreten, so dass bei heterogenen Anlagen das mittlere Alter der Fehler durch die Kabelqualität aller Gruppen bestimmt ist. Offenbar steigt das mittlere Fehleralter an, wenn Kabel verlegt werden, bei denen es länger dauert bis Korrosionsschäden auftreten. Leider ist aber ein verhältnismässig hohes mittleres Fehleralter kein eindeutiges Kriterium für die Güte neu verlegter Kabel. Möglicherweise steigt nämlich das mittlere Fehleralter einer Anlage nur deshalb, weil gewisse Gruppen älterer Kabel sehr viele Schadenfälle zeitigen. Nehmen wir zum Beispiel an, die Kabel eines bestimmten Jahrganges seien sehr schlecht, so dass die Zahl der Fehler S dieser Gruppe bedeutend grösser ist als normal. Zunächst wird nach der Verlegung einer solchen, qualitativ minderwertigen Gruppe während einer gewissen Zeit das mittlere Fehleralter herabgesetzt. Sind aber im betreffenden Netz viele alte Kabel vorhanden, die eine bedeutende Fehlerzahl aufweisen, so bleibt der Einfluss vorerst gering. Mit der Zeit wird aber S stark anwachsen, wodurch das mittlere Fehleralter mehr und mehr beeinflusst wird. Ist die S -Gruppe einmal länger im Boden als das durchschnittliche Fehleralter in einem analogen Netz ohne die anfällige Gruppe, so wird im betrachteten Netz dieses durchschnittliche Fehleralter immer

partie eut été changée pour d'autres raisons. Les débuts de la corrosion seraient ainsi sans conséquence. Il est par contre très désagréable pour l'exploitation d'avoir déjà à réparer quelques câbles après un ou deux ans. Le praticien s'intéresse donc moins aux fonctions générales de la répartition des dommages qu'à leur fréquence au cours de périodes durant lesquelles les câbles sont effectivement en exploitation.

Suppose-t-on qu'un seul et même dommage ne se rencontre qu'une fois, l'âge d'une défectuosité est alors toujours égal à l'âge de l'installation au moment du dommage si celle-ci est composée de façon homogène de câbles d'âge égal. Par contre, dans le cas d'un réseau hétérogène comprenant des câbles d'époques différentes, l'âge d'un dommage est incertain. C'est pourquoi on établira l'âge moyen de tous les dommages apparus au cours d'une période donnée afin de pouvoir se prononcer sur un âge probable. S'il s'agit par exemple de déterminer l'âge moyen de câbles endommagés au cours d'une année, chaque groupe de câbles ayant été posés au cours d'une année déterminée présentera des dommages dont l'âge correspond à la différence de temps entre la pose et l'année de l'examen. Selon la qualité des câbles considérés, une plus ou moins grande quantité de défectuosités apparaîtra, si bien que l'âge moyen des dommages d'une installation hétérogène sera déterminé par la qualité de tous les groupes. Il est évident que l'âge moyen des défectuosités augmente lorsque l'on pose des câbles pour lesquels les dommages dus à la corrosion n'apparaissent que plus tard. Mais un âge moyen relativement élevé n'est malheureusement pas un critère péremptoire pour la qualité des câbles nouvellement posés. Il est notamment possible que l'âge moyen des défectuosités d'une installation augmente par le fait que certains groupes de vieux câbles présentaient de très nombreux dommages. Supposons par exemple que les câbles d'une certaine année soient très mauvais, de telle sorte que le nombre S des défectuosités de ce groupe soit bien plus grand que la normale. L'âge moyen des défectuosités d'un réseau sera, après la pose d'un tel groupe, tout d'abord diminué. Si le réseau considéré possède de nombreux vieux câbles présentant un nombre de défectuosités considérable, l'effet sera donc tout d'abord de peu d'importance. Mais plus tard S augmentera fortement, de telle sorte que l'âge moyen des défectuosités sera de plus en plus influencé. Le groupe S est-il une fois plus longtemps dans le sol que l'âge moyen des défectuosités d'un réseau analogue mais sans câbles défectueux, la moyenne de l'âge des défectuosités du réseau considéré sera alors toujours supérieure à celui ne possédant pas de câbles défectueux. On doit de ce fait être très prudent lors de l'interprétation de l'âge moyen puisque cette grandeur devient complexe dans le cas de réseaux de composition compliquée. C'est ainsi que l'âge moyen des défectuosités peut

höher liegen als in demjenigen ohne fehlerhafte Kabel. Man muss daher sehr vorsichtig sein bei der Interpretation des mittleren Fehleralters, da diese Grösse bei kompliziert zusammengesetzten Netzen mehrdeutig wird. So kann das mittlere Fehleralter zunehmen, weil die neuen Kabel besser sind als die alten, aber auch deshalb, weil mangelhafte Kabel einer bestimmten Epoche immer grössere Fehlerzahlen liefern.

3. Allgemeines zur Charakteristik der Fehlerhäufigkeit

a) Die Gruppenbildung

Wie wir gesehen haben, sind verschiedene Gruppen in ihrem Verhalten gleichzeitig schwer zu überblicken. Es sollen daher wieder einzelne Gruppen betrachtet werden. Jede Gruppe wird mit der Zeit eine gewisse Zahl Schadenfälle aufweisen. Im ersten Jahr wird vielleicht überhaupt kein Fall auftreten, im zweiten Jahr werden es drei Fälle sein, im dritten 10 usw. Sind in der betrachteten Gruppe sehr wenig Kabel verlegt worden, oder sind Fehler der zu untersuchenden Korrosionsart allgemein selten, so wird man versuchen, die Gruppe zu erweitern. Wenn zum Beispiel alle Kabel, die in einem Jahr verlegt worden sind, noch keine Gruppe mit einer genügend grossen Fehlerhäufigkeit ergeben, so kann man mehrere Jahrgänge zusammenfassen und immer das Fehleralter auf den Zeitpunkt der Verlegung beziehen. Sollen beispielsweise die Kabel, die in den Jahren 1920...1929 verlegt worden sind, in einer einzelnen Gruppe zusammengefasst werden, und soll für diese Gruppe die Fehlerhäufigkeit für Kabelfehler mit einem Alter von 10 Jahren bestimmt werden, so liefert ein Kabel, das 1920 verlegt worden ist, einen Beitrag, falls es 1930 eine Störung aufwies; eines, das 1923 verlegt wurde, wenn es 1933 defekt wurde usw.

b) Unsicherheit der Fehlerhäufigkeit bei Fehleraltern, die die Gegenwart einschliessen

Betrachten wir eine Gruppe, die nur Kabel eines einzigen Verlegungsjahres umfasst, so ist die Fehlerhäufigkeit bis zum letzten abgeschlossenen Beobachtungsjahr eindeutig bestimmt. Man kann zum Beispiel genau sagen, die Gruppe «1920» hat für ein Fehleralter von 37 Jahren die Fehlerhäufigkeit 67, wenn im Jahre 1957 67 Fehler an Kabeln vom Jahre 1920 aufgetreten sind. Fragt man aber nach der gleichen Fehlerhäufigkeit für die Gruppe «1920...1929», so wird man sagen müssen, dass die Fehlerhäufigkeit für ein Fehleralter von 37 Jahren noch ungewiss ist, da 1957 erst die Fehler des Jahrganges 1920 beobachtet werden konnten. Das genaue Resultat wird in diesem Fall erst Ende 1966 zur Verfügung stehen. Wenn während der Jahre 1920...1929 immer etwa gleichviel Kabel von gleicher Qualität verlegt worden sind, so kann man annehmen, die Fehlerquote der Kabel von 1920 betrage 10% der gesuchten Fehlerhäufigkeit. Sind indessen gewisse Schwankungen

augmenter non seulement parce que les nouveaux câbles sont meilleurs que les vieux, mais aussi par le fait que des câbles de moindre qualité d'une certaine période fournissent des nombres de défauts toujours plus grands.

3. Généralités sur la caractéristique de la fréquence de défauts

a) La formation des groupes

Comme nous l'avons déjà vu, il est difficile d'embrasser en même temps le comportement de groupes différents. C'est pourquoi on considérera de nouveau des groupes séparés. Chaque groupe présentera avec le temps un certain nombre de défauts. Au cours de la première année, il ne présentera peut-être même pas un seul cas, au cours de la deuxième trois, dix au cours de la troisième, etc. Si le groupe considéré possède très peu de câbles venant d'être posés ou si les défauts du genre de corrosion à l'étude sont en général rares, on essaiera alors d'élargir le groupe. Si, par exemple, tous les câbles posés dans le cours d'une année ne présentent pas encore un groupe ayant une fréquence de défauts suffisamment grande, on pourra rassembler plusieurs années et rapporter toujours l'âge des défauts au moment de la pose. Doit-on par exemple rassembler les câbles posés entre 1920 et 1929 en un groupe et doit-on déterminer la fréquence des défauts de 10 ans, un câble posé en 1920 et ayant présenté un défaut en 1930 fournira alors un cas, de même celui posé en 1923 et avarié en 1933, etc.

b) Incertitude de la fréquence de défauts pour des âges comprenant la période actuelle

Considérons un groupe comprenant les câbles d'une seule année de pose, la fréquence de défauts jusqu'à l'année considérée incluse, sera parfaitement déterminée. On peut dire exactement par exemple que le groupe «1920» a une fréquence de défauts de 67 pour un âge de 37 ans, si en 1957 67 défauts sont apparus sur des câbles posés en 1920. Si l'on se demande ce qu'il en est de la même fréquence de défauts pour le groupe «1920...1929», on devra dire que cette fréquence est encore indéterminée pour un âge de 37 ans, vu qu'en 1957, seules les défauts de l'année 1920 purent être observés. Le résultat exact ne sera dans ce cas à disposition qu'à la fin de 1966. Si durant les années 1920...1929 le nombre de câbles posés est approximativement toujours le même, et si leur qualité est identique, on peut admettre que la portion de défauts des câbles de 1920 s'élève à 10% de la fréquence de défauts cherchée. Si certaines variations se rapportant soit à la longueur des câbles, soit à leur qualité apparaissent, le résultat reposant sur une année sera très incertain. C'est pourquoi, dans ce qui suit, on ne considérera que des fréquences de défauts pour lesquelles on connaît le nombre des défauts

sowohl hinsichtlich der verlegten Längen als auch in der Qualität möglich, so wird das Resultat, das sich nur auf einen Jahrgang stützt, sehr unsicher. Es werden daher im folgenden nur Fehlerhäufigkeiten berücksichtigt, bei denen die Fehlerzahlen von mindestens der Hälfte, der in einer Gruppe zu-

tuosités se rapportant à au moins la moitié des années composant un groupe. Cela signifie dans notre exemple que le dernier âge de défektivité pouvant être déterminé avec précision à la fin de 1957 est de 32 ans. Sur les figures 1...5 les résultats ayant été complétés sont représentés par des tirets fins.

c) Câbles fabriqués avant 1920

Les câbles posés avant 1920 étant peu nombreux, tous ceux datant de 1919 et d'avant furent rassemblés sous un même groupe. Ne pouvant pas dans ce cas faire une interpolation comme décrite plus haut, par le fait que l'on ignore les années étant à considérer,

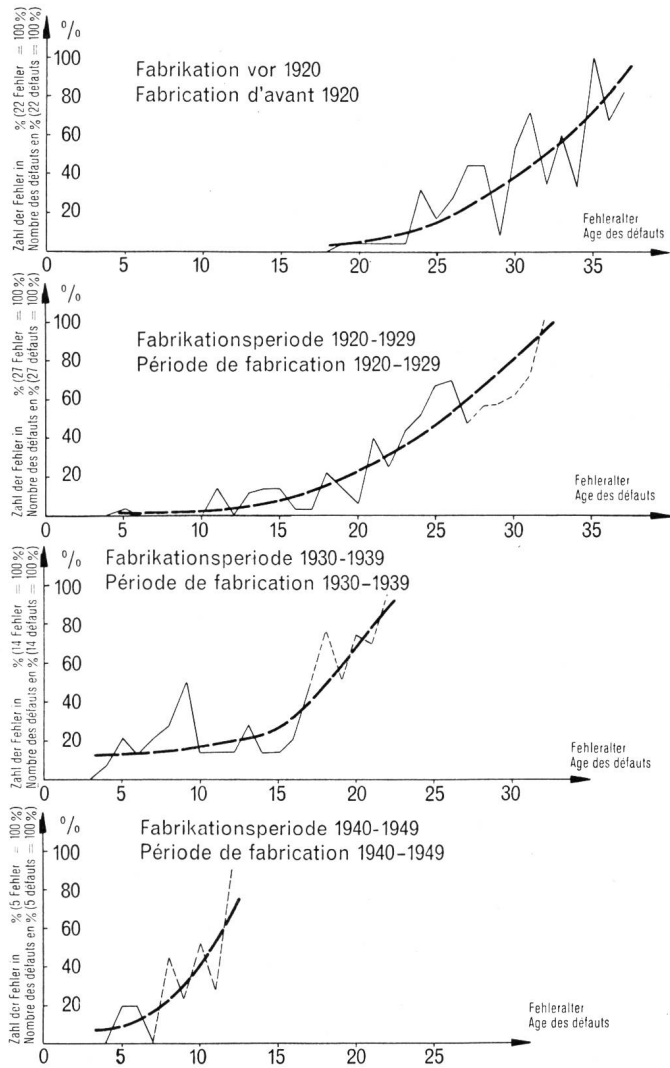


Fig. 1. Fehler infolge elektrolytischer Korrosion
Défauts dus à l'électrolyse

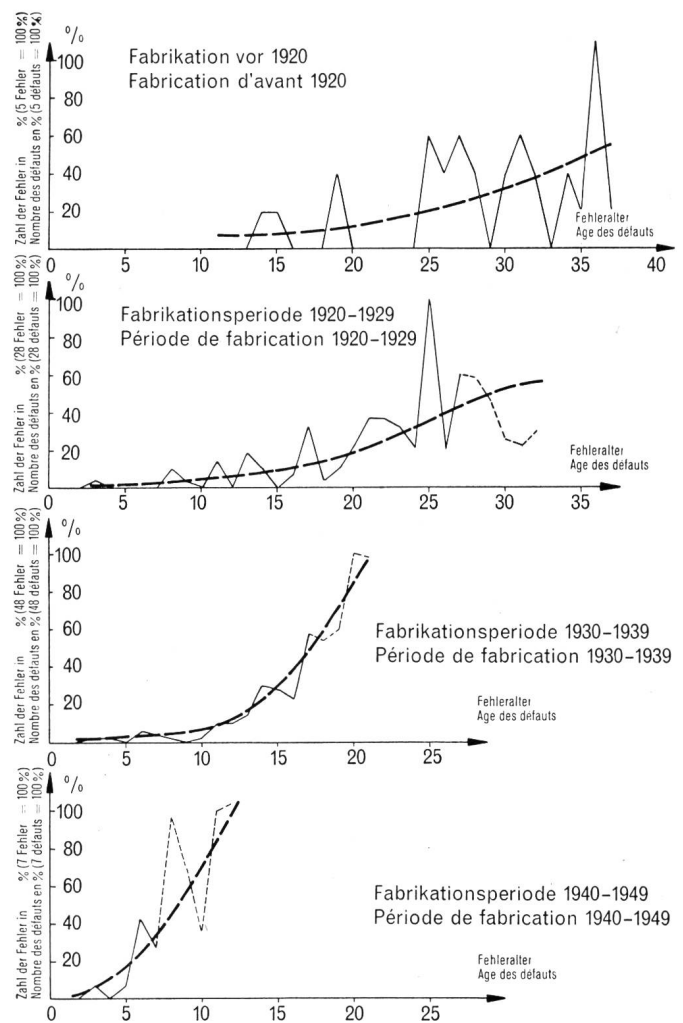


Fig. 2. Fehler infolge Ermüdung des Kabelbleis
Défauts dus à la fatigue du plomb

sammengefassten Jahrgänge bekannt sind. In unserem Beispiel bedeutet dies, dass das letzte Fehleralter, das Ende 1957 mit genügender Sicherheit abgeschlossen werden kann, 32 Jahre beträgt. In den Figuren 1...5 sind Resultate, die um einen gewissen Betrag ergänzt wurden, dünn gestrichelt gezeichnet.

c) Kabel, die vor 1920 fabriziert worden sind

Da vor 1920 nur wenige Kabel verlegt worden sind, wurden alle Kabel mit Fabrikationsdaten bis und mit

on n'a tenu compte que des âges de défektivité entièrement révolus. Les informations existant jusqu'à 1956 inclus, l'âge des dernières fréquences de défektivité est donc dans ce cas de 37 ans.

1919 in eine Gruppe zusammengefasst. Da in diesen Fällen eine Interpolation, wie sie eben beschrieben worden ist, nicht durchgeführt werden kann, weil man gar nicht weiss, wie viele Jahrgänge zu berücksichtigen wären, wurden nur vollständig abgeschlossene Fehleralter berücksichtigt. Da die Unterlagen bis und mit 1956 vorhanden sind, beträgt in diesem Fall das Alter für die letzte Fehlerhäufigkeit 37 Jahre.

4. Charakteristik der Fehlerhäufigkeit bei elektrolytischen Korrosionen

Figur 1 zeigt den Gang der Fehlerhäufigkeit als Funktion des Fehleralters für verschiedene Gruppen von Kabeln. Da die Länge der Kabel in den einzelnen Gruppen stark variiert, sind auch die in einem Jahr aufgetretenen Fehler bei den einzelnen Gruppen ganz verschieden. Wäre bekannt, wie viele Kabel zu den Gruppen gehören, so hätten die Fehler auf eine bestimmte Länge normiert werden können, zum Beispiel Zahl der Fehler je Jahr und 1000 km. Leider ist es aber nicht möglich, aus den Unterlagen zu erfahren, wie viele Kabel vom unarmierten Typus B während einer bestimmten Periode in Zores- und allenfalls Betonkanäle verlegt worden sind. Die bekannten Zahlen für die gesamten verlegten Kabel können nicht als Basis genommen werden, da praktisch nur unarmierte Kabel in Zoreskanälen der elektrolytischen Korrosion ausgesetzt sind. Wäre es möglich gewesen, die Länge der gefährdeten Kabel herauszufinden, so hätte die Fehlerhäufigkeit für eine normierte Anzahl Kilometer eine direkte Aussage über die Widerstandsfähigkeit der betreffenden Kabel geliefert. Da es aber nicht möglich war, die nötigen Bezugsgrößen zu erhalten, wurden die Kurven in der Weise normiert, dass die Fehlerhäufigkeit in allen Gruppen den Wert 100% erreicht, wobei dieser Wert den effektiven Fehlerzahlen angepasst wurde. Damit wurde eine Darstellung erhalten, die alle Kurven ungefähr gleich stark zur Geltung kommen lässt. Miteinander verglichen darf aber nur der allgemeine Verlauf der Kurven werden. So sieht man, dass für alle Gruppen die Zahl der Fehler mit zunehmendem Alter ansteigt. Der Verlauf entspricht also den Erwartungen, wie sie in Abschnitt 2 als wahrscheinlich dargestellt worden sind.

5. Charakteristik der Fehlerhäufigkeit für Schäden infolge Ermüdungsbrüchen

Auch hier weisen alle Gruppen prinzipiell die gleichen Charakteristiken auf (vgl. Fig. 2). In allen vier Gruppen steigt die Zahl der Fehler mit zunehmendem Alter der Anlage. Gesamthaft betrachtet hat man den Eindruck, die Fehler nähmen bei der Gruppe «1930...1939» rascher zu als im analogen Fall bei der elektrolytischen Korrosion. Sehr deutlich kommt dies aber in der Darstellung nicht zum Ausdruck, da die Unterschiede der Maßstäbe die Sache verwirren.

4. Caractéristique de la fréquence de déféctuosité des corrosions électrolytiques

La figure 1 montre l'allure de la fréquence de déféctuosité en fonction de l'âge de déféctuosité pour différents groupes de câbles. La longueur des câbles variant fortement dans les différents groupes, les déféctuosités apparues au cours d'une année y sont très différentes. En admettant que l'on connaisse combien de câbles appartiennent aux groupes, on pourrait rapporter les déféctuosités à une certaine longueur de câble, par exemple en indiquant leur nombre par an et par 1000 km. Il n'est malheureusement pas possible à partir des informations de déterminer combien de câbles non armés du type B furent posés durant une certaine période dans des canaux zorès et au besoin dans des canalisations bétonnées. Les chiffres connus pour la totalité des câbles posés ne peuvent pas être pris pour base, vu que pratiquement, seuls les câbles non armés se trouvant dans les canaux zorès sont soumis à la corrosion électrolytique. Eût-il été possible de déterminer la longueur des câbles exposés à la corrosion, la fréquence de déféctuosité pour un nombre déterminé en km eut alors pu fournir une indication directe sur la résistance des câbles considérés. Comme il ne fut cependant pas possible d'obtenir les références nécessaires, les courbes furent établies en considérant que la fréquence de déféctuosité atteint dans tous les groupes une valeur de 100% où il y a lieu de considérer que cette valeur fut ajustée aux nombres effectifs de déféctuosités. On a ainsi obtenu une représentation permettant à toutes les courbes d'être également mises en valeur. On ne peut cependant établir de comparaison que sur l'allure générale des courbes. On voit ainsi que pour toutes les courbes, le nombre des déféctuosités augmente avec l'âge. Leur allure répond donc à ce que l'on pouvait en attendre, ainsi que les considérations du chapitre 2 le laissent supposer.

5. Caractéristique de la fréquence de déféctuosité se rapportant aux ruptures par fatigue

Ici, tous les groupes présentent en principe les mêmes caractéristiques (cf. fig. 2). Pour les quatre groupes, le nombre des déféctuosités augmente avec l'âge de l'installation. Dans l'ensemble, on a l'impression que les déféctuosités des groupes «1930...1939» augmentent plus rapidement que dans le cas de la corrosion électrolytique. Ceci ne se dégage cependant pas nettement des graphiques, vu la complexité qu'engendrent les différences d'échelles.

6. Caractéristique de la fréquence de déféctuosité se rapportant à la corrosion dite «du phénol»

La corrosion dite «du phénol» n'ayant été caractérisée qu'en 1937, il est possible que quelques dommages anciens, aujourd'hui considérés comme corrosion sous l'effet «du phénol», aient alors été mentionnés dans le groupe des corrosions chimiques pro-

6. Charakteristik der Fehlerhäufigkeit bei der «Phenolkorrosion»

Da die «Phenolkorrosion» als besondere Korrosionsart erst 1937 erkannt wurde, ist es möglich, dass einige alte Schadenfälle, die jetzt als «Phenolkorrosionen» bezeichnet würden, in der Gruppe der rein chemischen Korrosion aufgeführt wurden. Die wenigen Fälle dürften indessen das Bild kaum verfälschen, insbesondere da sie belanglos sind für die Entwicklungen in der neueren Zeit.

Die Kurven (vgl. Fig. 3) für die Gruppen «vor 1920» und «1920...1924» sind normal, das heisst, sie entsprechen der Erwartung, dass mit zunehmendem Alter der Gruppe die Fehlerzahl ansteigt. Bei der Charakteristik für die Gruppe «1925...1929» zeichnet sich eine Verflachung ab und für die Gruppe «1930 bis 1934» wird die Fehlerhäufigkeit nach einem Maximum sogar deutlich rückläufig. Bei der Gruppe «1935...1939» ist die Kurve ebenfalls noch etwas abgeflacht (vgl. Fig. 4), während die jüngeren Gruppen

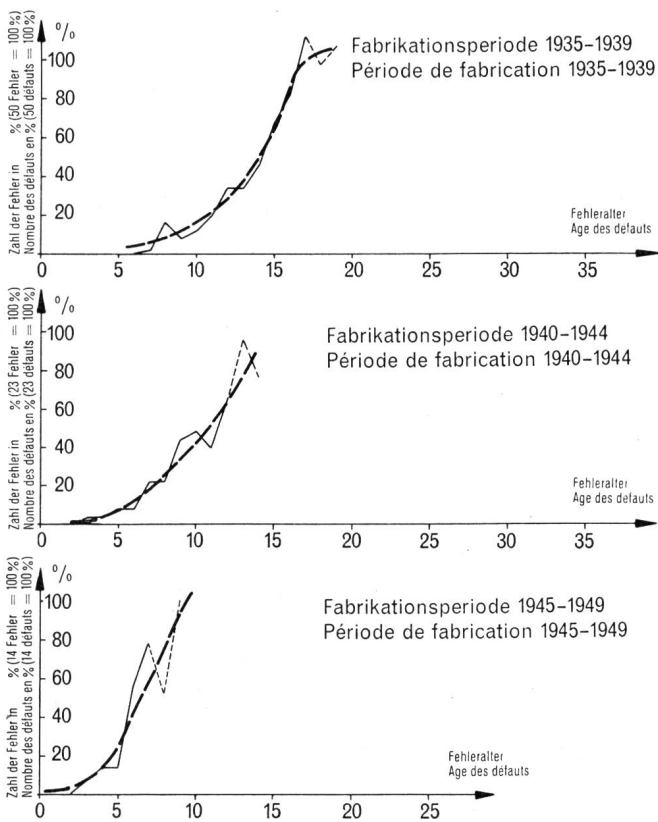


Fig. 4. Fehler infolge «Phenolkorrosion»
Défauts dus à la corrosion dite «du phénol»

in ihren Charakteristiken noch keinerlei Verflachung zeigen. Dass die letzten Gruppen noch keine Abnahme der Fehlerzahlen zeigen, ist indessen nicht verwunderlich, da auch bei den älteren Gruppen die Kurven erst zwischen 15 und 20 Jahren verflachen. Jedenfalls

prement dites. Les quelques cas ne déforment qu'à peine l'image présente, d'autant plus qu'ils sont sans importance pour les développements de la période actuelle.

Les courbes (cf. fig. 3) des groupes «avant 1920» et «1920...1924» sont normales, c'est-à-dire qu'elles

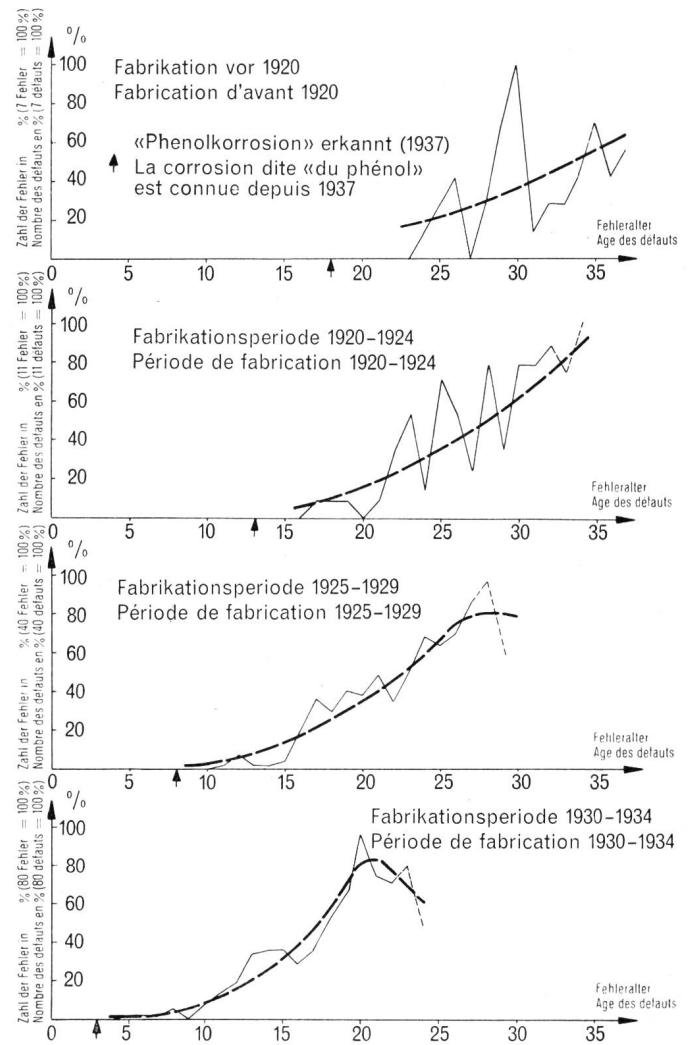


Fig. 3. Fehler infolge «Phenolkorrosion»
Défauts dus à la corrosion dite «du phénol»

correspondent à l'attente selon laquelle le nombre de défauts d'un groupe augmente avec l'âge. Pour la caractéristique des groupes «1925...1929» on observe un aplatissement et pour le groupe «1930...1934» la fréquence de défauts régresse nettement après un maximum. Pour le groupe «1935...1939», la courbe est également quelque peu aplatie (cf. fig. 4), alors que les courbes des toutes dernières années ne montrent encore rien de semblable. Le fait que les derniers groupes ne montrent encore aucune décroissance du nombre des défauts n'a rien d'étonnant, vu que pour les groupes anciens,

hat sich die Charakteristik der Fehlerhäufigkeit zwischen den Fabrikationsjahren 1924 und 1930 grundsätzlich geändert, und zwar in einer Weise, die nicht zu erwarten war. Tritt nämlich in der Fehlerhäufigkeit ein Maximum auf, so bedeutet dies offenbar, dass von diesem Moment an die Zahl der Fehler mit zunehmendem Alter nicht mehr angestiegen ist, sondern abgenommen hat. Es wird später auf diesen paradoxen Tatbestand nochmals zurückgekommen.

7. Charakteristik der Fehlerhäufigkeit bei den chemischen Korrosionen, ausgeschlossen die Fälle von «Phenolkorrosion»

Korrosionsfälle, die auf Angriffe chemischer Stoffe zurückzuführen sind, die aber nicht das Bild einer «Phenolkorrosion» ergeben, sind sehr selten. Man kann sie daher statistisch auch nur ungenau erfassen. So weit man unter diesen Umständen noch von einer Charakteristik sprechen kann, scheint sich auch in diesem Fall der Verlauf der Fehlerhäufigkeit zwischen 1920 und 1930 in der gleichen Art verändert zu haben wie bei der «Phenolkorrosion». Es muss aber erwähnt werden, dass die wenigen Fälle, die vor der Erkennung der «Phenolkorrosion» zu unrecht in die Kategorie der rein chemischen Korrosion eingereiht worden sind, bei der geringen Zahl von Fällen eine Verfälschung in dem Sinne bewirkten, dass die Kurvenanfänge der ersten drei Gruppen, die die Kabel bis und mit Jahrgang 1939 umfassen, zu hoch liegen (vgl. Fig. 5). Ebenso wirkt störend, dass mit zunehmender Feinheit der experimentellen Methoden immer mehr Fälle als «Phenolkorrosionen» erkannt werden, die früher anders beurteilt wurden. Dies mag bewirkt haben, dass die Kurven dort, wo die neueren Untersuchungen ihren Verlauf bestimmen, herabgedrückt wurden. Dass aber der Charakter des Kurvenverlaufs dadurch grundsätzlich verändert worden wäre, ist nicht anzunehmen.

8. Vorzüge einer halblogarithmischen Darstellung

Stellt man die Fehlerhäufigkeit als Funktion des Fehleralters so dar, dass man für das Fehleralter den linearen Maßstab beibehält, die Fehlerzahlen aber logarithmisch aufträgt, so ergeben sich bedeutende Vorteile. Sollte nämlich die Charakteristik der Fehlerhäufigkeit, die im allgemeinen durch eine Zunahme mit dem Fehleralter gekennzeichnet ist, exponentiell verlaufen, so wäre dies bei einer solchen Darstellung sofort erkennbar, weil in diesem Falle die Funktion eine Gerade bildet. Viel wichtiger für die Interpretation ist aber der Umstand, dass die Kurven verschiedener Gruppen in ihrer Form identisch sein müssen, solange die Kabelqualitäten gleich sind. Umfasst zum Beispiel eine Gruppe A Kilometer Kabel, so wird dieser Gruppe ein bestimmter Verlauf der Fehlerhäufigkeit als Funktion des Fehleralters entsprechen. Hat nun eine andere Gruppe B Kilometer Kabel, und ist sonst alles analog zur Gruppe A, so

l'aplatissement n'apparaît qu'entre 15 et 20 ans. Quoi qu'il en soit, la caractéristique des fréquences de défautuosité entre les années de fabrication 1924 et 1930 s'est essentiellement modifiée, et en fait d'une façon inattendue. En effet, si un maximum apparaît dans la fréquence de défautuosité, cela signifie sans doute qu'à partir de ce moment, le nombre des dommages n'a plus augmenté avec l'âge, mais a diminué. On reviendra plus tard sur ce fait paradoxal.

7. Caractéristique de la fréquence de défautuosité se rapportant à la corrosion chimique à l'exclusion de la corrosion dite «du phénol»

Les cas de corrosion imputables à l'action d'agents chimiques sans rapport avec la corrosion dite «du phénol» sont très rares. C'est pourquoi leur caractérisation statistique n'est qu'incertaine. Dans la mesure où l'on peut, dans ces circonstances, encore parler d'une caractéristique, il semble également que dans ce cas, l'allure de la fréquence de défautuosité entre 1920 et 1930 s'est modifiée de la même façon que pour la corrosion dite «du phénol». Il doit être mentionné cependant que les quelques cas antérieurs à la caractérisation de la corrosion dite «du phénol», et qui furent injustement imputés aux agents chimiques proprement dits, eurent pour effet, vu leur petit nombre, de remonter le début des courbes des 3 groupes comprenant les câbles allant jusqu'à l'année 1939 inclusivement (cf. fig. 5). Gênant est aussi le fait qu'avec la sensibilité toujours accrue des méthodes de recherches, on discerne de plus en plus la corrosion dite «du phénol» pour des cas que l'on eût jadis jugés différemment. Ceci peut provoquer un abaissement des courbes aux endroits où les dernières investigations déterminent leur progression. Il ne faut cependant pas admettre que l'allure des courbes soit de ce fait profondément modifiée.

8. Avantage d'une représentation semi-logarithmique

Représente-t-on la fréquence de défautuosité en fonction de son âge en conservant pour l'âge une représentation linéaire mais en portant les nombres de défautuosités selon une échelle logarithmique, deux avantages importants apparaissent alors. Si la caractéristique de la fréquence de défautuosité, caractérisée généralement par une croissance en fonction de l'âge, venait à croître selon une fonction exponentielle, une telle représentation le suggérerait immédiatement, puisque la fonction prendrait dans ce cas l'allure d'une droite. Mais de bien plus d'importance pour l'interprétation est le fait que les courbes de différents groupes doivent être identiques par leur forme tant que la qualité des câbles est identique. Si un groupe comprend par exemple A km de câbles, une allure particulière de la fréquence de défautuosité en fonction de l'âge lui correspondra donc. Un autre groupe a-t-il maintenant B km tout en restant identique à A, on trouvera la courbe de fréquence de défautuosité

wird man die Fehlerhäufigkeitskurve der Gruppe finden, indem man jeden Wert der Funktion für die Gruppe A mit dem Faktor (B:A) multipliziert. Umfasst die Gruppe B beispielsweise gerade doppelt so viele Kilometer Kabel wie die Gruppe A, so wird sie auch für ein bestimmtes Fehleralter doppelt so viele Schadenfälle aufweisen. In der erwähnten halb-logarithmischen Darstellung bedeutet dies, dass die Kurve der Gruppe B um den Abstand der zwischen 1 und 2 liegt parallel nach oben gerückt erscheint. Die Kurvenform bleibt also immer erhalten; je nach der Grösse der Gruppe wird die Kurve nur in Richtung der logarithmischen Achse parallel zu sich selber verschoben. Wie viele Kilometer Kabel eine Gruppe umfasst, wissen wir, wie bereits gesagt, nicht. Die halblogarithmische (wie übrigens auch die doppelt-logarithmische) Darstellung erlaubt uns aber sofort festzustellen, ob der Charakter der Fehlerhäufigkeit als Funktion der Zeit in den verschiedenen Gruppen gewahrt bleibt.

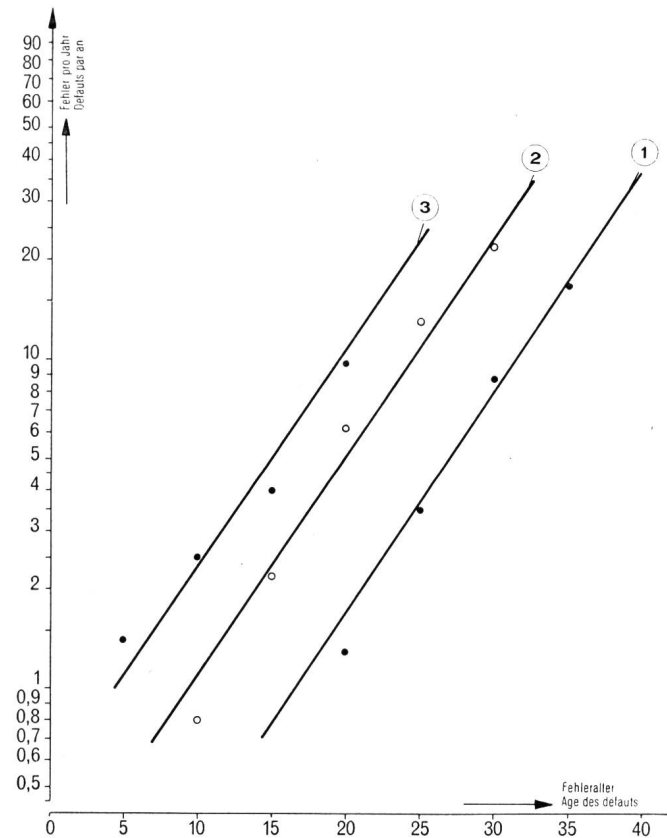


Fig. 6. Fehler infolge elektrolytischer Korrosion der Bleimäntel
Défauts dus à la corrosion électrolytique des gaines de plomb

- ① Fehler infolge Elektrolyse bei Kabeln, die vor 1920 fabriziert worden sind
Défauts dus à l'électrolyse pour des câbles fabriqués avant 1920
- ② Fehler infolge Elektrolyse bei Kabeln der Fabrikationsperiode 1920...1929
Défauts dus à l'électrolyse pour câbles de la période de fabrication 1920...1929
- ③ Fehler infolge Elektrolyse bei Kabeln der Fabrikationsperiode 1930...1939
Défauts dus à l'électrolyse pour câbles de la période de fabrication 1930...1939

tuosité en multipliant les valeurs de A par le facteur (B:A). Si le groupe B comprend par exemple deux fois plus de kilomètres que A, il présentera pour un certain âge de défektivité deux fois plus de dommages. Dans la représentation semi-logarithmique, cela signifie que la courbe du groupe B sera déplacée parallèlement vers le haut d'une distance située entre

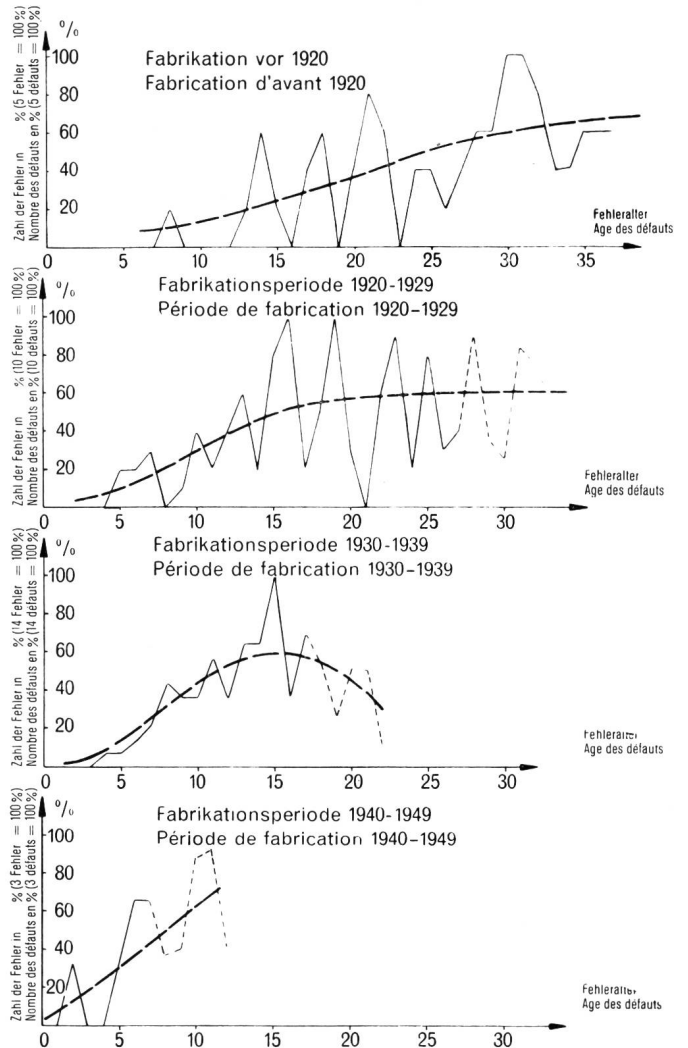


Fig. 5. Fehler infolge chemischer Korrosion ohne die Fälle von «Phenolkorrosion»
Défauts dus à la corrosion chimique sans «corrosion phénolique»

1 et 2. La forme de la courbe est donc ainsi toujours conservée. Selon l'importance du groupe, la courbe sera seulement déplacée parallèlement à elle-même en direction de l'échelle logarithmique. Nous ne savons pas, comme nous l'avons déjà mentionné, le nombre de kilomètres de câbles que comprend un groupe. Mais la représentation semi-logarithmique (ainsi que la logarithmique double, d'ailleurs) nous permet de contrôler immédiatement si le caractère de la fréquence de défektivité est conservé en fon-

Die Kurven der Figuren 6...9 sind aus den bereits ausgeglichenen Kurven der Figuren 1...5 konstruiert. Würde man direkt versuchen, die halblogarithmische Darstellung zu erhalten, so müsste bei der graphischen Interpolation der logarithmische Maßstab berücksichtigt werden.

9. Korrosion infolge Elektrolyse

Wie Figur 6 zeigt, ist bei der elektrolytischen Korrosion die Fehlerhäufigkeit tatsächlich eine exponentielle Funktion des Fehleralters. Grundsätzlich kann also die Fehlerhäufigkeit y als Funktion des Fehleralters t in der Form

$$y = B \cdot A^{at}$$

dargestellt werden. Dabei bildet B ein Mass für die Länge der Kabel einer Gruppe. A ist eine beliebige Zahl > 1 .

Der Wert von a ist bei einer bestimmten Basis A um so grösser, je schneller die Schadenfälle mit dem Alter der Anlage zunehmen.

Es sei noch erwähnt, dass der Wert der Funktion für den Zeitpunkt $t = 0$, B wird. Das bedeutet aber, dass zur Zeit der Verlegung schon eine gewisse Zahl Fehler vorhanden ist, was natürlich nicht der Fall sein kann. Wollte man daher den Verlauf der Fehlerhäufigkeit vollständig beschreiben, so müsste man folgende Funktion ansetzen:

$$y = B \cdot A^{at} - B$$

Indessen ist die Korrektur ($-B$) nur gering, da B überall Werte < 1 annimmt und daher mit zunehmendem t sehr bald vernachlässigt werden kann.

Wir wollen nun zunächst die Bedeutung der Tatsache untersuchen, dass im Falle der elektrolytischen Korrosion die Steilheit der Geraden bei allen Gruppen gleich ist (vgl. Fig. 6). Offenbar kann damit jede Gerade durch eine Parallelverschiebung zu sich selber, insbesondere auch durch eine in Richtung der y -Achse, mit jeder andern zur Deckung gebracht werden. Dies bedeutet aber, dass sich die Gruppen nur durch die Länge der erfassten Kabel unterscheiden. Qualitätsunterschiede sind keine vorhanden. Da B (Ordinatenabschnitt) ein Mass für die Kabellänge ist, so können wir aus dem Verhältnis der B -Werte auf die relative Länge der Kabel in den einzelnen Gruppen schliessen. Folgende B -Werte wurden ermittelt:

Gruppe 1 (vor 1920 fabrizierte Kabel) . . .	0,08
Gruppe 2 (1920...1929)	0,24
Gruppe 3 (1930...1939)	0,51

Dies bedeutet, dass die Gruppe 2 dreimal mehr Kabelkilometer umfasst als Gruppe 1, die Gruppe 3 ungefähr doppelt soviel wie Gruppe 2. Diese Verhältniszahlen können nicht genau kontrolliert werden, da, wie bereits gesagt, nicht bekannt ist, wie viele Kilometer Kabel die einzelnen Gruppen umfassen. Ungefähr müssen aber die Längen mit denen der gesamthaft verlegten Kabel korrespondieren. Es darf

tion du temps dans tous les groupes. Les courbes des figures 6...9 sont établies à partir des courbes des figures 1...5 après égalisation. Si l'on essayait d'obtenir immédiatement la représentation semi-logarithmique, on devrait, lors de l'interpolation graphique, prendre en considération l'échelle logarithmique.

9. Corrosion due à l'électrolyse

Ainsi que le montre la figure 6, la fréquence de déféctuosité lors de la corrosion électrolytique est effectivement une fonction exponentielle de l'âge de la déféctuosité. En principe, on peut exprimer la fréquence de déféctuosité y en fonction de l'âge de déféctuosité t sous la forme:

$$y = B \cdot A^{at}$$

B est une grandeur fonction de la longueur des câbles d'un groupe. A est un nombre quelconque supérieur à 1. La valeur de a est pour une base A donnée d'autant plus grande que les cas de dommages augmentent plus rapidement avec l'âge de l'installation.

Il doit encore être mentionné que pour le moment $t = 0$, la fonction prend la valeur B . Cela signifie que lors de la pose, un certain nombre de dommages sont déjà présents, ce qui est impossible. Si l'on veut décrire complètement le cours de la fréquence de déféctuosité, il faut poser alors:

$$y = B \cdot A^{at} - B$$

La correction ($-B$) est néanmoins faible puisque B prend partout des valeurs inférieures à 1, et peut de ce fait être négligée lors de l'accroissement de t .

Nous voulons tout d'abord considérer la signification du fait que la pente des droites dans le cas de la corrosion électrolytique est égale pour tous les groupes (cf. fig. 6). Il est évident que l'on peut superposer chaque droite à chaque autre par un déplacement parallèle à elle-même, notamment en direction de l'axe y . Cela signifie que les groupes ne se différencient que par la longueur considérée des câbles. Les différences de qualité sont donc absentes. B (intersection sur l'axe des ordonnées) étant une mesure pour la longueur des câbles, nous pouvons déduire la longueur relative des câbles dans chaque groupe à partir des rapports des valeurs de B .

Les valeurs suivantes de B furent établies:

Groupe 1 (câbles fabriqués avant 1920) . . .	0,08
Groupe 2 (1920...1929)	0,24
Groupe 3 (1930...1939)	0,51

Cela signifie que le groupe 2 comprend 3 fois plus de kilomètres de câbles que le groupe 1 et le groupe 3 environ 2 fois plus que le groupe 2. Ces rapports ne peuvent être contrôlés exactement, étant donné, comme il a déjà été mentionné, que l'on ignore combien de kilomètres de câbles chaque groupe possède. Ces longueurs ont cependant une certaine relation avec la longueur totale posée. On peut notam-

nämlich angenommen werden, dass immer etwa gleiche Teile der im gesamten verlegten Kabel aus den verschiedenen Kabeltypen bestehen. Die Gesamtlänge der verlegten Kabel betrug:

Ende 1919	2 573 km
Ende 1929	6 148 km
Ende 1939	17 970 km

während sich die B-Werte der verschiedenen Gruppen verhalten wie 1:3:6,4, bilden die Werte für die Gesamtlänge der Kabel die Proportion: 1:2,4:7. Die Übereinstimmung ist also überraschend gut.

Aus der Steilheit der Geraden von Figur 6 kann noch eine qualitative Aussage über die Zunahme der Fehler infolge Elektrolyse gemacht werden. Die Anzahl Fehler, die in einem Jahr auftreten, wird nämlich innerhalb 15 Jahren 10mal grösser. Mathematisch drückt sich das in der Beziehung aus:

$$B \cdot A^{(t+15)} = 10 \cdot B \cdot A^t$$

10. Ermüdungsbrüche

Auch bei dieser Art Schäden nimmt die Fehlerzahl exponentiell mit dem Fehleralter zu. Während aber bei der elektrolytischen Korrosion die Steigung der Geraden konstant blieb, ist sie hier um so steiler, je jünger die Gruppe ist (vgl. Fig. 7). Bei den Kabeln, die vor 1920 fabriziert worden sind, dauerte es noch 25 Jahre bis sich die Schadenzahl verzehnfachte, bei der Gruppe «1920...1929» beträgt die dazu notwendige Zeit nur noch 20 Jahre und bei der Gruppe «1930...1939» sogar nur noch 12 Jahre. Man wäre vielleicht versucht, dies durch die Zunahme der Verkehrserschütterungen zu erklären. Dies ist indessen nicht möglich, da die einzelnen Gruppen monoton steigende Kurvenzüge liefern. Wären zum Beispiel von 1930 an die Erschütterungen tatsächlich in einem für die Kabelanlagen gefährlichen Masse grösser geworden, so hätte dies nicht nur die Gruppe «1930...1939» beeinflusst, sondern alle Charakteristiken müssten bei 1930 eine Anomalie aufweisen. Davon ist indessen nichts zu bemerken. Der Grund muss vielmehr bei den Kabeln selber liegen oder allenfalls bei den Montagethoden. Letzteres ist indessen sehr unwahrscheinlich, da die Montagethoden praktisch nicht geändert worden sind und zudem bei den kleinen Änderungen dafür gesorgt wurde, dass dadurch eher eine Abnahme der Schadenfälle zu erwarten war. Es ist das Kabel selber, das weniger ermüdungsfest geworden ist. Als Grund kommen praktisch nur der höhere Reinheitsgrad der Reinbleimantel und bis zu einem gewissen Grade allfällige chemische und physikalische Einflüsse der Kabelhüllen in Frage. Dabei scheint besonders wichtig zu sein, ob die Luft leicht zum Bleimantel gelangen kann, weil durch Sauerstoff die Ermüdung des Bleis stark beschleunigt wird. Zur Hauptsache wird aber die Zunahme von Ermüdungsbrüchen doch auf das grobkristalline Gefüge der unlegierten Bleimantel

ment supposer que des portions égales de la totalité des câbles posés appartiennent aux différents types. La totalité des câbles posés comprenait:

Fin 1919.	2 573 km
Fin 1929.	6 148 km
Fin 1939.	17 970 km

Alors que les valeurs de B pour les différents groupes se comportent comme 1:3:6,4, les longueurs totales posées donnaient les proportions 1:2,4:7. La concordance est donc étonnamment bonne.

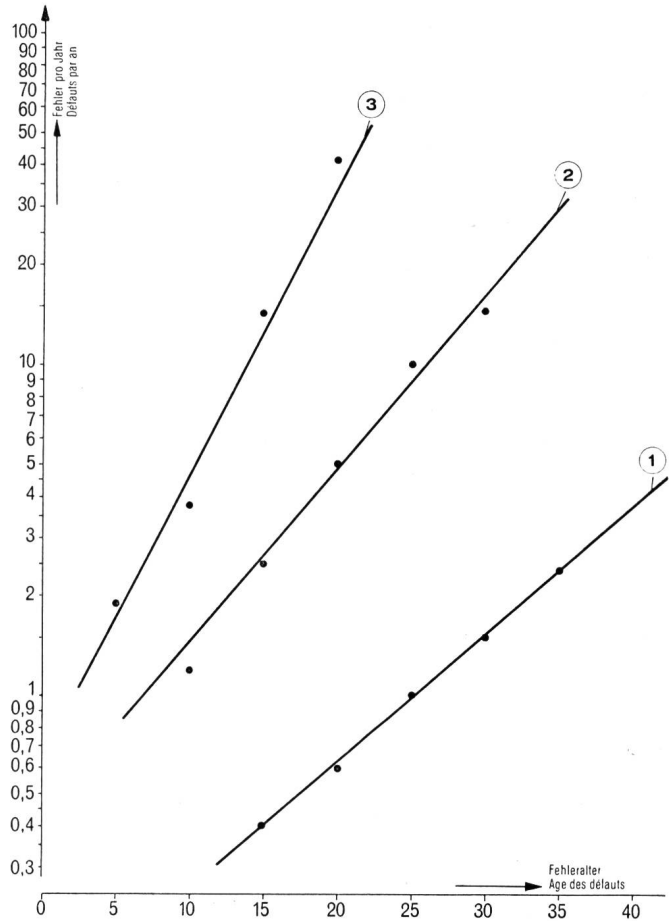


Fig. 7. Fehler infolge Ermüdung des Bleimantels
Défauts dus à la fatigue de la gaine de plomb

- ① Fehler infolge Ermüdung des Bleimantels bei Kabeln, die vor 1920 fabriziert worden sind.
Défauts dus à la fatigue du plomb des câbles fabriqués avant 1920
- ② Fehler infolge Ermüdung des Bleimantels bei Kabeln der Fabrikationsperiode 1920...1929
Défauts dus à la fatigue du plomb des câbles de la période de fabrication 1920...1929
- ③ Fehler infolge Ermüdung des Bleimantels bei Kabeln der Fabrikationsperiode 1930...1939
Défauts dus à la fatigue du plomb des câbles de la période de fabrication 1930...1939

La pente des droites de la figure 6 permet encore une évaluation qualitative de l'augmentation des dommages dus à l'électrolyse. Le nombre des dom-

zurückzuführen sein, was seinerseits wieder durch den sehr hohen Reinheitsgrad der verpressten Bleisorten bedingt ist. Um die Verhältnisse genau abzuklären, bedarf es indessen noch weiterer Versuche. Zur Zeit müssen wir uns damit begnügen festzustellen, dass die Beständigkeit der Kabelmäntel gegenüber Erschütterungen ständig abgenommen hat.

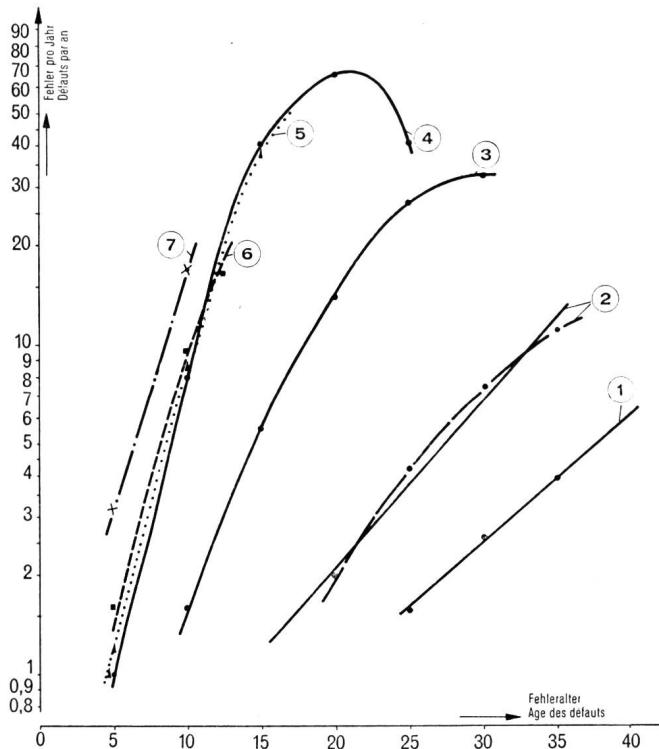


Fig. 8. Fehler infolge Perforation der Bleimäntel durch «Phenolkorrosion»
Défauts dus à la perforation des gaines de plomb par la «corrosion au phénol»

- ① Fehler infolge «Phenolkorrosion» bei Kabeln, die vor 1920 fabriziert worden sind
Défauts dus à la corrosion dite «du phénol» des câbles fabriqués avant 1920
- ② Fehler infolge «Phenolkorrosion» bei Kabeln der Fabrikationsperiode 1920...1924
Défauts dus à la corrosion dite «du phénol» des câbles de la période de fabrication 1920...1924
- ③ Fehler infolge «Phenolkorrosion» bei Kabeln der Fabrikationsperiode 1925...1929
Défauts dus à la corrosion dite «du phénol» des câbles de la période de fabrication 1925...1929
- ④ Fehler infolge «Phenolkorrosion» bei Kabeln der Fabrikationsperiode 1930...1934
Défauts dus à la corrosion dite «du phénol» des câbles de la période de fabrication 1930...1934
- ⑤ Fehler infolge «Phenolkorrosion» bei Kabeln der Fabrikationsperiode 1935...1939
Défauts dus à la corrosion dite «du phénol» des câbles de la période de fabrication 1935...1939
- ⑥ Fehler infolge «Phenolkorrosion» bei Kabeln der Fabrikationsperiode 1940...1944
Défauts dus à la corrosion dite «du phénol» des câbles de la période de fabrication 1940...1944
- ⑦ Fehler infolge «Phenolkorrosion» bei Kabeln der Fabrikationsperiode 1945...1949
Défauts dus à la corrosion dite «du phénol» des câbles de la période de fabrication 1945...1949

mages apparaissant au cours d'une année est 10 fois plus grand au bout de 15 ans. Exprimé mathématiquement, on a la relation:

$$B \cdot A^{a(t+15)} = 10 \cdot B \cdot A^{at}$$

10. Ruptures dues à la fatigue

Le nombre des défauts dus à ce genre de dommages croît avec l'âge des défauts, également selon une fonction exponentielle. Mais si la pente des droites reste constante pour la corrosion électrolytique, elle est ici d'autant plus forte que le groupe est plus récent (cf. fig. 7). Pour les câbles fabriqués avant 1920, il fallait attendre 25 ans pour que le nombre des dommages décuple, pour le groupe «1920...1939» cela se produisit après 20 ans, et pour le groupe «1930...1939» après 12 ans. On serait tenté de rendre responsable l'augmentation des secousses provenant de la circulation. Cela est néanmoins impossible étant donné que chaque groupe présente une courbe à pente constante. Si par exemple les secousses avaient effectivement crû de façon dangereuse pour les installations de câbles à partir de 1930, ceci n'aurait pas seulement influencé les groupes «1930...1939», mais toutes les caractéristiques devraient présenter une inconstance pour 1930. Or on ne remarque rien de semblable. La raison réside bien plus dans les câbles eux-mêmes ou éventuellement dans les méthodes de montage. Cette dernière hypothèse est cependant très peu vraisemblable, vu que les méthodes de montage n'ont pas changé et que même certaines petites modifications ont été apportées, permettant de croire qu'il faille plutôt s'attendre à une diminution des dommages. C'est le câble lui-même qui est devenu moins résistant à la fatigue. Pratiquement, on peut invoquer comme raison l'augmentation du degré de pureté du plomb et jusqu'à un certain point des influences chimiques et physiques de l'enveloppe. Il semble qu'ici, l'arrivée de l'air jusqu'à l'enveloppe de plomb soit particulièrement importante, puisque l'oxygène accélère fortement la fatigue du plomb. La cause essentielle semble être due cependant à la structure à gros cristaux du plomb non allié, lequel est conditionné pour sa part par la grande pureté des qualités de plomb traitées. Seules de plus amples expériences jetteront le jour sur ces phénomènes. Jusqu'à présent, on ne peut que constater la diminution constante de la résistance des enveloppes aux secousses.

11. Corrosion dite «du phénol»

Pour les câbles fabriqués avant 1920, les défauts augmentent avec l'âge de façon normale (cf. fig. 8). En 25 ans leur nombre est décuplé. Pour les groupes «1920...1924», la dépendance exponentielle de la fréquence des défauts avec l'âge est déjà très incertaine. C'est pourquoi la fig. 8 présente deux possibilités pour le cours de la fonction. Quoi qu'il

11. «Phenolkorrosion»

Bei den Kabeln, die vor 1920 fabriziert worden sind, nehmen die Fehler in normaler Art mit dem Alter zu (vgl. Fig. 8). Innerhalb 25 Jahren steigt die Fehlerzahl auf das Zehnfache. Bei der Gruppe «1920...1924» ist die exponentielle Abhängigkeit der Fehlerhäufigkeit vom Fehleralter bereits unsicher. In Figur 8 sind daher zwei mögliche Formen des Funktionsverlaufs aufgezeichnet. Jedenfalls nehmen bei dieser Gruppe die Fehler rascher zu, und falls man noch eine exponentielle Abhängigkeit annehmen will, so erfolgt die Verzehnfachung der Fehleranzahl je Jahr bereits nach 19 Jahren. Die Lage der Punkte lässt aber auch einen schwach gekrümmten Kurvenzug als mögliche Charakteristik zu, eine Tendenz, die bei der Gruppe «1925...1929» deutlich ausgebildet ist. Die Kurvenzüge für die Gruppen «1930...1934», «1935...1939» und «1940...1944» decken sich praktisch vollständig. Dies bedeutet, dass bei diesen Gruppen die Fehlerhäufigkeit mit dem Alter in der gleichen Art zunimmt und dass die Gruppen ungefähr gleich viele Kilometer Kabel umfassen, vorausgesetzt, dass nicht qualitative Unterschiede beim Kabelmaterial vorliegen, durch die die Fehlercharakteristik nicht geändert wird. In der Gruppe «1945 bis 1949» müssen dagegen mehr Kabel enthalten sein, und zwar nach der Lage der Kurve etwa die doppelte Länge. Eine grobe Kontrolle ergibt sich auch in diesem Falle durch einen Vergleich mit den in den betreffenden Perioden im gesamten verlegten Kabeln.

Es wurden verlegt in den Perioden:

1930...1934	6444 km
1935...1939	5378 km
1940...1944	2821 km
1945...1949	7931 km

Wählen wir als Bezugslänge diejenige der Gruppe «1935...1939», so erhalten wir das Verhältnis 1,2:1:0,5:1,5. Aus der Lage der Kurven für die Fehlerhäufigkeiten hätten wir erwartet 1:1:1:1,9. Während die Werte bei den ersten beiden Gruppen befriedigend übereinstimmen, sind die Abweichungen bei den folgenden zwei Gruppen zu gross. Es wird darauf bei der Deutung der Kurvenform nochmals zurückgekommen. Der Verlauf der Kurve hat sich sehr stark geändert. Die Gruppe «1920...1924» zeigt bereits andeutungsweise die Tendenz der Charakteristik der späteren Gruppen. Bei der Gruppe «1925...1929» ist die Veränderung schon stark fortgeschritten und 1930 abgeschlossen. Dann blieb im Prinzip alles gleich, wenn auch die Jahrgänge «1940...1944» und in geringerem Mass auch diejenigen von «1945...1949» noch mehr Fehler lieferten als die vorangehenden Jahrgänge. Bei der Gruppe «1940...1944» ist die Fehlerhäufigkeit etwa doppelt so gross, bei der Gruppe «1945...1949» ist sie um etwa 25% grösser als bei den Jahrgängen «1930...1939», wie ein Vergleich

en soit, les dommages augmentent rapidement pour ce groupe, et dans le cas où l'on veut encore admettre une dépendance exponentielle, le décuplement de dommages au bout d'un an a déjà lieu après 19 ans. La répartition des points permet également une courbure très légère comme caractéristique possible, tendance visiblement accentuée dans les groupes «1925...

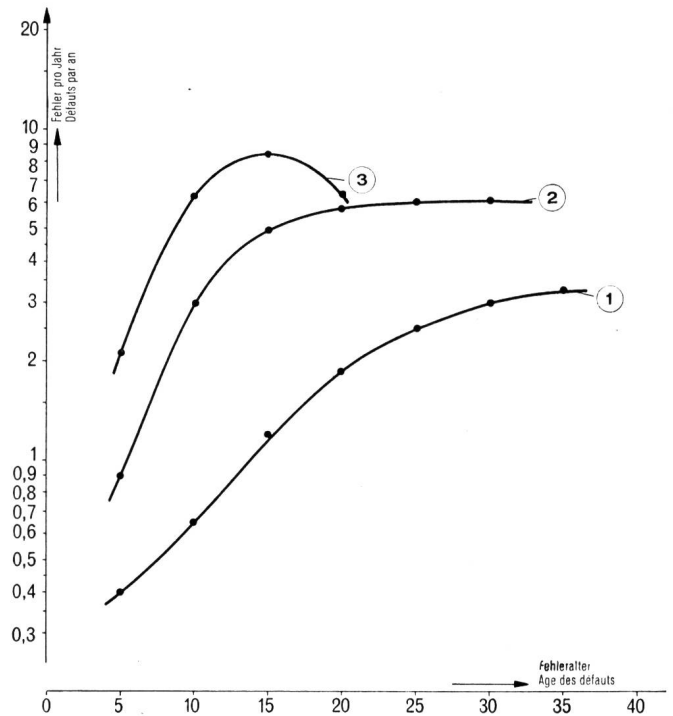


Fig. 9. Fehler infolge chemischer Korrosion, ohne die Fälle von «Phenolkorrosion»

Défauts dus à la corrosion chimique, sans les cas de «corrosion au phénol»

- ① Fehler infolge chemischer Korrosion (ohne «Phenolkorrosion») bei Kabeln, die vor 1920 fabriziert worden sind.
Défauts dus à la corrosion chimique (sans «corrosion phénolique») des câbles fabriqués avant 1920
- ② Fehler infolge chemischer Korrosion (ohne «Phenolkorrosion») bei Kabeln der Fabrikationsperiode 1920...1929
Défauts dus à la corrosion chimique (sans «corrosion phénolique») des câbles de la période de fabrication 1920...1929
- ③ Fehler infolge chemischer Korrosion (ohne «Phenolkorrosion») bei Kabeln der Fabrikationsperiode 1930...1939
Défauts dus à la corrosion chimique (sans «corrosion phénolique») des câbles de la période de fabrication 1930...1939

1929». Les tracés des groupes «1930...1934», «1935...1939» et «1940...1944» se recouvrent pratiquement en totalité. Cela signifie que pour ces groupes, la fréquence de defectuosité avec l'âge augmente de la même façon et que ces groupes comptent environ autant de kilomètres de câbles, en supposant qu'il n'y a pas de différences dans la qualité du matériel des câbles, celle-ci étant sans effet sur la caractéristique de defectuosité. Dans les groupes «1945...1949», il doit par contre y avoir plus de câbles, et, en fait, environ une longueur double d'après la position de la

der Proportionen für die Fehlerhäufigkeit und die gesamten Kabellängen zeigt.

12. Chemische Korrosion, ausgenommen «Phenolkorrosion»

Es sei zunächst nochmals darauf hingewiesen, dass sich diese Statistik nur auf eine geringe Zahl von Schadenfällen stützen kann, so dass daraus keinerlei quantitative Schlüsse gezogen werden dürfen. Grundsätzlich ist der Wechsel im Funktionsverlauf der Fehlerhäufigkeit für die verschiedenen Gruppen gleich wie bei der «Phenolkorrosion» (vgl. Fig. 9). Während die Gruppe der Kabel, die vor 1920 verlegt worden ist, noch einen mehr oder weniger plausiblen Verlauf zeigt – nehmen doch grundsätzlich die Fehler mit dem Alter zu –, so führt die Gruppe «1920...1929» über zu der zunächst unverständlichen Charakteristik der Gruppe «1930...1939» mit einem Fehlermaximum bei 15 Jahren und einem kräftigen Rückgang der Fehlerhäufigkeit für grössere Fehleralter.

13. Interpretation der Charakteristiken mit Fehlermaxima

Die Analyse der Fehlerhäufigkeit hat ergeben, dass bei Kabelanlagen, die seit dem Jahre 1930 verlegt worden sind, Korrosionsschäden infolge «Phenolkorrosion» und andern rein chemischen Ursachen mit der Zeit zunächst sehr rasch zunehmen, nach etwa 15...20 Jahren einen maximalen Stand erreichen und dann wieder zurückgehen. Da diese Art Fehlercharakteristik bei Kabeln, die vor 1920 fabriziert worden sind, nie beobachtet wurde, kann sie nicht durch eine allgemeine Änderung der korrosiven Bedingungen erklärt werden. So kann der Grund nicht in der vermehrten Düngung, in der Verschmutzung der Gewässer durch die Abwasser oder bei etwas Ähnlichem liegen, da dadurch alle Kabel unabhängig von der Fabrikationszeit in gleicher Weise betroffen würden. Die Ursache muss vielmehr beim Kabel selber liegen und da die Art der Verlegung und Montage praktisch unverändert geblieben ist, bildet der Aufbau des Kabels die einzig mögliche Variable. Wir haben bereits bei den Ermüdungsschäden festgestellt, dass infolge des reineren Bleis die Kabelmäntel immer anfälliger wurden. Es musste allerdings einschränkend beigefügt werden, dass die Statistik keine Angaben über die Gründe der erhöhten Fehlerhäufigkeit liefert. Die Begründung muss daher noch durch weitere Versuche bestätigt werden. Immerhin wäre es denkbar, dass die getroffene Annahme richtig ist, da daraus keine Konsequenzen abgeleitet werden können, die der Erfahrung widersprechen. Fragt man sich nun aber, ob die Veränderungen im Falle der Ermüdungsbrüche und bei den chemischen Korrosionen dieselbe Ursache haben, so kann man dies entschieden verneinen. Wäre bei der «Phenolkorrosion», gleich wie bei den Ermüdungsbrüchen, nur die

courbe. Un contrôle sommaire peut aussi être effectué dans ce cas à l'aide d'une comparaison avec la totalité des câbles posés au cours des périodes considérées.

Longueurs posées pour les périodes:

1930–1934	6444 km
1935–1939	5378 km
1940–1944	2821 km
1945–1949	7931 km

Si nous prenons pour longueurs étalons celles des groupes «1935...1939», nous obtenons le rapport 1,2:1:0,5:1,5. La portion des courbes pour la fréquence de défectuosité nous laisse supposer 1:1:1:1,9. Alors que les valeurs des deux premiers groupes concordent de façon satisfaisante, les divergences des deux groupes suivants sont trop grandes. On reviendra plus tard sur ce fait. Le cours de la courbe s'est fortement transformé. Le groupe «1920...1924» laisse déjà pressentir la tendance de la caractéristique des groupes plus âgés. Pour les groupes «1925 à 1929», la transformation a déjà fortement progressé et s'est terminée pour 1930. Tout reste en principe identique, bien que les années «1940...1944» et dans une plus faible mesure aussi les années «1945...1949» fournissent encore plus de défectuosités que les années précédentes. Pour le groupe «1940...1944», la fréquence de défectuosité est environ le double, pour le groupe «1945...1949» de 25% à peu près plus élevée que celle des années «1930...1939», comme le montre une comparaison des proportions pour les fréquences de défectuosité et pour les longueurs de câble en totalité.

12. Corrosion chimique à l'exclusion de la corrosion dite «du phénol»

On doit encore attirer l'attention sur le fait que cette statistique ne repose que sur un nombre restreint de dommages, de telle sorte que les conclusions quantitatives ne sont pas permises. En principe, le changement au cours de la fonction représentant la fréquence de défectuosité pour les différents groupes, est semblable à celle de la corrosion dite «du phénol» (cf. fig. 9). Alors que le groupe des câbles posés avant 1920 montre une marche plus ou moins plausible, les dommages augmentant en principe avec l'âge, le groupe «1920...1929» conduit, de façon tout d'abord incompréhensible, à la caractéristique des groupes «1930...1939» avec un maximum de défectuosité à 15 ans et une forte baisse de la fréquence pour des âges de défectuosité plus grands.

13. Interprétation des caractéristiques avec maximum de défectuosité

L'analyse de la fréquence de défectuosité a montré que pour les installations posées après 1930, les dommages dus à la corrosion dite «du phénol» et à d'autres corrosions chimiques, augmentent tout

Korrosionsgeschwindigkeit angestiegen, so wären dadurch die Kurven steiler geworden. Dass aber aus einer Geraden eine gekrümmte Kurve mit einem Maximum entstand, kann damit nicht erklärt werden. Eine Gefügeänderung ist ein Faktor, der einem Kabel, unabhängig von seinem Alter, bestimmte physikalische und chemische Eigenschaften gibt. Bei den Charakteristiken der «Phenolkorrosion» und anderer chemischer Korrosionen ist die Änderung aber zeitlich begrenzt. Es ist so gut wie sicher, dass nach einer gewissen rückläufigen Entwicklung wieder ein Anstieg der Fehlerhäufigkeit erfolgen wird. Offenbar wirkt irgendein Faktor während einer bestimmten Zeit, dann verschwindet dessen Einfluss wieder, und damit sinkt die Fehlerhäufigkeit, bis der normale Zuwachs der Fehler mit dem Alter der Anlage die Fehlerhäufigkeit wieder ansteigen lässt. Bei Kabeln sind Eigenschaften, die zeitlich stark variieren können, nur in der Kabelhülle vorhanden. Die faserigen Materialien werden mit der Zeit weitgehend abgebaut. Die Geschwindigkeit, mit der dies geschieht, wird durch die Eigenschaften der Imprägnierung bestimmt. Bei modernen Kabeln ist die Jute und das Papier normalerweise nach 10...15 Jahren zerrottet, während bei alten, teerimprägnierten Kabelhüllen, diese oft nach 30 Jahren noch weitgehend intakt sind. Die Form der Kurven für die Fehlerhäufigkeit lässt also vermuten, dass die Kabelhülle oder vielmehr die im Abbau begriffene Kabelhülle einen wesentlichen Faktor der «Phenolkorrosion» darstellt. Diese Annahme wird dadurch erhärtet, dass die für «Phenolkorrosion» typischen spiraligen Anfressungen immer unter den Juteschnüren entstehen. Es ist indessen nicht wahrscheinlich, dass beim Abbau der bitumisierten Jute und Papierbänder auch gerade die Stoffe gebildet werden, die die «Phenolkorrosion» bewirken. Dass in gewissen Gebieten die Schäden gehäuft auftreten, spricht ebenso gegen eine solche Annahme wie die Tatsache, dass oft Kabelmäntel unter einer vollständig zersetzten Hülle intakt geblieben sind, während anderswo unter einer ganz wenig zersetzten Jute starke Korrosionen angetroffen werden. Der Abbau der Jute scheint nur ein beschleunigender, allenfalls auch notwendiger Faktor zu sein. Damit eine Korrosion entsteht, braucht es aber, soweit wir den Mechanismus bereits überblicken, noch zusätzlicher aggressiver Bodenstoffe und gewisser elektrochemischer Voraussetzungen. Ist aber einmal die Jute zersetzt, das heisst, hat die Bildung von Kohlensäure und anderer Abbauprodukte aufgehört und funktioniert die Jute zusammen mit den Papierbändern nicht mehr als benetzendes Kapillarsystem und Ursache einer differentiellen Belüftung, so scheint die «Phenolkorrosion» weitgehend gehemmt zu sein. Praktisch bedeutet dies, dass ein Kabel, das in einem Gebiet verlegt worden ist, in dem die für die «Phenolkorrosion» notwendigen Komponenten, abgesehen von der Kabelhülle, in nur geringem Mass vorhanden

d'abord rapidement pour atteindre après environ 15–20 ans un stade maximum et décroissant ensuite. Etant donné que ce genre de caractéristique de défec-tuosité n'a jamais été observé pour les câbles fabri-qués avant 1920, elle ne peut pas être expliquée par un changement général des conditions de corrosion. On ne peut invoquer l'extension des engrais, la pollution de l'eau par les eaux résiduelles ou des rai-sons semblables, puisque dans ce cas, tous les câbles, indépendamment de leur période de fabrication, y seraient soumis. La raison doit bien plutôt être cher-chée dans le câble lui-même, et comme les procédés de montage sont pratiquement restés les mêmes, la fabrication du câble reste comme étant seule variable. Nous avons déjà, lors des dommages causés par la fatigue, pu constater que la sensibilité du man-teau de plomb est devenue de plus en plus grande avec la pureté du métal. Nous devons toutefois men-tionner de façon restrictive que la statistique ne fournit aucune donnée sur les raisons de l'accroisse-ment de la fréquence de défec-tuosité. L'explication doit donc encore être étayée par de plus amples expériences. Toujours est-il que l'hypothèse émise est viable, étant donné que les conséquences qu'on peut en tirer ne sont pas en contradiction avec l'ex-périence. Se demande-t-on cependant si les change-ments dans le cas des ruptures par fatigue et par corrosion ont les mêmes causes, on peut alors répondre catégoriquement non. Si, pour la corrosion dite «du phénol», seule la vitesse de corrosion se fût accrue de façon analogue à la rupture par fatigue, la pente des courbes se serait accentuée. Mais on ne peut rien expliquer à partir d'une droite prenant l'allure d'une courbe avec maximum. Une transformation dans la structure du plomb est un facteur fournissant des données physiques et chimiques bien déterminées, quelle que soit la longueur de son séjour dans le sol. Mais pour les caractéristiques de corrosion dites «du phénol» et d'autres corrosions chimiques, la transformation est limitée dans le temps. Il est pour ainsi dire certain qu'après une évolution rétrograde, un accroissement de la fréquence de défec-tuosité aura lieu. Sans doute qu'un facteur agit un certain temps, puis que son influence disparaît, entraînant un abais-sement de la fréquence de défec-tuosité jusqu'au moment où l'augmentation normale des défec-tuosités avec l'âge de l'installation laisse croître de nouveau la fréquence. Les propriétés des câbles variant fortement avec le temps ne peuvent être qu'au niveau de l'en-veloppe. Les matériaux fibreux sont peu à peu dé-composés avec le temps. La vitesse avec laquelle ceci a lieu est déterminée par les propriétés de l'imprégna-tion. Dans les câbles modernes, le jute et le papier sont normalement décomposés après 10...15 ans, alors que les anciennes enveloppes imprégnées de goudron sont souvent en majeure partie intactes après 30 ans. La forme des courbes de la fréquence de défec-tuosité laisse donc supposer que l'enveloppe des câbles ou plutôt celles en voie de décomposition sont un fac-

sind, während der Zerrottung des organischen Hüllmaterials eine gewisse «Phenolkorrosion» erleidet, die aber nicht zum Durchbruch führt bis die Jute abgebaut ist. Hierauf verlangsamt sich aber die Korrosion, so dass die Fehlerhäufigkeit sinkt, bis schliesslich doch wieder Schäden auftreten werden, nachdem die restliche Wandstärke der Bleimäntel mit einer bedeutend geringeren Geschwindigkeit durchkorrodiert sein wird. Fragt man, warum denn bei den Kabeln, die vor 1920 fabriziert worden sind, die Fehlerhäufigkeit normal mit dem Fehleralter zugenommen hat, so können dafür zwei Gründe angeführt werden. Einmal waren die Kabelhüllen vor 1920 alle geteert worden und daher bedeutend weniger rasch zerrottet. Dann enthält Teer aber auch Stoffe, die auf die Bodenflüssigkeit inhibierend einwirken. Bitumen, wie sie heute allgemein zur Imprägnation benutzt werden, besitzen diese Eigenschaften nicht. Dass die modernen Kabel so stark und so rasch der «Phenolkorrosion» anheimfallen, ist also mit grosser Wahrscheinlichkeit durch die bituminösen Imprägnierungsmittel bedingt. Zudem wurde durch den Übergang von Teer zu Bitumen ausser der «Phenolkorrosion» auch die Korrosion durch andere Ursachen chemischer Art ungünstig beeinflusst, da dort, wie bereits dargelegt, die Verhältnisse bei den Fehlercharakteristiken ähnlich liegen.

Einer Interpretation bedürfen noch die überdurchschnittlichen Fehlerhäufigkeiten der Gruppen «1940 bis 1944» und «1945...1949». Wenn die Kabelhüllen tatsächlich eine solche massgebende Rolle spielen, so sollten sich diese Anomalien ebenfalls durch Faktoren der Schutzhülle erklären lassen. Tatsächlich wurden in den Jahren 1941...47 anstatt Juteschnüre solche aus Zellulose verwendet. Nimmt man an, dass dadurch mindestens in den ersten Jahren nach der Verlegung die Zahl der Schadenfälle doppelt so hoch ausfällt, wie bei bejuteten Kabeln, so muss die Gruppe «1940...1944» ungefähr 80% und diejenige von «1945...1949» ungefähr 40% mehr Schadenfälle aufweisen als Gruppen, die nur Kabel mit Jutehüllen umfassen. Damit bekommt das Verhältnis der Kabellängen, berechnet aus der Schadenhäufigkeit der vier Gruppen mit den Jahrgängen 1930...1949, den Wert 1:1:0,5:1,4, was sehr gut mit dem Verhältnis für die gesamten Kabellängen, die in den entsprechenden Zeiten verlegt worden sind, übereinstimmt. Dieses beträgt nämlich, wie in Abschnitt 11 bereits dargelegt wurde, 1,2:1:0,5:1,5. Es ist daher auch vom statistischen Standpunkt aus gerechtfertigt, den Einfluss der Kabelumhüllungen genauer zu untersuchen.

14. Schlussbemerkung

Es wurde durch eine statistische Analyse gezeigt, dass die Fehlerhäufigkeit infolge elektrolytischer Korrosion praktisch unverändert geblieben ist. Die Kabel wurden dagegen mit der Zeit immer weniger

teur essentiel de la corrosion dite «du phénol». Cette hypothèse est d'autant plus valable que dans la corrosion dite «du phénol», on observe sous le ficelage de jute des corrosions spiralées typiques. Il est en outre peu probable que les substances occasionnant la corrosion dite «du phénol» se forment lors de la décomposition du jute et du papier bitumés. Le fait que les dommages se concentrent en certains endroits est aussi bien à la décharge d'une telle hypothèse que l'observation de câbles intacts sous des enveloppes désagrégées ou de câbles fortement attaqués sous des enveloppes très peu décomposées. La désagrégation du jute semble un facteur d'accélération ou un facteur nécessaire. Mais la corrosion n'a lieu, dans la mesure où nous pouvons embrasser le phénomène, que si certaines conditions électrolytiques sont liées à l'existence de certaines substances agressives du sol. Le jute une fois détruit, c'est-à-dire après cessation de la formation du gaz carbonique et d'autres produits de désagrégation, et le jute cessant de fonctionner comme système capillaire humide provoquant une aération différentielle, ce genre de corrosion semble être en majeure partie inhibé. Pratiquement, cela signifie qu'un câble exposé à des conditions partiellement favorables à la corrosion dite «du phénol» subira une certaine corrosion durant la désagrégation du matériel organique de l'enveloppe, mais n'en provoquera pas encore la perforation. Puis la corrosion se ralentit, entraînant une diminution de la fréquence de défektivité jusqu'à l'apparition de nouveaux dommages après que l'épaisseur restante du manteau ait été attaquée plus lentement. Si l'on demande pourquoi la fréquence de défektivité a augmenté normalement avec l'âge des défektivités pour les câbles fabriqués avant 1920, on peut invoquer deux raisons. Les enveloppes d'avant 1920 étaient goudronnées, donc moins vite désagrégées. D'autre part, le goudron renferme des substances inhibitrices. Les bitumes, tels qu'on les emploie aujourd'hui, ne possèdent pas cette propriété. Le fait que les câbles modernes soient atteints si profondément par la corrosion dite «du phénol» est très probablement lié au bitume du matériel d'imprégnation. D'autre part, l'emploi du bitume à la place du goudron influence défavorablement la corrosion chimique puisque les observations sont analogues dans ce secteur.

On cherche encore une interprétation pour la fréquence de défektivité particulièrement élevée des groupes «1940...1944» et «1945...1949». Si les enveloppes jouent un rôle si important, ces anomalies devraient s'expliquer également par certains facteurs de l'enveloppe protectrice. Effectivement, on a employé pour les années 1941...1947 des ficelages de cellulose au lieu de jute. Suppose-t-on que par ce fait, du moins dans les premières années de la pose, le nombre des dommages double par rapport à celui des enveloppes de jute, le groupe «1940...1944» doit montrer environ 80% et celui de «1945...1949» environ

widerstandsfähig gegenüber Erschütterungen, was vermutlich auf den immer höheren Reinheitsgrad der benutzten Reinbleimäntel zurückzuführen ist. Die «Phenolkorrosion» und auch die chemische Korrosion durch andere Ursachen, haben bei modernen Kabeln ebenfalls stark zugenommen. Die Ursache liegt bei einem zeitlich begrenzten, katalytisch wirkenden Faktor, der mit grosser Wahrscheinlichkeit durch den Abbau des organischen Materials der Kabelhüllen gebildet wird. Der Übergang von der Teer- zur Bitumenimprägnation hat sich sehr ungünstig auf die Fehlerhäufigkeit ausgewirkt.

Bibliographie

- [1] *Gertsch, Rudolf.* Kabelfehler und ihre Ursachen. Techn. Mitt." TT 1930, Nr. 1, S. 12...19.
- [2] *Gertsch, Rudolf.* Kabelfehler und ihre Ursachen. Techn. Mitt." TT 1934, Nr. 1, S. 1...9.
- [3] *Gertsch, R. und H. Koelliker.* Zwanzig Jahre Kabelfehlerstatistik. Techn. Mitt." PTT 1950, Nr. 1, S. 8-33, und Nr. 2, S. 50...70.
- [4] *Hadorn E. und R. Hainfeld.* 25 Jahre Kabelfehlerstatistik. Techn. Mitt." PTT 1955, Nr. 6, S. 213...230, und Nr. 7, S. 268...286.
- [5] *Hadorn E. und R. Hainfeld.* 30 Jahre Kabelfehlerstatistik. Techn. Mitt." PTT (in Vorbereitung).

Zur Entwicklungsgeschichte der automatischen Vermittlungstechnik

Von *Eduard Anderfuhren*, Bern

621.395.34 (091)

Zusammenfassung. *Das Primäre eines jeden automatischen Vermittlungssystems sind die Schaltorgane, das heisst Relais, Sucher, Wähler und Schalter. Im vorliegenden Artikel befasst sich der Verfasser vorwiegend mit der Entwicklung dieser Organe, so wie sie sich in der Schweiz in der Vergangenheit, der Gegenwart und vermutlich auch in der Zukunft darstellt. Die Arbeit erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, denn bei jedem System wird lediglich auf einige typische Merkmale hingewiesen.*

1. Einleitung

Der Gedanke, Telefonverbindungen selbsttätig, das heisst ohne Zutun einer Vermittlungsperson herzustellen, ist fast so alt wie das Telefon selber. Von den ersten tastenden Versuchen, die aus diesem Bestreben gemacht wurden, soll hier nicht die Rede sein. Unser Rückblick soll erst in jenem Zeitpunkt beginnen, in dem in der Schweiz die erste halbautomatische Telefonzentrale in Betrieb genommen worden ist. Dieser wichtige und für die Zukunft wegweisende Schritt wurde im Jahre 1917 getan, und zwar mit der Inbetriebnahme der halbautomatischen Zentrale Zürich-Hottingen. Schon mit dem Wort «halbautomatisch» verbindet sich entwicklungsmässig ein Begriff, der näher erläutert werden muss. Warum wurde diese erste Zentrale halb- und warum nicht vollautomatisch ausgeführt? Und warum wurde dann in der Folge noch an meh-

40% plus de dommages que les groupes avec câbles à enveloppes de jute. Les rapports des longueurs de câble calculés à partir des fréquences de déféctuosité deviennent de ce fait pour les 4 groupes des années 1930...1949 1:1:0,5:1,4, valeurs concordant très bien avec les rapports des longueurs totales de câble (1,2:1:0,5:1,5). Le point de vue statistique montre donc aussi que l'influence des enveloppes doit être approfondie.

14. Remarques finales

L'analyse statistique montre que la fréquence de déféctuosité due à la corrosion électrolytique n'a pratiquement pas changé. Les câbles sont par contre devenus de moins en moins résistants à l'action des secousses, fait lié probablement à la pureté accrue du plomb. La corrosion dite «du phénol» ainsi que d'autres corrosions ont aussi fortement augmenté. La cause réside dans un facteur catalytique, d'action restreinte dans le temps et conditionné très certainement par la désagrégation de la substance organique de l'enveloppe des câbles. Le fait d'être passé d'une imprégnation au goudron à une imprégnation au bitume a été défavorable pour la fréquence de déféctuosité.

Aperçu du développement de la commutation automatique

Par *Eduard Anderfuhren*, Berne

Résumé. *Les organes primaires d'un système automatique de commutation sont les relais, chercheurs, sélecteurs et commutateurs. L'auteur du présent article donne un aperçu du développement de ces organes dans le passé et le présent et tel qu'on peut le prévoir pour l'avenir. Il n'a pas cherché à faire un exposé complet et indique seulement quelques-unes des caractéristiques de chaque système.*

1. Introduction

L'idée de faire établir automatiquement les communications téléphoniques, c'est-à-dire sans l'intervention de tiers, est presque aussi ancienne que le téléphone lui-même. Nous ne parlerons pas ici des premiers tâtonnements faits dans ce domaine. Notre aperçu commence au moment où le premier central semi-automatique a été mis en service en Suisse. Ce pas important et décisif pour l'avenir a été accompli en 1917, par l'inauguration du central semi-automatique de Zürich-Hottingen. Le terme lui-même de «semi-automatique» est lié à une conception qu'il est nécessaire d'expliquer ici. Pourquoi ce central était-il à moitié automatique et non entièrement? Et pourquoi, par la suite, donna-t-on encore plusieurs fois la préférence au système semi-automatique? Nous répondons plus loin à ces questions. Contentons-nous de constater que dès les débuts jusqu'à maintenant