

# **Probleme der Bleikabelkorrosion. 10. Mitteilung, Korrosionsversuche mit verschiedenen Kabeltypen unter natürlichen Bedingungen = Problèmes de la corrosion des câbles sous plomb. 10e communication, essais de corrosion de divers types de câbles dans**

les c...

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **37 (1959)**

Heft 10

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-875469>

## **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.

## Probleme der Bleikabelkorrosion (10. Mitteilung)

Korrosionsversuche mit verschiedenen Kabeltypen unter natürlichen Bedingungen

## Problèmes de la corrosion des câbles sous plomb (10<sup>e</sup> communication)

Essais de corrosion de divers types de câbles dans les conditions naturelles

621.315.221:620.193

**Zusammenfassung.** Korrosionsversuche mit kurzen Kabelstücken von verschiedenartigem Aufbau, die in mehreren korrosionsgefährdeten Gebieten direkt in den Boden eingegraben wurden, ergaben, dass «Phenolkorrosion» unter diesen Bedingungen nur bei blanken Bleimänteln auftritt. Kunststoffummantelte Kabelproben mit nicht absolut dichten Endverschlüssen wurden durch hineindiffundiertes Wasser leicht angegriffen. Geringe Korrosionsspuren entstanden auch an einem schlecht imprägnierten Kabel mit erhöhtem Phenolgehalt der Imprägniermasse, während alle andern Kabel nicht korrodiert wurden.

**Résumé.** Des essais sur la corrosion ont été faits avec de courts tronçons de câbles de différentes constructions, enfouis directement dans le sol, dans des zones présentant un danger de corrosion. Ils ont montré que, dans ces conditions, la corrosion dite sous l'effet du phénol n'apparaît que sur les gaines de plomb nues. Les tronçons de câbles enveloppés de matière synthétique, dont les extrémités n'étaient pas fermées de manière absolument étanche, ont été légèrement attaqués par l'eau qui avait pénétré à l'intérieur. De faibles traces de corrosion ont aussi été relevées sur un câble à enveloppe mal imprégnée, dont la matière d'imprégnation accusait une teneur élevée en phénol, tandis que tous les autres câbles étaient exempts de corrosion.

### 1. Einleitung

In einer früheren Veröffentlichung [1] wurde ausführlich über einen Grossversuch mit verschiedenen Kabeltypen im Belpmoos bei Bern berichtet. Dabei ergab sich unter anderem, dass die Bleimäntel von Kabeln, die in Zoreskanäle verlegt worden waren, rascher korrodierten als solche, die direkt im Boden lagen. Am schnellsten wurde ein blankes Kabel zerstört, dessen 1,5 mm starke Bleiwandung bereits nach vier Jahren perforiert war. Leider war kein blankes Kabel direkt in den Boden verlegt worden, so dass für diesen Fall die Korrosionsgeschwindigkeit im Zoreskanal nicht mit derjenigen eines gleichartigen Kabels im Boden verglichen werden konnte.

Wir wiesen bereits damals mit Nachdruck darauf hin, dass die beobachteten Korrosionsformen diejenigen einer «Phenolkorrosion» waren, und folgerten daraus, dass organisches Hüllenmaterial keine notwendige Voraussetzung für das Auftreten einer «Phenolkorrosion» sein kann. Ferner mussten wir feststellen, dass Potentialmessungen keine brauchbaren Angaben über den Korrosionszustand eines Bleimantels liefern. Auch wurde zwischen dem Verrotungsgrad der Jute und der Stärke der aufgetretenen Korrosionen keine Korrelation festgestellt.

Im folgenden soll nun noch ergänzend über Versuche berichtet werden, die wir mit den gleichen Kabeltypen, wie sie im Grossversuch «Belpmoos» verwendet wurden, durchführten.

Im Sommer 1952 gruben wir ungefähr 1,5 m lange Stücke von zehn verschiedenen Kabeltypen in der Nähe solcher Kabelanlagen direkt in den Boden ein, die immer wieder Störungen infolge «Phenolkorrosion» aufwiesen.

Im Sommer 1953 wurden nochmals einige Serien vergraben, diesmal aber nicht in der Nähe von besonders störanfälligen Anlagen, sondern an Stellen mit extremen Bedingungen, so bei einem grossen Haufen

### 1. Introduction

Dans une précédente communication [1], nous avons traité en détail d'un grand essai exécuté avec différents types de câbles au Belpmoos près de Berne. Il en résultait en particulier que les gaines de plomb des câbles posés dans des caniveaux zorès se corrodent plus vite que celles des câbles posés directement dans le sol. La destruction la plus rapide fut celle d'un câble nu, dont la gaine de 1,5 mm fut perforée déjà au bout de quatre ans. Malheureusement, aucun câble nu n'était posé directement dans le sol, aussi n'a-t-on pu, dans ce cas, comparer la rapidité de la corrosion dans le caniveau zorès avec celle d'un câble de même nature posé dans le sol.

Nous avons déjà relevé le fait que les formes de corrosion observées étaient celles de la corrosion dite sous l'effet du phénol et en avons conclu que la présence d'une enveloppe en matière organique n'était pas une condition sine qua non de ce genre de corrosion. Nous avons constaté en outre que les mesures de potentiel ne donnent pas d'indications utilisables sur l'état de corrosion d'une gaine de plomb. De plus, aucune corrélation entre le degré de pourriture du jute et l'intensité de la corrosion n'a été observée.

La présente communication se rapporte à des essais effectués sur les mêmes types de câbles que dans l'essai du Belpmoos.

En été 1952, nous avons enfoui directement dans le sol, à proximité d'installations de câbles fréquemment attaquées par la corrosion sous l'effet du phénol, des tronçons de 1,5 m de dix types de câbles différents.

En été 1953 furent de nouveau enfouies quelques séries de câbles, non au voisinage d'installations particulièrement attaquées, mais en des lieux présentant des conditions extrêmes, par exemple près d'un gros tas de fumier de poule, dans le sol absolument exempt

von Hühnermist, im vollständig humusfreien Boden einer Kiesgrube und im salzigen Boden neben einem Salzwerk.

Im Sommer 1954 wurde schliesslich eine letzte Serie im Einlaufkanal des Elektrizitätswerkes Bern im Marzili, Bern, ins strömende Aarewasser gehängt.

Im Frühjahr 1957 gruben wir dann die Kabel wieder aus und untersuchten sie näher.

## 2. Aufbau der verschiedenen Kabeltypen und Versuchsdauer

An jeder Versuchsstelle wurden zehn verschiedene Kabelstücke direkt in den Boden gelegt. Die Kupferadern entfernten wir vorher und verschlossen die Bleirohre mit Korkpfropfen. Ferner stülpten wir über die beiden Enden der Kabelstücke etwa 20 cm lange Kappen aus einseitig verschweisstem Plastikschlauch (Schrumpfschlauch), der sich beim Abkühlen stark zusammensog und so die Kabelhüllen fest auf die Bleimäntel presste. Trotzdem konnte, wie später festgestellt werden musste, Wasser nicht nur unter die Verschlusskappen diffundieren, sondern auch die Korkverschlüsse waren auf die Dauer nicht dicht, so dass im Innern einiger Probekabel beträchtliche Wassermengen vorgefunden wurden. In der *Tabelle I* sind Aufbau und Bezeichnung der verschiedenen Kabeltypen, in *Tabelle II* die Daten über die Versuchsdauer zusammengestellt (vgl. auch die ausführlichen Angaben in [1]).

## 3. Kurze Charakterisierung der Versuchsstellen, wie sie bei Versuchsabbruch angetroffen wurden

### *Aare | Bern*

Die Versuchskabel waren auf einem verzinkten Eisenrost montiert, wobei Holzbacken die Kabel an drei Stellen festhielten. Zwischen den verzinkten Eisenträgern und den Kabeln bestand kein metallischer Kontakt. Das Gestell hing etwa 80 cm tief im Wasser des Zulaufkanals des Elektrizitätswerkes Bern im Marzili. Das Holz der Halterung war bei Versuchsabbruch bereits stark vermorscht. Eine dicke Algen-schicht bedeckte die Kabel dort, wo sie frei im Wasser lagen. Da das Wasser bei der Versuchsstelle immer etwas wirbelte, war die Durchlüftung gut.

### *Bex (Waadt)*

Die Versuchsstelle im Fabrikareal der Salines du Bévieux konnte man gleich daran erkennen, dass dort jegliche Vegetation fehlte, da die Stelle alle drei Monate mit Salz bestreut wurde. Die Erde war schwarz und auffällig krümelig bis staubig. In der Umgebung der periodisch gesalzenen Versuchsstelle kam ebenfalls nur ein spärlicher Pflanzenwuchs auf, da der Boden überall mit Salz durchsetzt war. Das Terrain zeigte keine natürliche Lagerung, sondern war verschiedentlich bei Bauarbeiten umgeschichtet worden.

### *Dürnten (Zürich)*

Die Versuchsstelle lag im Obstgarten eines Gehöfts. Eine dichte Grasnarbe bewies, dass der Boden gut

d'humus d'une carrière de gravier et dans un sol salin près d'une saline.

Enfin, en été 1954, une dernière série de câbles furent suspendus dans le canal d'amenée de l'eau courante de l'Aar à l'usine électrique de la ville de Berne, au Marzili.

Tous ces câbles furent retirés au printemps 1957 et examinés à fond.

## 2. Construction des différents types de câbles et durée des essais

En chaque lieu d'essai furent posés directement dans le sol dix tronçons de câbles différents. Nous avons tout d'abord enlevé les conducteurs de cuivre et obturé les tubes de plomb au moyen de bouchons de liège. Nous avons ensuite placé sur les deux extrémités des tronçons de câble des capes de 20 cm environ de longueur faites d'un tuyau souple en matière plastique soudé d'un côté, qui se rétrécissait fortement au refroidissement et pressait les enveloppes contre les gaines des câbles. Malgré cette précaution, nous avons constaté par la suite que non seulement l'eau avait pénétré sous les capes de fermeture, mais encore qu'avec le temps les bouchons de liège avaient perdu leur étanchéité; aussi trouvâmes-nous dans plusieurs câbles soumis à l'essai des quantités appréciables d'eau. Le *tableau I* montre la construction et la désignation des différents types de câbles, le *tableau II* contient des données sur la durée des essais (cf. aussi les indications détaillées figurant dans [1]).

## 3. Brève description des lieux d'essai tels qu'ils se présentaient au moment de l'interruption des essais

### *Aar | Berne*

Les câbles mis à l'essai étaient montés sur un treillis de fer zingué et maintenus à trois endroits par des mordaches. Il n'existait pas de contact métallique entre les supports de fer zingué et les câbles. Le système reposait à environ 80 cm au-dessous du niveau de l'eau du canal d'amenée de l'usine électrique de Berne au Marzili. Lorsque l'essai fut interrompu, les bouées de bois étaient fortement attaquées par la pourriture. Une épaisse couche d'algues recouvrait les câbles là où ils plongeaient librement dans l'eau. L'aération était bonne du fait que l'eau était continuellement agitée de faibles remous.

### *Bex (Vaud)*

L'essai s'est fait dans le terrain de la fabrique des Salines du Bévieux, facilement reconnaissable à l'absence de toute végétation, due au fait que du sel était répandu tous les trois mois sur le terrain. La terre était noire et de consistance friable à poussiéreuse. Au voisinage du terrain d'essai, la végétation était également très faible, le sol étant imprégné de sel. Le terrain ne présentait pas de stratification naturelle, ayant été remué de diverses manières lors de travaux de construction.

Bezeichnung Désignation	Typ Type	Aufbau des Kabelmantels von innen nach aussen Constitution de l'enveloppe en allant du dedans au dehors
A	A	Blanker Reinbleimantel — Gaine nue de plomb pur
B	B	Reinbleimantel, Bitumenschicht, 3 imprägnierte Papierbänder, imprägnierte Jutelage — Gaine de plomb pur, couche de bitume, 3 rubans de papier imprégné, couche de jute imprégné
C	B	Mit 0,7% Sb legierter Bleimantel, sonst wie B — Gaine de plomb allié de 0,7% d'antimoine, pour le reste comme B
D	B («Phenolkabel») (Câble au phénol)	Reinbleimantel, Teerschicht, 3 unimprägnierte Papierbänder, schwach imprägnierte Jutelage — Gaine de plomb pur, couche de goudron, 3 rubans de papier non imprégné, couche de jute faiblement imprégné
E	Sandwichkabel Câble sandwich	Reinbleimantel, imprägnierte (gummiartige) Textilbänder, mit Bitumen imprägnierte Jutelage — Gaine de plomb pur, rubans de matière textile (rappelant le caoutchouc) imprégnée, couche de jute imprégné de bitume
F	Bleikabel Câble sous plomb Hackethal	Reinbleimantel, Polymentschicht mit eingegossener Kunststoff-Folie, Al-kaschierte Kunststoff-Folie, imprägnierte Papierlagen, Runddrahtarmatur, imprägnierte Jutelage — Gaine de plomb pur, couche de polyment avec feuille de matière synthétique coulée, feuille de matière synthétique recouverte d'aluminium, couches de papier imprégné, armure de fils de fer ronds, couche de jute imprégné
G	Stahlwell Acier ondulé Hackethal	Stahlwellrohr, Polymentschicht mit eingegossener Kunststoff-Folie, Al-kaschierte Kunststoff-Folie, imprägnierte Papierlagen, 1 Eisenband (mit grösserem Zwischenraum gewickelt, imprägnierte Jutelage — Tube d'acier ondulé, couche de polyment avec feuille de matière synthétique coulée, feuille de matière synthétique recouverte d'aluminium, couches de papier imprégné, 1 ruban de fer (enroulé avec grands espaces), couche de jute imprégné
H	TB	Reinbleimantel, gespritzter Polyäthylenschlauch (1,5 mm Wandstärke), geölte aber <i>nicht</i> bitumen-imprägnierte Jutelage — Gaine de plomb pur, tube de polyéthylène extrudé (paroi épaisse de 1,5 mm), couche de jute huilé, mais <i>non</i> imprégné de bitume
J	TB	Reinbleimantel, gummiertes Baumwollband, verschweisstes Polyäthylenband (0,3 mm dick), 4 Papierbänder, von denen die äusseren 3 bituminiert sind, bituminierte Jutelage — Gaine de plomb pur, ruban de coton caoutchouté, ruban de polyéthylène soudé (0,3 mm d'épaisseur), 4 rubans de papier dont les 3 rubans extérieurs bitumés, couche de jute bitumé
K	C	Reinbleimantel, Bitumenschicht, 3 bituminierte Papierbänder, bituminierte Jutelage, 2 überlappend gewickelte Eisenbänder, äussere bituminierte Jutelage — Gaine de plomb pur, couche de bitume, 3 rubans de papier bitumé, couche de jute bitumé, 2 rubans de fer enroulés avec recouvrement, couche extérieure de jute bitumé

gedüngt wurde. Die Erde war oberflächlich braunschwarz, mit zunehmender Tiefe heller und gleichzeitig auch lehmiger.

#### *Eiken (Aargau)*

Die Versuchsstelle lag ausserhalb des Dorfes am Strassenrand der Hauptstrasse. Die Vegetation war üppig, wenn auch völlig verwildert, wie sie in dem schmalen Landstreifen zwischen Strasse und eigentlichem Kulturland zu sein pflegt. Unmittelbar unter der Grasnarbe wurden gerundete Kalkgerölle angetroffen, die aber nach etwa 30 cm wieder vollständig fehlten und von einer braunen, humushaltigen Lehmschicht abgelöst wurden.

#### *Frick (Aargau)*

Auch hier waren die Kabel neben der Hauptstrasse eingelegt worden. Da dort das Land aber bis zum

#### *Dürnten (Zurich)*

Le terrain d'essai se trouvait dans le verger d'une ferme. L'épaisseur de la couche végétale montrait que le terrain était bien engraisé. A la surface, la terre était de couleur brun noir et s'éclaircissait en profondeur en devenant plus limoneuse.

#### *Eiken (Argovie)*

L'essai eut lieu en dehors du village, au bord d'une route principale. La végétation était luxuriante, quoique absolument sauvage comme elle l'est généralement dans l'étroite bande de terrain qui sépare la route des terres cultivées. Immédiatement au-dessous de la terre végétale, on trouva des pierres d'éboulis calcaires arrondies qui, 30 cm plus bas, disparaissaient complètement pour faire place à une couche limoneuse humifère brune.



Asphaltbelag der Strassendecke genutzt wird, lagen die Kabel bereits in einem Weizenfeld. Nach einer etwa 30 cm mächtigen Humusschicht stiessen wir auf kompakten braunen Lehm, der viele kantige Gesteinkörner von Stecknadelkopfgrosse enthielt.

#### Gächlingen (Schaffhausen)

Die Kabel waren unter einem Stück Wiesland vergraben, das von einem kleinen Rinnsal durchflossen wurde. Das Wasser dieses Bächleins wies einen extrem hohen Nitratgehalt (32 mg/l) auf. Die Kabel lagen in einem fetten, hellbraunen Lehm.

#### Geflügelzuchtschule, Zollikofen (Bern)

Der Betrieb der Geflügelzuchtschule erzeugt bedeutende Mengen Hühnermist, die auf einem grossen Miststock im nahen Wäldchen abgelagert werden. Das Gelände bildet dort einen sanften Abhang, so dass das Sickerwasser vom Dünghaufen rasch in tiefere Zonen abfliesst. Bereits dürre und stark geschädigte Laubbäume (vor allem Buchen) zeigen, dass dort der Boden stark überdüngt ist. Ungefähr 10 m unterhalb des Miststocks war eine Serie Kabel in grauem Gehängelehm eingebettet. Um die Korrosionsbedingungen zu verschärfen, war dem Deckmaterial seinerzeit noch zusätzlich frischer Mist beigemischt worden, so dass beim Ausgraben der Lehm mit verrottetem Mistmaterial durchsetzt war.

#### Hundwil (Appenzell-Ausserrhodan) (Rutschhang)

Die Versuchsstelle lag am Fusse eines steilen Hangs, in welchen die weidenden Kühe die typischen, treppenartigen Gehstreifen getreten hatten. Die wulstigen Geländeformen sowie einzelne kleine Anrisse liessen erkennen, dass der ganze Hang übersteil ist und daher langsam abrutscht. Der Boden, in dem die Versuchskabel lagen, zeigte eine starke Vermischung der sandigen und lehmigen Schichten mit groben Gesteinsbrocken. Eindrücke und Verbiegungen in den Bleimänteln bewiesen ebenfalls, dass das Terrain ständig in Bewegung war.

#### Hundwil (Appenzell-Ausserrhodan) (Sumpfhang)

Diese Versuchsstelle konnte, nachdem alle Vermessungspunkte bei einer Trasseverlegung entfernt worden waren, nur deshalb wiedergefunden werden, weil die Vegetation über dem Schacht immer noch verschieden war von derjenigen der ungestörten Umgebung. Im Gegensatz zu der benachbarten, oben beschriebenen Stelle war die ganze versumpfte Halde absolut stabil. Den Boden durchsetzt selbst in 40 cm Tiefe, das heisst auf der Höhe der hier nur wenig tief vergrabenen Kabel, starkes Wurzelwerk von Sumpfgräsern. Die Erde war schllickig, grauschwarz.

#### Kiesgrube Losinger, Zollikofen (Bern)

Die Kabel waren im abgebauten Teil der Grube etwa 60 cm tief eingegraben worden. Das mit Sand und noch feinerem, lehmartigem Material durchsetzte Kies gewährleistete eine sehr gute Durchlüftung. Ebenso floss tropfbares Wasser sogleich ab. Die Kabel waren

Tabelle II. Versuchsdauer — Durée des essais Tableau II.

Ort — Lieu	Eingelegt am Câble posé le	Ausgegraben am Retiré le	Dauer (Monate) Durée (mois)
Aare/Bern . . . . .	8. 7. 54	7. 4. 57	33
Bex, Salines du Bévieux . .	8. 5. 53	27. 3. 57	47
Dürnten . . . . .	17. 6. 52	21. 3. 57	57
Eiken . . . . .	16. 6. 52	7. 3. 57	57
Frick . . . . .	16. 6. 52	7. 3. 57	57
Gächlingen . . . . .	18. 6. 52	13. 3. 57	57
Geflügelzuchtschule — Parc avicole Zollikofen . . . .	7. 5. 53	6. 3. 57	46
Hundwil (Rutschhang — zone d'éboulement) . . . . .	21. 6. 52	14. 3. 57	57
Hundwil (Sumpfhang — zone marécageuse) . . . . .	21. 6. 52	15. 3. 57	57
Kiesgrube — Gravière Losin- ger, Zollikofen . . . . .	6. 5. 53	13. 3. 57	46
Löhningen . . . . .	18. 6. 52	13. 3. 57	57
Sommeri . . . . .	21. 6. 52	14. 3. 57	57
Wilchingen . . . . .	18. 6. 52	13. 3. 57	57

#### Frick (Argovie)

Les câbles étaient également posés au bord d'une route principale. Le terrain cultivable étant utilisé jusqu'au revêtement d'asphalte de la route, les câbles se trouvaient dans un champ de blé. Sous une couche d'humus de 30 cm, nous avons trouvé un limon brun compact contenant de nombreuses pierres à arêtes vives de la grosseur d'une tête d'épingle.

#### Gächlingen (Schaffhouse)

Les câbles étaient enfouis dans une prairie traversée par un petit ruisseau, dont l'eau avait une teneur en nitrate extrêmement élevée (32 mg/l). Les câbles étaient posés dans un limon gras brun clair.

#### Parc avicole, Zollikofen (Berne)

L'exploitation du parc avicole donne d'assez grandes quantités de fumier de poule, déposé en un gros tas dans un petit bois voisin. Le terrain est en pente douce et l'eau d'écoulement du fumier descend rapidement dans les zones plus basses. Des arbres à feuilles caduques déjà secs et fortement endommagés montrent que le terrain reçoit trop d'engrais. Une série de câbles ont été enfouis dans le limon de la pente, 10 m environ en dessous du tas de fumier. Pour accentuer les conditions favorisant la corrosion, la matière de recouvrement avait été mélangée à du fumier frais; lors du retrait des câbles, le limon était tout mêlé de fumier pourri.

#### Hundwil (Appenzell) (pente d'éboulement)

L'endroit choisi pour l'essai se trouve au pied d'une pente rapide sur laquelle le bétail, en paissant, a laissé les marques typiques, en forme d'escalier, de ses allées et venues. Les formes boursoufflées du terrain, ainsi que quelques fissures, montrent que toute la pente est tellement raide que le terrain descend

aber trotzdem immer etwas feucht, da Kieslager in unseren Gegenden höchst selten 60 cm tief austrocknen.

#### *Löhningen (Schaffhausen)*

Diese Versuchsstelle befand sich unmittelbar neben der Strasse Löhningen-Neunkirch. Die Kabel lagen unter Wiesland, in einem dunkelgrauen Boden, der sich lehmig bis sandig anfühlte und mit etwas Kies vermischt war. In 1 m Tiefe, also nur etwa 15 cm tiefer als die Versuchskabel, stiessen wir auf reinen, zermalmt Kalk.

#### *Sommeri (Thurgau)*

Die Kabel lagen im Obstgarten eines grossen Bauernhofes. Unter der mastigen Grasnarbe wurden etwa 40 cm Humus und dann dunkelgrauer, sandiger Lehm ausgehoben.

#### *Wilchingen (Schaffhausen)*

Unter einer nur wenige Zentimeter dicken Humusschicht lag ein gelbbraunes, staubfeines Material, Löss. Dieses Material ist in der Schweiz nur selten anzutreffen, während es beispielsweise in China riesige Gebiete überdeckt. Die Versuchsstelle bildete eine kleine Mulde in einem ausgedehnten Hügelzug. Bereits bei den Voruntersuchungen 1951 war festgestellt worden, dass die oberste Bodenschicht abnormal viel Nitrat enthielt. Als wir die Kabelstücke im Frühjahr 1957 wieder ausgruben, war das ganze Feld wiederum frisch übermistet. Der Besitzer versucht offenbar, den humusarmen Boden durch intensive Düngung fruchtbarer zu machen.

### 4. Art und Stärke der festgestellten Korrosionen

Von den verschiedenen eingegrabenen Kabeltypen korrodierten einzig die blank verlegten Bleimäntel in stärkerer Masse. Ebenso waren an fast allen Stellen die Bleimäntel unter den Kunststoffhüllen etwas angegriffen. An einigen Stellen entstanden auch geringfügige Korrosionsspuren auf den Bleimänteln des Kabels mit erhöhtem Phenolgehalt. Bei allen andern Kabeln war das Blei bei Versuchsabbruch noch neuwertig. Obwohl wir die Versuche in besonders gefährdeten Gebieten durchführten, zeigte der am stärksten korrodierte Bleimantel eines blanken Kabels nur weniger als 1 mm tiefe Anfressungen. Die Kabel vom Typus B waren an keiner einzigen Stelle auch nur spurenhafte angegriffen worden, obwohl in unmittelbarer Nähe an Kabeln des gleichen Typs in den Zoreskanälen immer wieder Störungen entstehen. Dadurch wurde die bereits beim Grossversuch «Belpmoos» geäusserte Vermutung, dass direkt in den Boden verlegte Kabelstücke weniger korrodieren als solche in Zoreskanälen, durchwegs bestätigt. Zum Teil sehr stark verrottet waren dagegen die organischen Hüllmaterialien der verschiedenen Kabeltypen, ohne dass aber deshalb die Bleimäntel angegriffen gewesen wären. Daraus lässt sich eindeutig folgern, dass eine Kabelhülle, selbst wenn sie mit der Zeit stark abgebaut wird, immer noch viel günstiger ist als überhaupt keine. Dieser Schluss ist nicht so trivial, wie es zunächst scheint, da gerade

lentement. Le sol où les câbles étaient posés était formé d'un mélange de sable et de couches limoneuses avec grosses pierres. Les déformations par pression et les flexions subies par les gaines de plomb montrent également que le terrain est constamment en mouvement.

#### *Hundwil (Appenzell) (pente marécageuse)*

Après avoir, lors d'un changement de tracé, enlevé tous les points de repère, on ne put retrouver le câble que par la différence de végétation entre le dessus de la tranchée et le reste du terrain. Contrairement à ce qui est le cas pour l'essai précédent, fait à un endroit voisin, le terrain marécageux était absolument stable. A 40 cm, profondeur relativement faible à laquelle le câble était enfoui, on trouvait encore dans le sol de fortes racines de plantes de marais. La terre était vaseuse, gris noir.

#### *Gravière Losinger, Zollikofen (Berne)*

Les câbles étaient enfouis à environ 60 cm de profondeur dans la partie de la gravière déjà exploitée. Le gravier mêlé de sable et de matière limoneuse plus fine permettait une très bonne aération. Même l'eau de pluie se perdit rapidement. Les câbles étaient cependant toujours un peu humides, car dans nos contrées les gravières ne s'assèchent que très rarement au-dessous de 60 cm.

#### *Löhningen (Schaffhouse)*

L'endroit choisi pour l'essai se trouvait immédiatement à côté de la route Löhningen-Neunkirch. Les câbles étaient placés sous la prairie, dans un sol gris foncé de consistance limoneuse à sableuse, mêlé d'un peu de gravier. A 1 m de profondeur, 15 cm plus bas que les câbles, nous avons trouvé la roche calcaire broyée.

#### *Sommeri (Thurgovie)*

Les câbles étaient posés dans un verger près d'une grande ferme. Sous la couche végétale se trouvait une couche de 40 cm d'humus et, plus bas, se rencontrait un limon sableux gris foncé.

#### *Wilchingen (Schaffhouse)*

Sous une couche de quelques centimètres d'humus se trouvait un loess poussiéreux jaune brun. On ne rencontre que rarement cette matière en Suisse alors qu'en Chine par exemple elle recouvre d'immenses contrées. Les câbles étaient posés dans une dépression d'une longue chaîne de collines. Des essais faits déjà en 1951 avaient permis de constater que la couche supérieure du sol contient une quantité anormale de nitrate. Lorsque nous avons déterré les câbles en 1957, tout le champ venait de recevoir une nouvelle couche de fumier. Il semble que le propriétaire cherche, par une fumure intensive, à fertiliser un sol pauvre en humus.

### 4. Nature et intensité des attaques corrosives constatées

Des différents types de câbles enfouis, seuls ceux dont la gaine de plomb était nue se sont corrodés

in letzter Zeit immer häufiger die Ansicht vertreten wird, die Bleimantelkorrosionen würden durch Abbau-  
produkte des organischen Hüllenmaterials ausgelöst [2, 3].

Auf der ganzen Oberfläche gleichmässig korrodiert war nur das blanke Kabel, die im Aarewasser lag, und zwar nur dort, wo es vom Wasser frei gespült worden ist, während sich unter der morsch gewordenen Holzhalterung eine bedeutend stärkere interkristalline

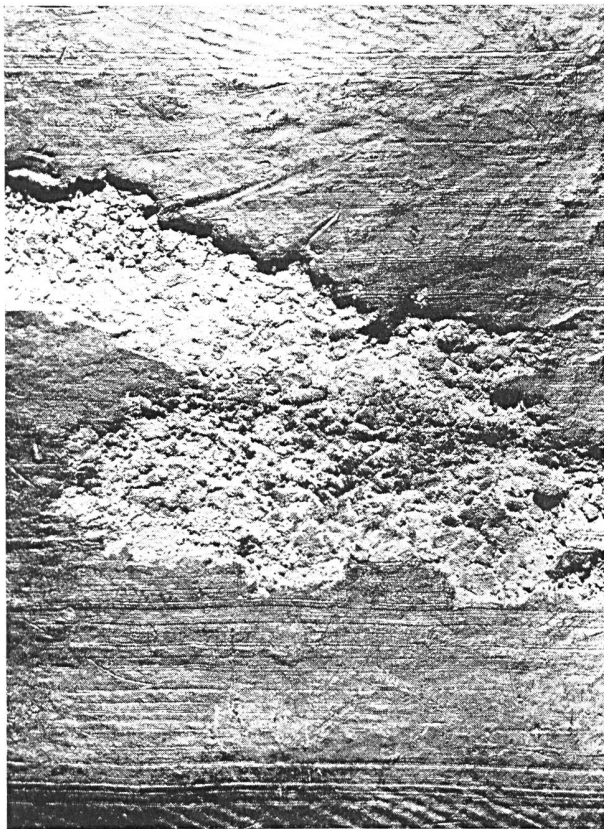


Fig. 1. Korrodierte Stelle auf der Oberfläche des bei Wilchingen blank eingegrabenen Bleimantels.  
Vergrößerung: 5 ×  
Endroit corrodé à la surface de la gaine de plomb du câble nu enfoui près de Wilchingen.  
Grossi 5 ×

Korrosion ausbildete. Das im Sumpfhang bei Hundwil eingegrabene Kabel war nur ganz schwach, aber mehr oder weniger homogen angegriffen. Stark unterschiedlich, aber doch noch über die gesamte Oberfläche verbreitet, waren die sehr weit fortgeschrittenen Korrosionen auf dem Bleimantel, der in der Nähe des Miststocks der Geflügelzuchtsschule eingegraben worden war. Bei allen andern Kabelstücken blieben die Korrosionen auf einige 2...3 cm lange und etwa 0,5 cm breite Nester beschränkt (Fig. 1). Oft blieben mehr als 90% der Bleioberfläche unversehrt. Die korrodierten Bezirke bildeten normalerweise parallel zur Kabelachse laufende, langgestreckte Ovale, so dass vermutet werden muss, das Kabel habe dort eine mehr oder weniger ebene Fläche berührt, oder es sei zwischen dem Kabelmantel

dans une large mesure. De même, en tous les lieux d'essai, le plomb était légèrement attaqué sous les enveloppes en matière synthétique. En quelques endroits on a relevé quelques faibles traces de corrosion sur les gaines des câbles avec teneur élevée en phénol. Sur tous les autres câbles, le plomb était intact à la fin de l'essai. Bien que les essais aient eu lieu dans des régions présentant des conditions de nature à faciliter la corrosion, la gaine de plomb la plus corrodée d'un câble nu n'était attaquée nulle part sur plus de 1 mm de profondeur. Les câbles du type B ne montraient pas la plus faible trace de corrosion, bien que des câbles du même type posés à proximité dans des caniveaux zorès aient été affectés de dérangements fréquents. Cette constatation confirme l'hypothèse que nous avons émise après le grand essai du Belpmoos: les câbles posés directement dans le sol se corrodent moins que ceux qui sont placés dans des caniveaux zorès. En revanche, les enveloppes en matières organiques des divers types de câbles étaient en partie fortement pourries, sans que les gaines de plomb aient été attaquées. Ce fait démontre qu'une enveloppe de câble, même si elle se détruit presque entièrement avec le temps, est encore préférable à pas d'enveloppe du tout. Cette remarque n'est pas aussi évidente qu'on pourrait le croire tout d'abord, car on a prétendu plusieurs fois ces derniers temps que les corrosions de gaines de plomb étaient dues au produit de la destruction des enveloppes en matière organique [2, 3].

Seul le câble nu posé dans l'eau de l'Aar était corrodé régulièrement sur toute sa surface, et là seulement où il était lavé librement par l'eau; sous les supports de bois, qui avaient pourri entre-temps, s'était produite une forte corrosion interkristalline. Le câble enfoui dans le terrain marécageux près de Hundwil n'était que faiblement attaqué, de manière plus ou moins homogène. Sur la gaine de plomb du câble posé près du tas de fumier du parc avicole, les attaques corrosives parfois très avancées différaient fortement les unes des autres, mais étaient réparties sur toute la surface. Sur d'autres câbles, les attaques étaient limitées à des nids de 2...3 cm de long et 0,5 cm environ de large (fig. 1). Très souvent, le câble était intact sur plus de 90% de sa surface. Les places corrodées se montraient normalement sous la forme d'ovales allongés parallèles à l'axe du câble; il faut donc admettre qu'à ces endroits le câble était en contact avec une surface plus ou moins plane ou qu'il y avait un espace libre entre la gaine du câble et le sol qui l'entourait. A un certain endroit, on a constaté sans doute possible que le câble était corrodé à un point où il était en contact avec un caillou. Le fait que les points corrodés étaient souvent recouverts de cristaux bien formés et propres du produit de la corrosion permet cependant de supposer qu'en pareil cas la corrosion s'est produite là où le sol ne touchait pas la gaine. Quoi qu'il en soit, la répartition en taches des attaques prouve que celles-ci sont dues à des inhomogénéités du sol enrobant le câble. Si l'on



und der umgebenden Erde an diesen Stellen ein Hohlraum vorhanden gewesen. An einer Stelle konnte beim Ausgraben eindeutig festgestellt werden, dass ein Kabel dort korrodiert war, wo es ein kleines Steinchen berührte. Der Umstand, dass öfters korrodierte Stellen mit wohlausgebildeten, unverschmutzten Kristallen von Korrosionsprodukt bedeckt waren, spricht indessen sehr dafür, dass in solchen Fällen die Korrosionen dort entstanden sind, wo das Erdreich den Bleimantel nicht berührte. Jedenfalls beweist die fleckige Ausbildung der Korrosionsstellen, dass diese durch Inhomogenitäten der Einbettung entstanden sind. Hätte man die Kabel in eine adhärente, absolut homogene Masse, z. B. in einen geschlammten Ton, eingebettet, so wären vermutlich auch keine Korrosionsnester aufgetreten.

Die Korrosionen, die an den verschiedenen Orten auf den Bleimänteln der blank verlegten Kabelstücke entstanden sind, lassen sich durch Formunterschiede bei den Querschnitten in drei Gruppen einteilen:

1. Flache Wannen und steile Kraterformen sind im Schnittbild von glatten, gerundeten Linien begrenzt (Fig. 2)

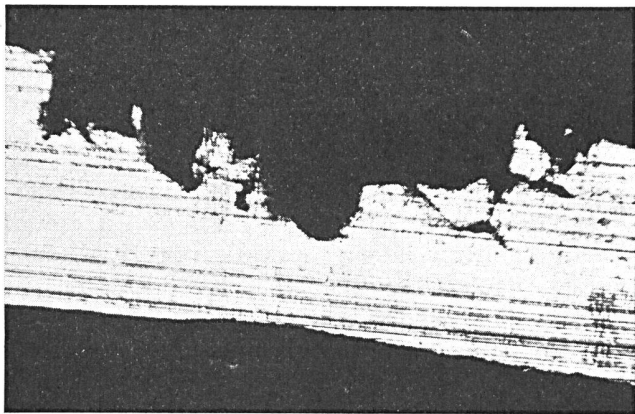


Fig. 3. Querschnitt durch den bei Frick eingegrabenen blanken Bleimantel. Die Korrosion ist längs den Korngrenzen tief in die Bleiwandung eingedrungen.  
Vergrößerung: 23 ×

Coupe de la gaine de plomb du câble nu enfoui à Frick. La corrosion a pénétré profondément dans l'épaisseur du plomb le long des limites des grains.  
Grossi 23 ×

2. Die interkristallinen Korrosionsformen, wie sie für die sogenannte Phenolkorrosion typisch sind, beherrschen das Korrosionsbild (Fig. 3 und 4).
3. Grosse, mehr oder weniger flache Wannen sind im Schnittbild von ausgefransten Linienzügen begrenzt, die dadurch entstanden sind, dass sich am Grunde der korrodierten Stellen eine typisch interkristalline Korrosionskomponente weiter in die Bleiwandung eingefressen hat. Diese Korrosionsform zeigt daher gleichzeitig die typischen Merkmale der ersten und zweiten Korrosionsart und wurde am häufigsten angetroffen (Fig. 4 und 5).

Mit Ausnahme der Kabelstücke, die in der Kiesgrube Losinger, im Rutschhang Hundwil und im Sumpfhang Hundwil eingegraben waren, konnten bei

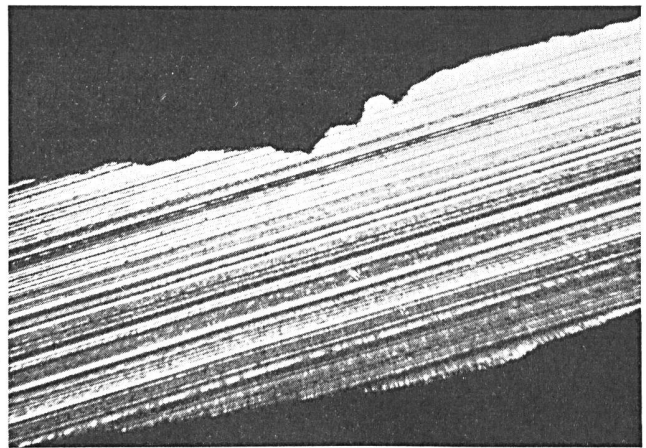


Fig. 2. Querschnitt durch eine korrodierte Stelle des blanken Bleimantels, der bei Hundwil in einem Rutschhang eingegraben worden war.

Der Umriss der Korrosionsgrube wird von einem glatten Linienzug gebildet.  
Vergrößerung: 23 ×

Coupe d'un endroit corrodé de la gaine du câble nu enfoui près de Hundwil dans une zone d'éboulement. Le contour du cratère est marqué par un trait lisse.  
Grossi 23 ×

avait posé les câbles dans une masse adhérente absolument homogène, par exemple dans une argile bourbeuse, aucun nid d'attaques par la corrosion ne serait probablement apparu.

Les attaques qui se sont produites à divers endroits sur les gaines de plomb des câbles nus peuvent être réparties en trois groupes suivant les différences de forme de leurs sections:

1. Les creux aplatis et les cratères à parois abruptes sont limités dans la coupe par des lignes lisses arrondies (fig. 1);
2. Les formes de la corrosion interkristalline, typiques de la corrosion dite sous l'effet du phénol, dominant (fig. 2 et 3);

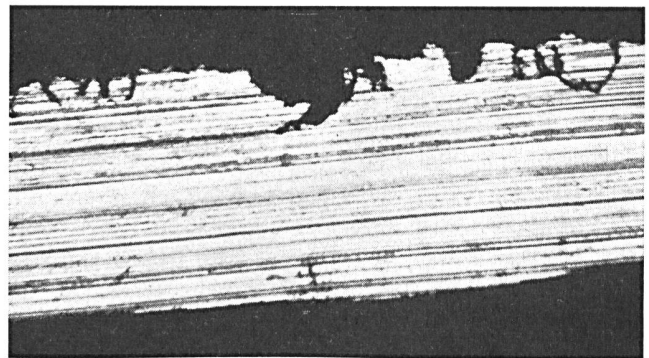


Fig. 4. Querschnitt durch den blanken Bleimantel der Versuchsstelle «Geflügelzuchtschule, Zollikofen». Die Korrosionsformen sind wie bei der Figur 3 eindeutig diejenigen der sogenannten Phenolkorrosion.  
Vergrößerung: 23 ×

Coupe de la gaine de plomb du câble nu placé dans le terrain du parc avicole de Zollikofen. Comme à la figure 3, les formes des attaques sont caractéristiques de la corrosion dite sous l'effet du phénol.  
Grossi 23 ×

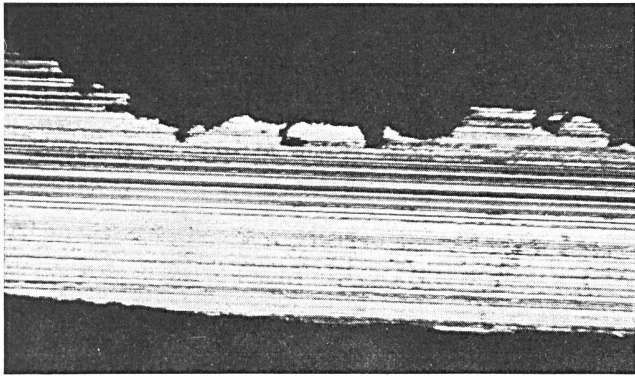


Fig. 5. Querschnitt durch den Bleimantel der bei Wilchingen verlegten blanken Kabelprobe (vgl. Fig. 1). Am Grunde der flachen Korrosionswannen hat eine interkristalline Korrosionskomponente Spalten und Einbuchtungen erzeugt.

Vergrößerung: 23 ×

Coupe de la gaine du câble nu posé près de Wilchingen (cf. fig. 1).

Au fond des creux aplatis, une composante de corrosion interkristalline a produit des fissures et des dentelures. Grossi 23 ×

allen blanken Bleimänteln eindeutig Formen der «Phenolkorrosion» festgestellt werden.

Damit ist erwiesen, dass «Phenolkorrosion» an blanken Bleimänteln auftreten kann, die direkt in den Boden verlegt sind. Insbesondere sind weder organische Kabelhüllen noch bitumisierte Zoreskanäle notwendige Voraussetzungen für das Auftreten dieser Korrosionsform.

Ausserordentlich überraschend war die Beobachtung, dass, abgesehen von den blank verlegten Kabeln, auch die mit Kunststoffhüllen versehenen Proben fast an allen Stellen leicht angegriffen wurden. Die Korrosionen traten unter den gespritzten Polyäthylenschläuchen im allgemeinen mehr oder weniger verbreitet, unter den gewickelten Bändern dagegen nur an gewissen Stellen auf. Die Korrosionsspuren waren bei allen Proben ähnlich ausgebildet: flächige Ätzungen mit kreisrunden Grübchen (vergl. Fig. 6 und 7). Auf Grund anderer Versuche mit kunststoff-

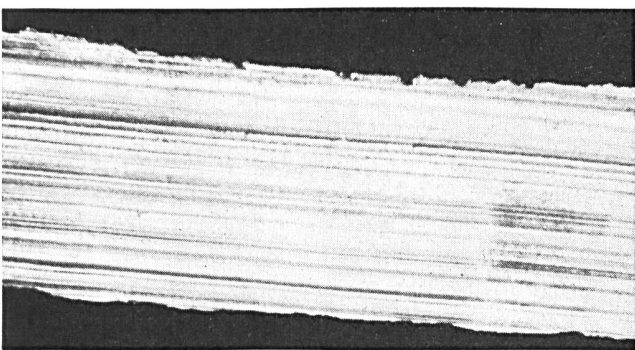


Fig. 7. Querschnitt durch den Bleimantel von Figur 6. Die entstandenen Korrosionslöchlein sind nur wenig tief.

Vergrößerung: 23 ×

Coupe de la gaine de plomb de la figure 6. Les petits trous n'ont qu'une faible profondeur.

Grossi 23 ×

3. De grands creux plus ou moins plats sont limités dans la coupe par des lignes frangées dues au fait qu'au fond des endroits corrodés une composante de corrosion typiquement interkristalline a continué d'attaquer le plomb. Cette forme de corrosion montre donc simultanément les caractéristiques du premier et du deuxième genre de corrosion et s'est révélée la plus fréquente (fig. 4 et 5).

On a observé des formes de la corrosion dite sous l'effet du phénol sur tous les câbles à gaine nue, excepté ceux qui étaient posés dans la gravière Losinger, ainsi que dans les zones d'éboulement et marécageuse de Hundwil.

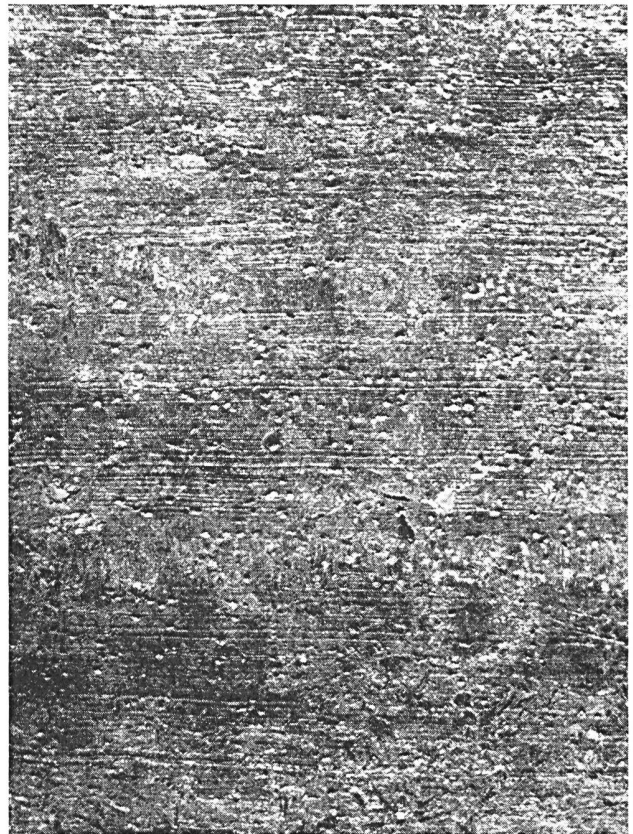


Fig. 6. Korrosionsspuren auf der Oberfläche des Bleimantels eines mit einem gespritzten Polyäthylenschlauch geschützten Kabels (Hundwil, Sumpfhang).

Bodenwasser, das in die Fuge zwischen dem Plastikschlauch und dem Bleimantel drang, erzeugte eine geringfügige Korrosion in Form unzähliger kleiner Löchlein.

Vergrößerung: 10 ×

Traces de corrosion à la surface de la gaine de plomb du câble avec enveloppe de polyéthylène extrudé posé dans la zone marécageuse de Hundwil.

L'eau de fond qui a pénétré entre l'enveloppe de polyéthylène et la gaine de plomb a provoqué une légère corrosion affectant la forme d'innombrables petits trous.

Grossi 10 ×

Il est ainsi prouvé que la corrosion dite sous l'effet du phénol peut apparaître sur des gaines de plomb nues posées directement dans le sol. La présence d'enveloppes organiques ou de caniveaux zorés bitumés n'est pas une condition nécessaire de l'apparition de ce genre de corrosion.



geschützten Bleikabeln steht fest, dass diese oberflächlichen Korrosionsangriffe nicht durch die Kunststoffhüllen selbst verursacht worden sind.

Es scheint, dass die festgestellten Korrosionen durch das Wasser, das von den Enden her unter die Kunststoffhüllen diffundieren konnte, unabhängig von dessen Mineralgehalt entstanden sind. Jedenfalls waren bei den Kunststoffkabeln die Bleimäntel genau gleich korrodiert, ob die Proben in Böden lagen, in denen die blank verlegten Bleimäntel eine starke interkristalline Korrosion erlitten, oder in solchen, in denen auch die blanken Kabelproben keinerlei interkristalline Anfressungen zeigten.

Obwohl bei den Versuchskabeln mit Kunststoffmänteln die Eindringtiefe der Korrosionen überall nur gering war (im Maximum 0,1 mm), wäre es doch erwünscht, wenn Kabel mit Kunststoffmänteln nicht bereits durch geringe Wassermengen angegriffen würden, die von einer beschädigten Stelle her auf weite Strecken durch Kapillarwirkung unter die Kabelhülle gelangen. Dies könnte man beispielsweise durch Aufkleben der Kunststoffe auf die Bleimäntel vermeiden.

Während die Korrosionsprodukte bei den blank verlegten Kabeln fast ausschliesslich aus gewöhnlichem Bleikarbonat bestanden, wurden unter den Kunststoffen vor allem basische Salze gefunden. Dies beweist, dass die Korrosion weitgehend unter Luftabschluss erfolgte.

An einigen Stellen konnten auf der Bleioberfläche des Versuchskabels mit erhöhtem Phenolgehalt seltene Linien beobachtet werden (Fig. 8 und 9). Die wenig tiefen, gekrümmten Spuren hatten eine gewisse Ähnlichkeit mit den Kanälen, die unter der Rinde einer vom Holzwurm befallenen Tanne auftreten. Im Querschnitt waren die Korrosionen nur maximal 0,1 mm tief und nicht zu unterscheiden von den Grübchen der mit Kunststoff ummantelten Kabel.

Die Erklärung dieser zunächst eigenartigen Korrosionsform liegt im Aufbau des Versuchskabels. Über den Bleimantel wurde eine dünne, phenolhaltige Teerschicht aufgegossen. Darüber wickelte man drei Lagen von unimprägniertem Papier und schliesslich eine nur

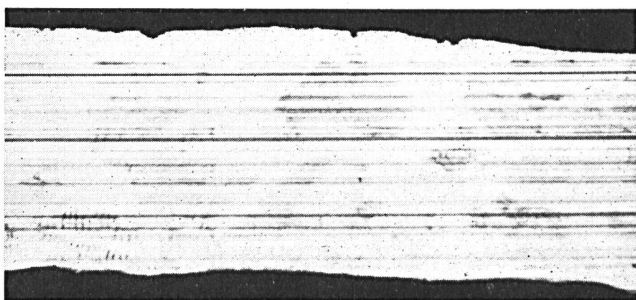


Fig. 9. Querschnitt durch den Bleimantel von Figur 8. Die Korrosionsspuren sind nur wenig tief.

Vergrösserung: 23 ×

Coupe de la gaine de plomb représentée à la figure 8. Les traces de la corrosion sont peu profondes.

Grossi 23 ×

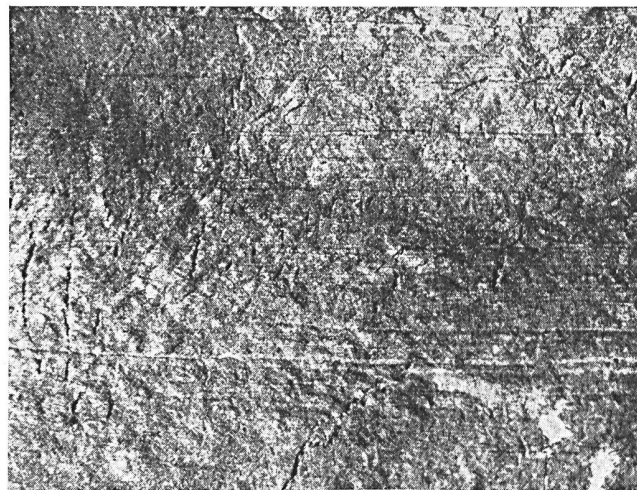


Fig. 8. Oberfläche des Bleimantels vom Versuchskabel mit erhöhtem Phenolgehalt der Imprägniermasse (Versuchsstelle Frick). Unter den Rissen der versprödeten, teerhaltigen Gussmasse entstanden Korrosionsspuren.

Vergrösserung: 7,5 ×

Surface de la gaine de plomb du câble avec matière d'imprégnation à teneur élevée en phénol (Frick). Des traces de corrosion sont apparues sous la couche de goudron, qui s'est écaillée.

Grossi 7,5 ×

Nous fûmes extrêmement surpris de constater que, outre les câbles à gaine nue, ceux qui étaient revêtus d'enveloppes de matière synthétique étaient légèrement attaqués en presque tous les lieux où se firent les essais. Sous les tubes de polyéthylène extrudé, les attaques étaient généralement plus ou moins étendues: sous les rubans enroulés, elles n'apparaissaient en revanche qu'à certains endroits. Les traces de la corrosion étaient semblables sur tous les échantillons: décapages avec petits cratères circulaires (cf. fig. 6 et 7). D'autres essais effectués avec des câbles sous plomb protégés par des enveloppes de matière synthétique ont démontré que ces attaques superficielles n'ont pas été causées par les enveloppes.

Il semble que les corrosions observées ont été causées par l'eau qui a pénétré par les extrémités sous les enveloppes de matière synthétique, indépendamment de sa teneur en matières minérales. En tout cas, les gaines de plomb revêtues de telles enveloppes étaient corrodées de manière exactement pareille, que les échantillons se soient trouvés dans les sols où les câbles à gaine nue avaient subi une forte corrosion interkristalline ou dans ceux où ces mêmes câbles ne montraient aucune trace de corrosion de cette nature.

Bien que la profondeur des attaques ait été partout faible sur les câbles à enveloppe de matière synthétique (maximum 0,1 mm), il serait désirable que les câbles de ce type ne soient pas déjà attaqués par les faibles quantités d'eau qui, d'un endroit défectueux, pénètrent par capillarité sous l'enveloppe, sur de longues distances. On pourrait éviter ce phénomène en collant par exemple la matière synthétique sur la gaine de plomb.

Ergebnisse der Versuche mit verschiedenen Kabeltypen in korrosiven Böden / Résultats des essais exécutés avec divers types de câbles dans des terrains corrosifs

Table with 15 columns: Versuchsart / Use of Field, Aera/Berm, Bei PVC, Dämmen (D), Eisen (E), Fließ (F), Gießingen (G), Geflochtenstechnik / PVC, Hohlloch (H), Hohlloch (H), Hohlloch (H), Klebtechnik / Klebtechnik, Klebtechnik (K), Klebtechnik (K), Klebtechnik (K), Klebtechnik (K). Rows include: Nachfolgendes bei Boden, Nachfolgendes bei Boden (D), Nachfolgendes bei Boden (E), Nachfolgendes bei Boden (F), Nachfolgendes bei Boden (G), Nachfolgendes bei Boden (H), Nachfolgendes bei Boden (K), Nachfolgendes bei Boden (L), Nachfolgendes bei Boden (M), Nachfolgendes bei Boden (N), Nachfolgendes bei Boden (O), Nachfolgendes bei Boden (P), Nachfolgendes bei Boden (Q), Nachfolgendes bei Boden (R), Nachfolgendes bei Boden (S), Nachfolgendes bei Boden (T), Nachfolgendes bei Boden (U), Nachfolgendes bei Boden (V), Nachfolgendes bei Boden (W), Nachfolgendes bei Boden (X), Nachfolgendes bei Boden (Y), Nachfolgendes bei Boden (Z).

oberflächlich imprägnierte Jutelage. Mit der Zeit verprödete die Teerschicht auf dem Bleimantel, und es bildeten sich viele kleine Risse, während das Bodenwasser von der Jute und den unimprägnierten Papieren wie von einem Schwamm aufgesogen wurde. Längs den Rissen in der Teerschicht entstanden an einigen Stellen die erwähnten Korrosionsspuren.

Wie bereits erwähnt, hielten bei den meisten Kabeln weder die Schrumpfschlauchabschlüsse noch die Verschlüsse mit den Korken dicht. Bei manchen Proben waren daher im Innern der Bleimäntel einige Kubikzentimeter Wasser vorhanden, die die Innenseite ebenfalls etwas ankorrodierten. Die Korrosionsspuren folgten oft den Strukturen der Bleimantelinnenseite, die dem Blei beim Pressen vom Baumwollband aufgeprägt wurden (Fig. 10). Überraschenderweise sprachen die Korrosionsprodukte dieser Innenkorrosionen in manchen Fällen auf das Trillats-Reagens an, als ob  $PbO_2$  zugegen gewesen wäre. Damit ergibt sich der wenig erfreuliche Tatbestand, dass eine positive Reaktion mit Trillats-Reagens kein absolut sicheres Indiz für eine elektrolytische Korrosion ist, da auf der Innenseite derart kurzer Kabelstücke eine Fremdstromelektrolyse mit Sicherheit nicht vorhanden war. Ob die positive Reaktion ein Bleisalz oder allenfalls eine Verunreinigung auslöste, konnte mangels genügenden Materials nicht untersucht werden. Der Nachweis von

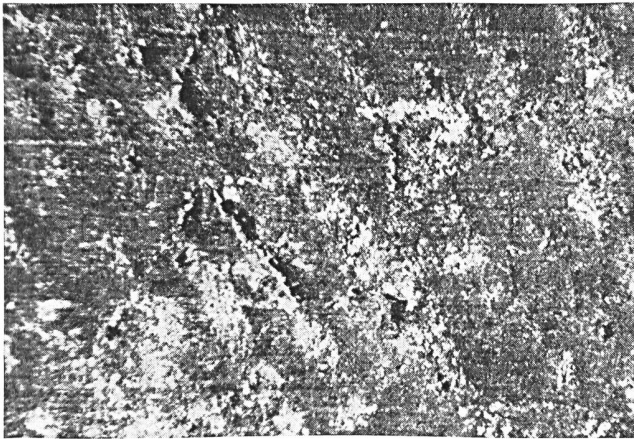


Fig. 10. Da die Verschlüsse an den Enden der eingegrabenen Kabelstücke nicht absolut dicht waren, sammelte sich im Innern der leeren Bleirohre – die Kabeladern wurden vor Versuchsbeginn entfernt – ein wenig Bodenwasser an, das häufig die Innenwand der Bleimäntel etwas angriff. Bei der abgebildeten Probe (Kabel mit gespritztem Polyäthelenmantel, Frick) entstanden Korrosionen, die deutlich den Spuren folgen, welche die Bandage mit Baumwollband beim Pressvorgang in das noch weiche Blei eingepreßt hat.

Vergrößerung:  $7,5 \times$

Les extrémités des câbles n'étant pas obturées de manière absolument étanches, un peu d'eau de fond s'est amassée à l'intérieur des tubes de plomb vides – les conducteurs avaient été enlevés avant l'essai – et a fréquemment quelque peu attaqué l'intérieur de la gaine. Le câble représenté ici (gaine de polyéthylène extrudé), posé à Frick, présente des attaques corrosives suivant nettement les marques que le ruban de coton imprime sur le plomb au moment où celui-ci est pressé autour du câble.

Grossi  $7,5 \times$

Alors que sur les câbles posés à nu les produits de la corrosion consistaient presque exclusivement en carbonate de plomb ordinaire, on trouva sous les matières synthétiques surtout des sels basiques. Ce fait prouve que la corrosion a eu lieu sans arrivée d'air atmosphérique.

En quelques endroits, on observa sur la surface du plomb du câble avec teneur élevée en phénol des lignes d'aspect particulier (fig. 8 et 9). Les traces courbées et peu profondes avaient une certaine analogie avec les canaux qui apparaissent sous l'écorce d'un sapin attaqué par le ver du bois. En section, les corrosions n'avaient qu'une profondeur de 0,1 mm au maximum et ne se distinguaient pas des cratères qui s'étaient formés sur les câbles entourés de matière synthétique.

Cette forme, au premier abord particulière, de la corrosion s'explique par la construction du câble. Sur la gaine de plomb avait été coulée une couche mince de goudron contenant du phénol. Par-dessus avaient été enroulées trois couches de papier non imprégné et enfin une couche de jute imprégné superficiellement. La couche de goudron s'écailla avec le temps et de nombreuses petites fissures se formèrent, tandis que le jute et le papier non imprégné absorbaient l'eau du sol comme l'aurait fait une éponge. Les traces de corrosion mentionnées apparurent en quelques endroits le long des fissures du goudron.

Sur presque tous les câbles, les capes en tuyau souple plastique et les fermetures en liège ne demeurèrent pas étanches. On trouva à l'intérieur de la gaine de plomb de plusieurs câbles quelques centimètres cubes d'eau qui corrodèrent également quelque peu la face intérieure de la gaine. Les traces de la corrosion suivent fréquemment, à la face intérieure des gaines, les marques que le ruban de coton imprime sur le plomb au moment où celui-ci est pressé autour du câble (fig. 10). On constata avec surprise que, dans plusieurs cas, les produits de cette corrosion intérieure réagissaient au réactif de Trillat comme s'ils avaient contenu du  $PbO_2$ . Il en résulte ce fait peu réjouissant qu'une réaction positive au réactif de Trillat n'est pas un indice absolument sûr de la corrosion électrolytique, puisqu'à la face intérieure de ces courts tronçons de câble aucune électrolyse par courant étranger ne pouvait avoir lieu. Par manque de matériel, on n'a pu déterminer si la réaction positive a dégagé un sel de plomb ou éventuellement une impureté. La recherche de manganèse ( $MnO_2$  réagit positivement au réactif de Trillat) dans le produit de la corrosion donna un résultat négatif, il faut donc exclure une action par le bioxyde de manganèse.

## 5. Intensité de la corrosion et potentiel du plomb

En mesurant le potentiel sur place, nous avons toujours constaté que les câbles fortement corrodés accusaient des potentiels notablement plus négatifs que le potentiel dit de protection de  $-0,55$  V contre une électrode saturée de sulfate de cuivre, tandis que

Mangan (MnO<sub>2</sub>, reagiert mit Trillats positiv) im Korrosionsprodukt bleibt negativ, so dass Braunstein als Ursache ausgeschlossen werden konnte.

### 5. Korrosionsstärke und Bleipotential

Bei Potentialmessungen im Feld stellten wir immer wieder fest, dass stark korrodierte Kabel Potentiale aufwiesen, die deutlich negativer waren als das sogenannte Schutzpotential von  $-0,55$  V gegenüber einer gesättigten Kupfersulfatelektrode, während an andern Stellen bei absolut intakten Anlagen Werte über  $-0,55$  V gemessen wurden. Man war dann oft geneigt, diese Unstimmigkeiten zwischen Praxis und Theorie damit zu erklären, dass störende Einflüsse der eisernen Zoreskanäle angenommen wurden.

Bei den vorliegenden Versuchen bot sich nun die seltene Gelegenheit, diese Theorie der Schutzpotentiale in einfachen Verhältnissen zu überprüfen. Das Resultat war eindeutig. Wie die in der *Tabelle III* zusammengestellten Messwerte zeigen, sind Potentialmessungen in unseren Böden als Korrosionskriterien praktisch nicht zu gebrauchen, wiesen doch die blanken Kabelstücke von allen unarmierten Typen die negativsten Potentiale auf, obwohl ausschliesslich diese blank verlegten Bleimäntel stark angegriffen wurden. Kein einziger Wert lag über  $-0,55$  V, so dass die blanken Kabel gemäss Theorie nicht hätten korrodiert sein sollen.

là où les installations étaient intactes, nous avons mesuré des valeurs supérieures à  $-0,55$  V. On a souvent cherché à expliquer cette non-concordance entre la théorie et la pratique en admettant que les caniveaux zorès en fer exerçaient une action perturbatrice.

Les essais dont il est question ici nous ont fourni l'occasion, assez rare, de vérifier dans des conditions simples cette théorie des potentiels de protection. Le résultat ne laissa subsister aucun doute. Les valeurs récapitulées dans le *tableau III* montrent que dans nos sols les mesures de potentiel ne peuvent être employées pratiquement comme critères de la corrosion, les câbles nus de tous les types non armés présentant les potentiels les plus négatifs, bien que seules ces gaines de plomb aient été fortement attaquées. Aucune valeur n'était supérieure à  $-0,55$  V, donc, selon la théorie, les câbles nus n'auraient pas dû se corroder.

Il ne semble pas non plus exister de corrélation certaine entre l'agressivité d'un sol et le potentiel du plomb. Ainsi, on a mesuré des valeurs allant jusqu'à  $-600$  mV sur les câbles enfouis dans un sol extrêmement corrosif au voisinage du tas de fumier du parc avicole. Ce n'est qu'en tirant la moyenne de toutes les valeurs relatives à un endroit donné (cf. *tableau III*) qu'on observe une certaine relation entre l'intensité

Potentiale (-mV) der verschiedenen Kabeltypen gegenüber einer Kupfer/ges. Kupfersulfatlösung-Elektrode

Tabelle III Potentiels (-mV) des différents types de câbles contre une électrode cuivre/solution saturée de sulfate de cuivre Tableau III

Versuchsort Lieu	Kabeltypen — Types de câbles										Mittelwert für einen Versuchsort Valeur moyenne pour un lieu donné
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	
Bex . . . . .	610	650	650	640	550	670	800	620	600	660	645
Dürnten . . . . .	600	*550 *560	—	560	580	660	650	480	550	700	589
Eiken . . . . .	600	560	570	540	440	—	710	550	550	*750 *740	601
Frick . . . . .	550	*530 *550	—	500	570	750	740	540	520	780	603
Gächlingen . . . . .	600	570	550	540	570	740	750	560	560	760	620
Geflügelzuchtschule — Parc avicole Zollikofen . . . . .	600	—	*500 *550	480	540	560	840	540	550	620	578
Hundwil (Rutschhang — zone d'éboulement)	580	560	610	550	500	700	750	490	570	760	607
Hundwil (Sumpf — zone marécageuse) . . .	620	550	620	600	550	740	950	580	570	800	638
Kiesgrube — Gravière Losinger Zollikofen . . . . .	560	—	*580 *560	540	520	700	750	490	560	790	605
Löhningen . . . . .	560	580	570	550	500	660	740	580	520	740	600
Sommeri . . . . .	560	550	550	530	480	710	720	560	550	760	597
Wilchingen . . . . .	550	540	530	520	510	670	700	530	590	750	589
Mittelwert für einen Kabeltyp — Valeur moyenne pour un type de câble . . . . .	582	562	570	546	526	687	758	543	558	732	

\* An diesen Stellen waren 2 gleiche Kabelstücke eingelegt worden.  
En cet endroit ont été enfouis 2 tronçons de câble identiques.



Auch zwischen der Korrosivität eines Bodens und dem Bleipotential scheint keine eindeutige Korrelation zu bestehen. So wurden bei den Kabelproben, die im extrem korrosiven Boden in der Nähe des Miststocks der Geflügelzuchtschule lagen, Werte bis  $-600$  mV gemessen. Nur wenn man über alle Messwerte einer Versuchsstelle mittelt (vgl. *Tabelle III*), so ergibt sich ein gewisser Zusammenhang zwischen der Korrosionsstärke und dem mittleren Potential. Aber auch da ist die Beziehung nicht absolut eindeutig, indem etwa «Gächlingen» den Mittelwert  $-0,620$  V, das harmlosere «Wilchingen» dagegen nur  $-0,590$  V ergibt.

Ob bei andern Korrosionsformen, zum Beispiel bei Korrosionen im Meerwasser oder bei flächig ausgebildeten, chemischen Korrosionen eine bessere Übereinstimmung zwischen den Potentialwerten und der Korrosionsstärke besteht, kann aus den gemachten Versuchen nicht gesagt werden.

### 6. Verrottung der Kabelhülle und Korrosionsstärke des Bleimantels

Das organische Material der Kabelhüllen war teilweise stark verrottet. Wie die in der *Tabelle IV* zusammengestellten Werte zeigen, bestand aber auch hier kein eindeutiger Zusammenhang zwischen dem Grad des Abbaus vom Fasermaterial und der Stärke der Bleikorrosion. Dies geht schon aus dem Umstand hervor, dass von den Kabeln Typ B nur dasjenige mit erhöhtem Phenolgehalt der Tränkmasse einige

de la corrosion et le potentiel moyen. Mais dans ce cas également cette relation n'est pas indubitable, puisque Gächlingen donne une valeur moyenne de  $-0,620$  V, alors que Wilchingen, moins agressif, ne donne que  $-0,590$  V.

Les essais effectués ne permettent pas de dire si, pour d'autres formes de corrosion, par exemple corrosion dans l'eau de mer ou corrosion chimique avec creux longs et aplatis, la concordance entre les potentiels et l'intensité de la corrosion serait meilleure.

### 6. Pourriture de l'enveloppe des câbles et intensité de la corrosion de la gaine de plomb

La matière organique des enveloppes de câbles était en partie fortement pourrie. Les valeurs figurant au *tableau IV* montrent qu'il n'existe pas non plus de corrélation indubitable entre le degré de destruction des fibres et l'intensité de la corrosion du plomb. C'est ce que prouve le fait que, parmi les câbles du type B, seul celui dont la masse d'imprégnation avait une teneur plus élevée en phénol présentait quelques traces de corrosion, et cependant, à la plupart des lieux d'essai, c'est sur ces câbles que l'enveloppe était de beaucoup la moins pourrie. A tous les lieux d'essai, le jute était demeuré intact sous l'armure de feuillard des câbles du type C. Le jute simplement huilé et non imprégné de bitume du câble avec gaine de polyéthylène extrudé était en revanche le plus attaqué par la pourriture. La gaine de polyéthylène ne mon-

#### Zustand der äusseren Jutehülle bei Versuchsabbruch — Etat des enveloppes extérieures de jute à la fin de l'essai

(Verrottungsgrad 1 = neuwertig, Verrottungsgrad 5 = vollkommen zerstört, vgl. dazu auch [1])—

Tabelle IV

(Degré de pourriture 1: comme neuf; degré de pourriture 5: complètement pourri; cf. aussi [1])

Tableau IV

Versuchsort — Lieu	Kabeltypen — Types de câbles									Mittl. Verrottungsgrad für einen bestimmt. Versuchsort Degré moyen de pourriture pour un lieu donné
	B	C	D	E	F	G	H	J	K	
Aare/Bern . . . . .	3	3	3	3	3	3	4	3	2	3,0
Bex, Salines du Bévieux . . . . .	3	4	1	3	3	3	5	3	3	3,1
Dürnten . . . . .	*4	—	3	3	3	2	5	3	4	3,4
Eiken . . . . .	*4	3	4	4	—	2	5	4	*4 *3	3,7
Frick . . . . .	*4	—	2	4	4	3	5	4	4	3,8
Gächlingen . . . . .	3	4	3	4	3	2	5	3	3	3,3
Geflügelzuchtschule — Parc avicole Zollikofen . . . . .	—	*4	1	3	2	2	4	3	3	2,9
Hundwil		*4								
Rutschhang — Zone d'éboulement . . . . .	4	4	3	3	1	3	5	4	4	3,4
Sumpf — Zone marécageuse . . . . .	2	2	1	3	2	1	2	2	2	1,9
Kiesgrube — Gravière Losinger Zollikofen	—	*4 *3	2	3	4	3	4	3	3	3,2
Löhningen . . . . .	4	4	4	4	4	3	5	4	4	4,0
Sommeri . . . . .	4	4	3	3	4	3	5	4	4	3,8
Wilchingen . . . . .	4	3	1	3	3	2	5	4	2	3,0
Mittelwert für einen Kabeltyp — Valeur moyenne pour un type de câble . . . . .	3,6	3,5	2,4	3,3	3,0	2,5	4,5	3,4	3,2	

\* An diesen Stellen waren 2 gleiche Kabelstücke eingelegt worden.  
En cet endroit ont été enfouis 2 tronçons de câble identiques.



Korrosionsspuren zeigte, und trotzdem war an den meisten Stellen gerade bei diesem Kabel die Kabelhülle mit Abstand am wenigsten verrottet. Vollkommen unversehrt blieb an allen Stellen die Jute unter der Eisenbandarmatur des Kabels vom Typ C. Die nur geölte und nicht mit Bitumen imprägnierte Jute des Versuchskabels mit gespritztem Polyäthylentmantel war dagegen am stärksten abgebaut worden. Auf dem Kunststoffmantel selber zeigten sich trotzdem keinerlei Anzeichen einer bakteriellen Schädigung.

### 7. Boden und Bleikorrosion

Über das Verhältnis Bleikorrosion–Bodenaufbau ist sehr wenig bekannt. Wir wissen zwar sicher, dass die «Phenolkorrosion» zu Unrecht so genannt wird, da erwiesenermaßen die Phenolspuren der Imprägniermassen nach den Ergebnissen der neueren Untersuchungen nicht mehr als primäre Ursache in Frage kommen. Welche Stoffe aber diese interkristallin fortschreitenden Anfrassungen auslösen, ist noch nicht sicher erwiesen. Immerhin sind heute einige Tatsachen bekannt, die die möglichen Ursachen doch schon beträchtlich einschränken. So konnte aus dem Umstand, dass bei «Phenolkorrosionen» immer wieder grössere und kleinere Kavernen in der Bleiwandung entstehen, die nur durch ganz schmale Gänge mit der Bleioberfläche in Verbindung stehen, gefolgert werden, dass bei der «Phenolkorrosion» ein lösliches Zwischenprodukt gebildet werden muss. Nachdem nun feststeht, dass in reinen Mineralböden blanke Kabel ebenso rasch und mit den gleichen Formen korrodieren wie bejutete Kabel in Zoreskanälen, muss bei den blank verlegten Bleiprobe in Boden ganz bestimmt, und bei den Kabeln in den Zoreskanälen mit grosser Wahrscheinlichkeit ein anorganisches, gut lösliches Bleisalz entstehen. Die Auswahl an möglichen Verbindungen dieser Art ist aber gering, da die meisten Bleisalze schwer löslich oder dann die betreffenden Säurereste (z. B. Perchlorsäure) im Boden nicht vorhanden sind. Deshalb fallen nur das Bleinitrit, das Bleinitrat und allenfalls das noch beträchtlich lösliche Bleioxydhydrat in Betracht. Während Bleioxydhydrat selbst in destilliertem Wasser gebildet wird, braucht es natürlich einen gewissen Nitratgehalt des Bodenwassers, damit Bleinitrat bzw. Bleinitrit entstehen kann. Da Feuchtigkeit mehr oder weniger überall zu den Kabelanlagen gelangen kann, die Kabel aber nur unter ganz bestimmten Umständen «Phenolkorrosion» erleiden, scheint die Annahme begründet, dass das Nitrat der eigentliche Urheber der «Phenolkorrosion» ist. Allerdings bedarf es offenbar noch irgendwelcher Inhomogenitäten, wie Belüftungsunterschiede, Konzentrationsdifferenzen usw., damit ein stärkerer Angriff erfolgt, wie Laboratoriumsversuche mit Bleiprobe in normalen Brunnenwässern gezeigt haben [4].

Ferner ist schon lange bekannt, dass gewisse Stoffe wie zum Beispiel Phosphate die Bleikorrosion stark hemmen. In der gleichen Art wirken auch Teerstoffe.

trait cependant aucun signe de détérioration bactérielle.

### 7. Sol et corrosion du plomb

On ne sait que peu de chose du rapport corrosion du plomb – constitution du sol. Nous sommes certains cependant que la corrosion dite sous l'effet du phénol est ainsi dénommée à tort, car les résultats des essais récents démontrent que les traces de phénol des matières d'imprégnation ne peuvent être considérées comme la cause primaire de la corrosion. On n'a pas pu déterminer avec certitude quels sont les corps qui déclenchent ces attaques à progression intercrystalline. Toutefois certains faits observés restreignent déjà considérablement le champ des causes possibles. Ainsi, la corrosion dite sous l'effet du phénol provoquant fréquemment la formation dans le plomb de grandes et petites cavernes, en communication avec la surface du plomb par des passages extrêmement étroits, on peut conclure que ce genre de corrosion donne un produit intermédiaire soluble. On sait d'autre part que les câbles nus posés dans des sols purement minéraux se corrodent avec la même rapidité et les mêmes formes que les câbles sous jute posés dans des caniveaux zorès; il en résulte que, très certainement pour les câbles d'essai nus posés dans le sol et très probablement pour ceux qui étaient placés dans des caniveaux zorès, il doit se former un sel de plomb inorganique et facilement soluble. Le choix de combinaisons de cette nature est restreint, la plupart des sels de plomb étant difficilement solubles ou les restes d'acide (par exemple acide perchlorique) n'existant pas dans le sol. N'entrent donc plus en considération que le nitrite de plomb, le nitrate de plomb et éventuellement l'hydrate de plomb encore assez facilement soluble. Tandis que l'hydrate de plomb se forme même dans l'eau distillée, il faut naturellement que l'eau de fond ait une certaine teneur en nitrate pour que puissent se former le nitrite ou le nitrate de plomb. Les installations de câbles étant toujours plus ou moins exposées à l'humidité alors que les câbles ne sont attaqués par la corrosion dite sous l'effet du phénol que dans certaines conditions, on est fondé à admettre que le nitrate est l'agent proprement dit de ce genre de corrosion. Il faut toutefois, semble-t-il, pour que se produisent de fortes attaques, qu'existent encore certaines inhomogénéités telles que différences d'aération, de concentration, etc., comme l'ont démontré des essais faits en laboratoire avec des échantillons de plomb plongés dans des eaux de puits normales [4].

On sait en outre depuis longtemps que certains corps, par exemple les phosphates, empêchent la corrosion dans une large mesure. Les produits à base de goudron agissent de la même manière. Pour déterminer l'agressivité d'un sol, il faut donc considérer trois possibilités:

a) Un sol est agressif lorsqu'il contient certains corps qui réagissent avec le plomb et produisent entre

Um die Aggressivität eines Bodens abzuschätzen, müssen daher drei Möglichkeiten in Betracht gezogen werden:

- a) Ein Boden ist aggressiv, wenn er bestimmte Stoffe enthält, die mit Blei reagieren und unter anderem eine lösliche Bleiverbindung ergeben.
- b) Ein Boden ist nicht aggressiv, wenn er keine solchen Stoffe enthält.
- c) Ein Boden ist nicht aggressiv, wenn er neben den Stoffen, die Blei angreifen können, solche enthält, die eine Korrosion des Bleis unterbinden.

Es wäre natürlich sehr wertvoll, hätte man für jeden Bodentyp die notwendigen Kriterien, um eindeutig voraussagen zu können, wie sich ein bestimmtes Erdmaterial gegenüber Kabelmänteln aus Blei verhalten wird. Zurzeit sind wir aber, wie gesagt, noch nicht einmal in der Lage, anzugeben, was für Stoffe und in welcher Konzentration sie die «Phenolkorrosion» auslösen. Man muss daher versuchen, möglichst alle Grössen eines Bodens zu bestimmen, die Anhaltspunkte für dessen Aggressivität liefern könnten. Erst mit der Zeit wird man dann entscheiden können, welchen Faktoren eine erhöhte Bedeutung zukommt.

Böden können grundsätzlich auf zwei Arten beschrieben werden, ihrer Entstehung nach oder rein nach ihrem augenblicklichen Zustand. Natürlich überschneiden sich die beiden Betrachtungen, weil die momentane Beschaffenheit eines Bodens dessen Vorgeschichte bedingt. Für uns ist indessen die Geschichte eines Bodens nicht gleich wichtig wie für den Geologen und den Geographen, die gerade Herkunft und Wandlung der Erdoberfläche interessieren.

Schwer zu beschreiben, obwohl gerade für uns von grösster Bedeutung, ist der physikalische Aufbau eines Bodens. Sprechen wir von «Sand», so wissen wir zwar sogleich, dass es sich um ein lockeres, körniges, für Wasser und Luft gut durchlässiges und weitgehend homogenes Material handelt. Will man diese allgemeinen Aussagen aber etwas genauer mit Zahlen und Prozenten erfassen, so treten sogleich grosse Schwierigkeiten auf. Durch fraktioniertes Sieben kann man zum Beispiel die Korngrössenverteilung ermitteln. Da Sandkörner aber häufig nicht gerundete, sondern eckige Formen aufweisen, genügt oft die Angabe der Maschenweite der benutzten Siebe nicht mehr. So kann erst aus dem Schüttgewicht und der Formanalyse ein Wert über die Durchlässigkeit eines solchen Sandes hergeleitet werden. Noch viel schwieriger ist eine Analyse von einem bindigen Boden. Wassergehalt, Dispersionsgrad der Feinerde, Quellbarkeit der Tone und andere Parameter verunmöglichen praktisch jede umfassende Beschreibung.

Besonders eng miteinander verbunden sind Korrosivität und stoffliche Zusammensetzung eines Bodens. Aber auch hier sind genaue Angaben sehr schwierig zu erhalten. So kann man zwar mit chemischen Methoden leicht den Wassergehalt einer Erdprobe und deren Gehalt an Metallen und Nichtmetallen genau bestimmen. Wie diese Stoffe aber in Wirklichkeit miteinander verbunden sind, ist schon viel schwieriger

autres choses, avec le plomb, une combinaison soluble.

- b) Un sol n'est pas agressif lorsqu'il ne contient pas de tels corps.
- c) Un sol n'est pas agressif lorsque, en plus des corps qui peuvent attaquer le plomb, il en contient d'autres qui empêchent la corrosion du plomb.

Il serait naturellement précieux d'avoir pour chaque type de sol des critères permettant de prédire de manière certaine comment il se comportera à l'égard des gaines de câbles en plomb. Pour le moment, nous ne sommes même pas en mesure d'indiquer les corps et leur concentration qui provoquent la corrosion dite sous l'effet du phénol. Il faut donc essayer de déterminer autant que possible toutes les grandeurs relatives à un sol qui peuvent fournir des indications sur son agressivité. On ne pourra distinguer que plus tard les facteurs présentant une importance particulière.

En principe, on peut décrire les sols de deux manières, suivant leur mode de formation ou suivant leur état momentané. Ces deux manières de le considérer se recouvrent, l'état momentané d'un sol dépendant de son histoire. Pour nous, cependant, l'histoire d'un sol n'importe pas autant que pour le géologue ou le géographe, qui s'intéressent à l'origine et aux transformations de la croûte terrestre.

Il est difficile de décrire la constitution physique d'un sol, bien que ce soit très important pour nous. Lorsque nous parlons de sable, nous savons immédiatement qu'il s'agit d'une matière pulvérulente, laissant bien passer l'eau et l'air et assez homogène. Si l'on veut exprimer ces idées générales plus exactement par des chiffres et des pour-cent, on se heurte à de grosses difficultés. Par un tamisage fractionné, on peut par exemple répartir les grains d'après leur grosseur. Les grains de sable n'étant toutefois généralement pas ronds, mais de forme anguleuse, il ne suffit plus d'indiquer la grandeur des mailles du tamis. On ne pourra connaître la perméabilité de ce sable qu'en déterminant sa densité apparente et en analysant la forme des grains. L'analyse d'un sol consistant est encore plus difficile. La teneur en eau, le degré de dispersion de la terre fine, le foisonnement des argiles et d'autres paramètres encore empêchent toute description tant soit peu complète.

L'agressivité d'un sol dépend étroitement des corps qu'il contient. Mais sur ce point aussi il est difficile d'avoir des indications exactes. On peut, par des méthodes chimiques, déterminer facilement et exactement la teneur en eau d'un échantillon, ainsi que sa teneur en corps métalliques et non métalliques. Mais il est déjà beaucoup plus difficile de savoir comment ces corps se combinent en réalité entre eux. En outre, les groupes principaux de corps des couches de terre supérieures, en particulier des corps qui forment l'humus, sont très peu connus. De même, la chimie et la physique des corps à haute dispersion contenus dans le sol accusent mainte lacune. C'est pourquoi

festzustellen. Zudem sind wichtige Stoffgruppen der obersten Erdschichten, so vor allem die Humusbildner, erst schlecht bekannt. Ebenso weisen Chemie und Physik der hochdispersen Bodenstoffe noch manche Lücke auf.

Wir beschränken uns daher im wesentlichen auf die Bestimmung der Eigenschaften der Sickerwässer, die in den Böden zirkulieren und die natürlich auch in die Zoreskanäle eindringen und dort die Bleikorrosionen auslösen. Diese Wässer sind sehr viel einfacher zu charakterisieren als die festen Böden, von denen wir jeweils nur wenige Eigenschaften bestimmen. Wie dies geschieht, wurde teilweise bereits mitgeteilt [5]. Weitere Angaben folgen demnächst in dieser Zeitschrift. Die Ergebnisse der Untersuchungen sind aus der *Tabelle V* ersichtlich. Dabei ist besonders der grosse Nitratgehalt aller Gebiete mit einer starken interkristallinen Korrosionskomponente auffällig, wenn man bedenkt, dass Böden, die sich als nicht aggressiv erwiesen haben, im allgemeinen nur etwa 1...3 mg Nitration je Liter Bodenauszug aufweisen.

nous nous bornons principalement à déterminer les propriétés des eaux d'infiltration qui circulent dans le sol, pénètrent aussi dans les caniveaux zorès et y provoquent la corrosion du plomb. Il est beaucoup plus facile de caractériser ces eaux que les sols consistants, dont nous ne déterminons que quelques caractéristiques. Nous avons déjà exposé en partie comment cela se pratique [5]. D'autres renseignements à ce sujet seront publiés prochainement dans cette revue. Le *tableau V* indique les résultats des essais. On y remarque particulièrement la haute teneur en nitrate de toutes les régions avec forte composante de corrosion intercrystalline, si l'on considère que les sols qui se sont révélés non agressifs n'accusent en général qu'une nitration de 1...3 mg par litre d'extrait aqueux.

#### Bibliographie

- [1] K. Vögli und H. Meister, Korrosionsbeständigkeit verschiedener Kabeltypen (erster Zwischenbericht über den Grossversuch im Belpmoos). Techn. Mitt''. PTT 1958, Nr. 3, S. 109...124.
- Résistance de divers types de câbles à la corrosion (premier rapport intermédiaire sur l'essai en grand réalisé au Belpmoos). Bull. techn. PTT 1958, n° 3, p. 109...124.
- [2] G. Bande und Børge Lunn, Micro organisms and corrosion of lead-sheathed cables. Ingeniøren-International edition 2 (1958), 103...107.
- [3] H. L. Halström, Is the phenol corrosion theory false? Ingeniøren-International edition 2 (1958), 108...109.
- [4] H. Künzler und K. Vögli, Probleme der Bleikabelkorrosion (9. Mitteilung): Die korrosionshemmende Wirkung von Teeren und anderen Stoffen. Techn''. Mitt. PTT 1959, Nr. 3, S. 81...96.
- Problèmes de la corrosion des câbles sous plomb (9<sup>e</sup> communication). L'action anticorrosive des goudrons et autres produits. Bull. techn. PTT 1959, n° 3, p. 81...96.
- [5] K. Vögli und A. Brunold, Probleme der Bleikorrosion (8. Mitteilung). Die Bestimmung des Nitratgehaltes in Bodenwässern. Techn. Mitt''. PTT 1958, Nr. 4, S. 137...142.
- La corrosion des câbles sous plomb (8<sup>e</sup> communication). La détermination de la teneur en nitrate des eaux de sol. Bull. techn. PTT 1958, n° 4, p. 137...142.

Die Technik hat dem Menschen die Möglichkeit geschaffen, ein seiner würdiges, sicheres und sorgenfreies materielles Leben zu führen. In ihrer neuesten Entwicklung aber greifen die Auswirkungen der Technik immer tiefer in unser gesamtes geistiges und politisches Leben ein. Damit wird ihr Verständnis, ihre Beherrschung und ihre sinnvolle Nutzung das vielleicht grösste politische und damit letztlich geistige Problem unserer Zeit.

Prof. Dr. W. FINKELNBURG

anlässlich der Hundertjahrfeier des Vereins Deutscher Ingenieure,  
Mai 1956. In: Die Technik prägt unsere Zeit. VDI-Verlag GmbH  
Düsseldorf 1956