

**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:** 36 (1958)

**Heft:** 8

**Artikel:** Kabelschutzhüllen = Enveloppes de protection des câbles

**Autor:** Sandmeier, Friedrich

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-874436>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 29.03.2025

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

- [21] *Shockley, W. A.* Unipolar «Field-Effect» Transistor. Proc. I. R. E. **40** (1952), 1365...1376.  
*Dacey, G. C. and Ross, I. M.* The Field-Effect/Transistor. B. S. T. J. **34** (1955), 1149...1189.
- [22] *Early, J. M.* High Frequency Transistors. Vortrag am Congrès International sur la Physique de l'Etat Solide et ses Applications à l'Electronique et aux Télécommunications, Bruxelles, 2...7. Juni 1958. (Noch nicht publiziert.)
- [23] *Clark, M. A.* Power Transistors. Proc. I. R. E. **46** (1958), 1185...1204.
- [24] *Mortenson, K. E.* Transistor Junction Temperature as a Function of Time. Proc. I. R. E. **45** (1957), 504...513.
- [25] *Weitzsch, F.* Einige Kriterien der thermischen Stabilität von Transistoren. Frequenz **12** (1958), 65...71.  
*Lin, H. C.* Thermal Stability of Junction Transistors and its Effect on Maximum Power Dissipation. I. R. E. Trans. CT-4 (1957), 202...210.
- [26] *Smits, F. M.* Formation of Junction Structures by Solid-state Diffusion. Proc. I. R. E. **46** (1958), 1049...1061  
*Nelson, H.* The Preparation of Semiconductor Devices by Lapping and Diffusion Techniques. Proc. I. R. E. **46** (1958), 1062...1067.

FRIEDRICH SANDMEIER, Bern

621.315.221.5

## Kabelschutzhüllen – Enveloppes de protection des câbles

*Kabel mit Bleimänteln bedürfen einer Schutzhülle, die den Mantel vor leichteren mechanischen Beschädigungen – gegen schwerere Angriffe schützt nur eine Armierung aus Stahldrähten oder -bändern – und, bei unterirdischer Verlegung, vor Korrosion bewahren soll. Früher wurden dazu natürlich vorkommende Faserstoffe verwendet, in der neueren Zeit werden als Verbesserung öfters Kunststoffe vorgeschlagen. Um über die Eignung einiger solcher Vorschläge Aufschluss zu erhalten, wurden in den Jahren 1952 bis 1955 in der Forschungs- und Versuchsanstalt PTT Dauerversuche angestellt, über die im Nachstehenden berichtet wird.*

*Les câbles à gaine de plomb doivent être recouverts d'une enveloppe les protégeant contre les petits endommagements mécaniques – contre les coups plus graves seule une armure de fils ou de rubans d'acier offre une protection efficace – et, s'ils sont posés dans le sol, contre la corrosion. Autrefois, on utilisait à cet effet des matières fibreuses naturelles, aujourd'hui on essaie fréquemment d'améliorer la protection en recourant à des matières synthétiques. Pour avoir quelque idée du degré de protection qu'elles offrent, le laboratoire de recherches et d'essais des PTT a exécuté de 1952 à 1955 des essais de longue durée dont les résultats sont exposés ci-dessous.*

### 1. Blei als Kabelmantel

Die Kabeltechnik nahm ihren ersten Aufschwung mit der Erfindung der Bleipresse durch *François Borel* in Cortaillod, im Jahre 1879, womit es möglich wurde, in einem rationellen Fabrikationsprozess die Kabelseele mit einem metallischen und daher vollständig luft- und wasserdichten und satt aufliegenden Rohr zu umgeben. In der ganzen Reihe der Metalle kam und kommt noch heute für diesen Fabrikationsprozess nur das Blei in Frage, weil kein anderes Metall die Plastizität besitzt, die für den Pressvorgang Bedingung ist.

Blei ist von den unedlen Metallen eines der edleren. Sein elektrochemisches Normalpotential beträgt  $-0,12$  V, verglichen mit anderen Metallen, die im Kabelbau verwendet werden (z. B. Eisen  $-0,44$  V, Zink  $-0,76$  V, Magnesium für die Elektroden des kathodischen Korrosionsschutzes  $-2,35$  V) ein ziemlich hoher Wert. Auf Grund dieses relativ hohen Normalpotentials müsste das Blei widerstandsfähig sein gegen Attacken metallangreifender Stoffe und die daher drohende Zerstörung. Tatsächlich haben sich, wie schon lange bekannt ist, im Boden verlegte, bleierne Wasserleitungsrohre aus der Römerzeit bis in unsere Tage in bewundernswertem Zustande erhalten.

Mit der Verwendung von Blei für die Mäntel der Erdkabel hat man aber viel schlechtere Erfahrungen gemacht. Die Statistiken zeigen, dass Kabel schon im zweiten Jahre nach der Auslegung unbrauchbar werden können, weil die Bleimäntel infolge Korrosion durchlöchert werden. Woran es liegt, dass Blei im Boden im einen Falle sich lange unversehrt hält und

### 1. L'emploi du plomb pour les gaines de câble

La technique des câbles a pris son essor après que *François Borel*, de Cortaillod, eut inventé la presse à plomb, en 1879. Le procédé Borel permettait, par un processus rationnel, de revêtir l'âme du câble d'une gaine métallique, donc absolument imperméable à l'eau et à l'air, qui l'enserrait étroitement. De toute la série des métaux, seul le plomb entrait et entre encore en considération, aucun autre métal ne possédant la plasticité qu'exige le procédé à la presse.

Des métaux non précieux, le plomb est l'un des plus inattaquables. Son potentiel électrochimique normal est de  $-0,12$  V, valeur passablement élevée comparée à celle des autres métaux employés dans la construction des câbles (par exemple fer  $-0,44$  V, zinc  $-0,76$  V, magnésie pour les électrodes employées dans la protection contre la corrosion  $-2,35$  V). Grâce à cette valeur, le plomb devait mieux résister aux attaques des substances corrodant les métaux et à la destruction qui en est la conséquence. Effectivement, comme on le sait, des canalisations d'eau en plomb se sont conservées en un état remarquable depuis l'époque romaine jusqu'à nos jours.

Les expériences faites avec l'emploi du plomb pour les gaines des câbles souterrains ont été beaucoup plus mauvaises. Les statistiques montrent que certains câbles deviennent inutilisables déjà deux ans après leur pose, les gaines de plomb étant perforées par la corrosion. On ignore encore pourquoi, dans un cas, le plomb se maintient très longtemps dans le sol en parfait état, alors que dans l'autre cas il est rongé

im anderen Falle in kurzer Zeit zerfressen wird, weiss man noch nicht. Es ist naheliegend zu vermuten, dass im Falle der Kabel die Art der Herstellung und die Art der Verlegung die Korrosion begünstigen. Fest steht für alle Fälle, dass die Kabel irgendwie gegen Korrosion geschützt werden müssen.

## 2. Korrosionsschutz durch Umhüllungen

Die Erkenntnis der Notwendigkeit eines Korrosionsschutzes ist so alt wie die Kabeltechnik selber. Man tat jahrzehntelang, was man konnte, und umgab die Kabel mit einer Hülle aus geteerten Bändern und Garnen aus Textilfasern, meistens Jute oder Papier, wie man es gewohnt war an eisernen Rohrleitungen für Gas und Wasser, auch mit dem gleichen Erfolg oder Misserfolg: Die Kabel wurden dennoch korrodiert, da oder dort mit grösserer oder kleinerer Geschwindigkeit.

Es fehlte natürlich nicht an Ideen, um die Wirksamkeit der Korrosionsschutzhüllen zu verbessern. Ein wirksamer Schutz ist rein technisch ohne grosse Schwierigkeiten herzustellen; da aber immer die Wirtschaftlichkeit im Vordergrund steht, geraten, besonders bei dünnen Kabeln – und diese sind in der Mehrzahl vorhanden, besonders in der Fernsprechtechnik – die Aufwendungen für die Schutzhülle bald in ein krasses Missverhältnis zu den Herstellungskosten des Kabels. Man hat das schon so ausgedrückt: «Die Schutzhülle darf nicht so viel kosten wie ein neues Kabel.» Das heisst, dass in der Praxis der Ersatz eines korrodierten Kabels durch ein neues wirtschaftlicher sein kann als eine teure Schutzhülle, dies auch deshalb, weil an einem neuen Kabel die elektrischen Eigenschaften gewöhnlich besser sind als an einem alten. Das ist offenbar auch der Grund dafür, dass man heute noch die sozusagen uralte Methode anwendet, die darin besteht, dass man die nackten Bleikabel bewickelt mit zwei oder drei Lagen eines Papierstreifens und einer Lage Jutegarn oder, wenn es nicht erhältlich ist, Papiergarn und alles so gut als möglich mit Teer oder Bitumen tränkt.

## 3. Anforderungen an eine Schutzhülle

Die Anforderungen, die man an eine Korrosionsschutzhülle für Bleimantelkabel stellen muss, ergeben sich in erster Linie aus den Umständen, unter denen eine Korrosion einsetzen und fortschreiten kann. Wir erinnern uns daran, dass bei der *Selbstkorrosion* durch die Bildung von galvanischen Elementen zwischen anodischen und kathodischen Stellen der Oberfläche des Kabelmantels das Blei an der Anode (der «Lösungselektrode») abgetragen wird. Zum galvanischen Element gehört ausser der Anode und der Kathode der Elektrolyt (eine Flüssigkeit mit einer elektrischen Leitfähigkeit zweiter Art), der Anode und Kathode miteinander verbindet, und schliesslich ist für das andauernde Funktionieren des «Korrosionselementes» noch die Anwesenheit von Sauerstoff (Luft) erforderlich. Die Rolle des Elektrolyten spielt bei der Kabel-

prématurément. On suppose que, dans le cas des câbles, le mode de fabrication et de pose favorise la corrosion. Ce qui est certain, c'est que les câbles doivent être protégés contre les attaques corrosives.

## 2. La protection par enveloppement des câbles

La nécessité d'une protection contre la corrosion est apparue dès le début de la technique des câbles. Pendant des dizaines d'années, on fit ce que l'on put et l'on enveloppa les câbles de rubans et de filés de fibres textiles, en général de jute ou de papier, comme on le faisait pour les canalisations en fer d'eau et de gaz, mais avec le même succès ou insuccès: les câbles se corrodèrent toujours, avec une plus ou moins grande rapidité.

On ne manquait pas d'idées quant aux moyens d'augmenter l'efficacité des enveloppes de protection. Du point de vue technique pur, une protection suffisante est aisément réalisable, mais le point de vue économique étant prédominant, les dépenses pour l'enveloppe protectrice seraient en disproportion flagrante avec les frais de fabrication du câble, particulièrement pour les câbles minces, qui sont en majorité dans la technique des télécommunications. On exprime ce fait de la manière suivante: «L'enveloppe ne doit pas coûter autant qu'un nouveau câble.» Cela signifie que dans la pratique le remplacement d'un câble corrodé par un nouveau est plus économique qu'une enveloppe de protection coûteuse, d'autant plus qu'en général les propriétés électriques du nouveau câble sont meilleures que celles de l'ancien. C'est probablement la raison pour laquelle on applique encore l'antique méthode qui consiste à entourer le câble nu de deux ou trois couches de ruban de papier et d'une couche de fil de jute ou, si l'on ne peut se procurer ce dernier, de fil de papier, et à imprégner le tout, aussi bien que possible, de goudron ou de bitume.

## 3. Exigences imposées aux enveloppes protectrices

Les exigences imposées à une enveloppe protectrice contre la corrosion des gaines de câbles résultent en premier lieu des conditions dans lesquelles la corrosion débute et progresse. Rappelons que dans le cas de l'*autocorrosion* par la formation d'éléments galvaniques entre les parties anodiques et cathodiques de la surface de la gaine de plomb, le plomb se dépose à l'anode. L'élément galvanique comprend, outre l'anode et la cathode, un liquide dit électrolyte (avec conductivité électrique de seconde catégorie) qui relie l'anode à la cathode; en outre, l'élément corrosif ne peut fonctionner de manière durable qu'en présence de l'oxygène (air). Dans la corrosion des câbles, les eaux de sol naturelles jouent le rôle de l'électrolyte; leur action est malheureusement souvent renforcée par des dissolutions d'acides, de bases et de sels ayant pénétré dans le sol. Dans la *corrosion par des courants étrangers*, causée par les courants vagabonds et appelée aussi corrosion

korrosion das natürliche Bodenwasser, dessen Wirkung leider durch eingesickerte Lösungen von Säuren, Basen und Salzen häufig verstärkt wird. Bei der *Fremdstromkorrosion*, verursacht durch vagabundierende Ströme, auch elektrolytische Korrosion genannt, die sich elektrochemisch von der Selbstkorrosion nur durch die Größe der auftretenden Spannungen und Ströme unterscheidet, kann der Kabelmantel auf beträchtliche Längen gegenüber einer Fremdstromquelle anodisch polarisiert sein, wenn er mit der Fremdstromquelle durch das Bodenwasser verbunden ist.

Aus dem Gesagten geht hervor, dass ein passiver Korrosionsschutz am Kabelmantel darin bestehen muss, dass eine der Komponenten der Zersetzungs- zelle, die ein korrosionsgefährdeter Bleimantel darstellt, ausgeschaltet wird. Anodische und kathodische Stellen auf dem Bleimantel lassen sich nicht vermeiden; sie haben ihre Ursache in der unterschiedlichen physikalischen Beschaffenheit der Bleioberfläche, die man in der Praxis nicht willkürlich gestalten kann. Es bleibt somit als wirksame Massnahme nur *Fernhaltung des Bodenwassers vom Bleimantel*, die, wenn richtig ausgeführt, auch den Sauerstoff (Luft) fernhält. Der Grad der Vollkommenheit, bis zu dem das gelingt, ist das Mass für die Wirksamkeit des Schutzes gegen Selbstkorrosion. Zum Schutz gegen Fremdstromkorrosion kommt dann noch die Forderung hinzu, dass die Schutzhülle elektrisch gut isolieren muss.

#### 4. Untersuchung verschiedener Typen von Schutzhüllen

##### 4.1 Die angewandte Methode und die Messeinrichtung

Es gibt physikalisch exakte Methoden für die Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von Werkstoffen. In unserem Falle waren sie nicht anwendbar, da es sich um relativ dicke Schichten handelte, die bei einigen Stoffen zudem aus mehreren Lagen verschiedenartiger Stoffe bestanden, und da die Untersuchung soweit als möglich unter Verhältnissen geschehen sollte, wie sie in der Praxis vorkommen, und das am fertigen Kabel. Zu diesem Zwecke wurde eine Versuchsanordnung gewählt, wie sie in der Figur 1 schematisch dargestellt ist.

Kabelstücke von etwa 1,5 m Länge, die mit dem zu untersuchenden Hüllentyp versehen waren, wurden halbkreisförmig gebogen und so in einen mit *Leitungswasser* angefüllten Steinzeugtrog gestellt, dass die Enden herausragten. Die ins Wasser getauchte Länge betrug 1 m. Die Muster wurden in dieser Art gebogen, um Verhältnissen, wie man sie in der Praxis trifft, nahezukommen. Der Biegungsradius betrug 0,35 bis 0,38 m. Die Hüllen wurden also auf der Aussenseite der Bögen etwas gestreckt, auf der Innenseite etwas gestaucht.

Als Kriterium für das Eindringen (und Vorrücken) des Wassers in das Hüllenmaterial wurde der elektrische Gleichstromwiderstand benutzt. Andere elektrische Konstanten, zum Beispiel der Verlustfaktor,

elektrolytische, qui, du point de vue électrochimique, ne diffère de l'autocorrosion que par l'intensité des tensions et courants qu'elle met en jeu, la gaine peut, sur de grandes longueurs, être polarisée anodiquement par rapport à la source de courant étranger lorsqu'elle est reliée à cette source par l'eau de sol.

On voit par ce qui précède que, pour protéger passivement les gaines de câbles contre la corrosion, il importe d'éliminer l'une des composantes de la cellule de désagrégation que représente la gaine de plomb menacée de corrosion. Il n'est pas possible d'éviter que des parties anodiques et cathodiques ne se forment sur le plomb; elles proviennent de la structure physique différenciée de la surface du plomb, qu'on ne peut en pratique modifier arbitrairement. La seule mesure efficace est donc d'*éloigner l'eau de sol de la gaine de plomb*; lorsqu'elle est correctement exécutée, l'oxygène (air) est lui aussi écarté de la gaine. Le degré de réussite donne la mesure de l'efficacité de la protection contre l'autocorrosion. Pour la protection contre la corrosion par les courants étrangers, il faut en outre que l'enveloppe ait un bon isolement électrique.

#### 4. Essais avec différents types d'enveloppes

##### 4.1 La méthode employée et l'installation de mesure

Il existe en physique des méthodes exactes pour déterminer le degré de perméabilité à l'eau des matières industrielles. Elles ne sont pas applicables ici, du fait que nous avons affaire à des enveloppes relativement épaisses constituées parfois de plusieurs couches de substances différentes, que l'essai devrait avoir lieu dans des conditions rappelant celles qu'on rencontre en pratique et porter sur des câbles ter-

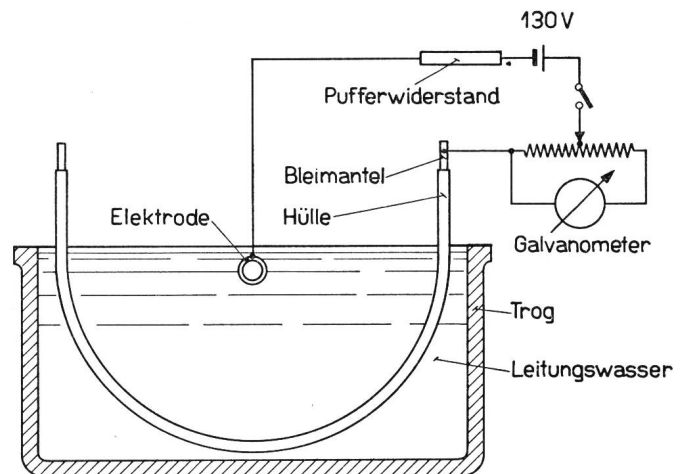


Fig. 1. Schema der Messanordnung  
Schéma de l'installation de mesure

Legende:	Légende:
Pufferwiderstand	Résistance-tampon
Bleimantel	Gaine de plomb
Hülle	Enveloppe
Elektrode	Electrode
Galvanometer	Galvanomètre
Trog	Bassin
Leitungswasser	Eau du réseau public



schienen nicht geeignet, da die Hüllen zum Teil aus verschiedenen Schichten bestanden, wovon einige sehr hohe Isolationswiderstände besitzen. Es zeigte sich dann, dass mit der Erfassung des Isolationswiderstandes das Eindringen des Wassers sehr gut charakterisiert werden kann. Da mit hohen Widerständen gerechnet werden musste, wurde ein Spiegelgalvanometer hoher Empfindlichkeit benützt. Bei voller Empfindlichkeit entsprach ein Ausschlag von einem Skalen-

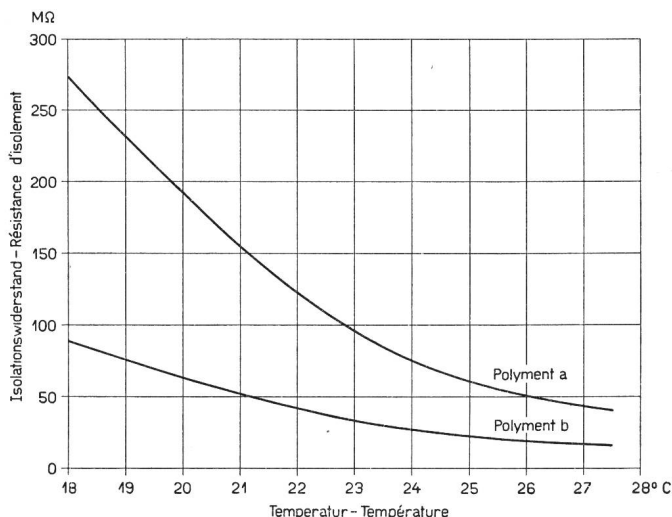


Fig. 2. Abhängigkeit des Isolationswiderstandes der «Polymert»-Hüllen von der Temperatur  
Dépendance entre la température et la résistance d'isolement des enveloppes de «Polymert»

teil, je nach dem Entladungszustande der verwendeten Akkumulatorenatterie (130 V) einem Widerstande von 9 800 000 bis 10 700 000 Megohm. Da ferner bei einigen Mustern der Widerstand grösser war als der Isolationswiderstand der Versuchseinrichtung, musste die ganze Anlage sorgfältig gegen Kriechströme abgeschirmt werden, was wesentlich zur Zuverlässigkeit der gemessenen Werte beitrug. Es tauchte noch die Frage auf, ob nicht etwa die Messresultate durch beginnende Elektrolyse gefälscht werden könnten. Die Ablesung erfolgte, wie üblich, 60 Sekunden nach dem Anlegen der Spannung. Während dieser kurzen Zeit wurde nichts beobachtet, das auf eine Störung durch Polarisierung schliessen liess; der Rückgang des Ausschlages erfolgte in der gleichen Weise wie bei einer «trockenen» Messung, was durch einen besonderen Versuch erhärtet wurde. Ferner wurden gleiche Ausschläge erhalten, wenn man die Stromrichtung wechselte.

Der gemessene Widerstand war naturgemäss abhängig von der Temperatur des Wasserbades und der Kabel. In welcher Weise dies der Fall war, zeigt Figur 2 an einem Beispiel.

Die Ermittlung der Temperaturabhängigkeit erwies sich als ziemlich umständlich, sogar als schwierig. Um die Schwierigkeiten zu umgehen, wurde dann so verfahren, dass vor jeder Meßserie das Wasserbad durch eine neben dem Trog aufgestellte, mit einer Umwälzpumpe und der nötigen Automatik ver-

minés. C'est pourquoi l'on a adopté pour l'essai la disposition représentée schématiquement à la figure 1.

Des tronçons de câble d'environ 1,5 m de longueur, pourvus du type d'enveloppe à essayer, furent pliés en demi-cercle et plongés dans un bassin de grès rempli d'eau du réseau de distribution, de manière que les extrémités fussent hors de l'eau. La longueur plongée dans l'eau était de 1 m. On plia les tronçons de cette manière afin de reproduire aussi exactement que possible les conditions rencontrées dans la pratique. Le rayon de flexion était de 0,35 à 0,38 m. Les enveloppes étaient par conséquent un peu étirées du côté extérieur de l'arc et un peu comprimées du côté intérieur.

On utilisa la résistance au courant électrique continu comme critère de la pénétration (et de l'avancement) de l'eau dans les matières constituant l'enveloppe. Il ne parut pas indiqué d'employer d'autres constantes électriques, par exemple le facteur de perte, certaines enveloppes étant formées de diverses couches dont quelques-unes présentent de très fortes résistances d'isolement. On constata que la détermination de la résistance d'isolement permettait de très bien caractériser la pénétration de l'eau. Comme on savait avoir affaire à des résistances élevées, on utilisa un galvanomètre à miroir de haute sensibilité. Avec la sensibilité entière, une déviation d'une division de l'échelle correspondait, suivant l'état de décharge de la batterie d'accumulateurs (130 V), à une résistance de 9 800 000 à 10 700 000 mégohms. La résistance de quelques tronçons étant plus élevée que la résistance d'isolement de l'installation d'essai, toute cette installation devait être soigneusement protégée contre les courants de fuite, ce qui rendait les valeurs mesurées plus certaines. On se demanda aussi si les résultats des mesures n'étaient pas faussés par un début d'électrolyse. Les valeurs furent relevées, comme d'habitude, 60 secondes après l'application de la tension. Pendant ce bref intervalle de temps, on n'observa rien qui permit de conclure à une perturbation par polarisation; le retour après la déviation se fit de la même manière que pour une mesure exécutée «à sec», ce que confirma encore un essai particulier. On obtint les mêmes déviations lorsqu'on changea la direction du courant.

La résistance dépendait naturellement de la température du bain et des câbles. Un exemple est représenté à la figure 2.

Il était assez compliqué, même difficile, de déterminer la dépendance entre la température et la résistance. Pour obvier aux difficultés, on procéda de manière qu'avant chaque série de mesures l'eau fût amenée à la température ambiante par un appareil de chauffage placé à côté du bassin et pourvu d'une pompe de refoulement, ainsi que du dispositif automatique nécessaire. On parvint, pour chaque mesure, à maintenir la température à  $20 \pm 0,2$  degrés C.

On faisait les mesures immédiatement après avoir plongé les échantillons dans le bain, puis au bout de 1, 3, 4, 5 ou 6 heures, ensuite au bout de 10, 24,

sehene Heizvorrichtung auf Zimmertemperatur gebracht wurde. Es gelang, die Badtemperatur bei jeder Messung auf  $20 \pm 0,2^\circ\text{C}$  zu halten.

Gemessen wurde am Anfang sofort nach dem Eintauchen, dann nach 1, 3, 4, 5 oder 6, nach 10, 24, 34, 72, 96, 144 und 168 Stunden (= 1 Woche) und von da einmal am Ende jeder Woche. Jeden Monat einmal wurde das Wasser herausgepumpt und der Trog wieder mit frischem Leitungswasser angefüllt. Die Figur 3 zeigt eine Ansicht der ganzen Installation.

34, 72, 96, 144 et 168 heures (soit une semaine) et dès lors à la fin de chaque semaine. Chaque mois, l'eau était pompée hors du bassin et remplacée par de l'eau fraîche. La figure 3 montre une vue de l'ensemble de l'installation.

On voit au premier plan, à droite, le bassin avec les échantillons de câbles, plus à gauche la boîte de réglage de la température, en arrière le dispositif de chauffage, à gauche la pompe servant à vider le bassin et en haut le galvanomètre à miroir avec la

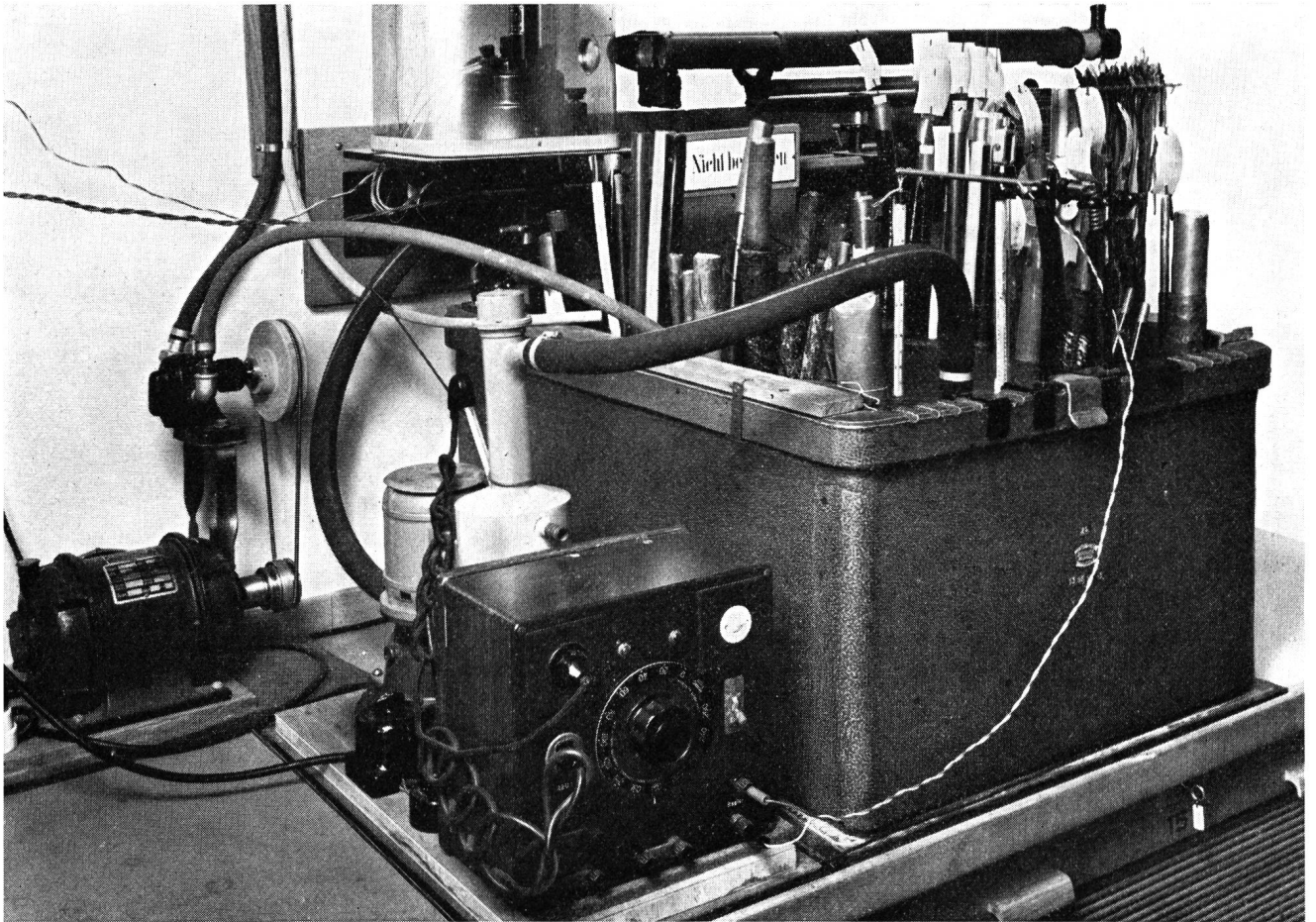


Fig. 3. Ansicht der Messeinrichtung

Vue de l'installation de mesure

Man sieht vorn rechts den Trog mit den Kabelmustern, links davon das Steuerkästchen für die Temperaturregelung, dahinter die Heizvorrichtung mit der Umwälzpumpe, hinten links die Pumpe für das Leeren des Troges und oben das Spiegelgalvanometer mit dem Autokollimatorfernrohr. Die auf dem vorderen Rande des Troges sichtbaren schwarzen Klammern tragen die Thermometer. Am hellen Lappen hängt die Mess-Elektrode. Sie besteht aus einem Bleirohr (einem Stück Kabelmantel), das ungefähr im Mittelpunkt der Kabelbögen quer durch den Trog verläuft.

#### 4.2 Die untersuchten Muster

Die Muster sind in der zeitlichen Reihenfolge auf-

lunette de l'autocollimateur. Les agrafes noires visibles au bord antérieur du bassin portent les thermomètres. La languette claire supporte l'électrode de mesure. Elle est constituée d'un tube de plomb (fragment de gaine de câble) passant à travers le bassin à peu près au milieu des coudes des tronçons de câble.

#### 4.2 Les échantillons examinés

Les échantillons sont numérotés suivant l'ordre chronologique dans lequel ils ont été mis à disposition pour les essais; pour les derniers, par exemple, il s'agit de  $3\frac{1}{2}$  mois avant la fin de la série d'essais.

gezählt, in der sie für die Untersuchung zur Verfügung standen, die «jüngsten» Muster zum Beispiel erst 3½ Monate vor Abschluss der Versuchsreihe. In der Reihenfolge der Schichten, aus denen die Hüllen zusammengesetzt sind, liegt die erstgenannte Schicht immer auf dem Metallmantel.

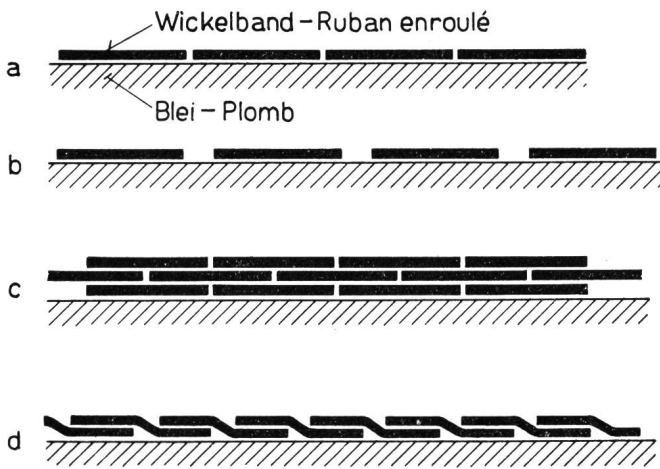


Fig. 4. Schema der Bandwicklungen  
Schéma des enroulements de ruban

#### 4.3 Aufbau der Hüllen

##### Nr. 1: Bleimantelkabel mit «Polymant»-Hülle.

1. Kunststoffband, glasklar, Breite 30 mm, einseitig belegt mit einer schwarzen Compoundmasse. Das Band liegt mit der Masseschicht auf dem Mantel, gewickelt nach d der Figur 4, Überlappung 13 mm.
2. Wie 1, Masseschicht nach aussen;
3. Glattes Papierband, Breite 18 mm, belegt mit Aluminium-Folie, gewickelt mit 4 mm breiten Zwischenräumen nach b der Figur 4, Aluminium-folie innen;
4. Krepp-Papierband, 28 mm breit, gewickelt nach a der Figur 4;
- 5., 6. und 7. Drei Papierbänder, 27 mm breit, geteert;
8. Papierband, 28 mm breit, geteert;
9. Papierband, 30 mm breit, geteert;
10. Papierband, 32 mm breit, geteert. Die Bänder 5 bis 10 sind gewickelt nach c der Figur 4;
11. Runddrahtarmierung, Drahtdurchmesser 1,4 mm;
12. Eine Lage Jutegarn, geteert, weich.  
Durchmesser über Blei 8,5 mm, über Jute 21 mm. Dicke der Hülle 6,25 mm;

##### Nr. 2: Wellstahlmantel-Kabel mit «Polymant»-Hülle.

1. Wie beim Muster 1;
2. Wie beim Muster 1;
3. Krepp-Papierband, 36 mm breit, gewickelt nach d der Figur 4, geteert, stark klebend;
4. Glattes Papierband, 38 mm breit, gewickelt nach a der Figur 4;
5. Glattes Papierband, 40 mm breit, gewickelt nach d der Figur 4, Überlappung 2,5 mm, geteert;
6. Glattes Papierband, 39 mm breit, gewickelt nach b der Figur 4;

La première couche indiquée est toujours celle qui est au contact du plomb (voir fig. 4).

#### 4.3 Constitution des enveloppes

##### N° 1: Câble sous plomb avec enveloppe de «Polymant».

1. Ruban de matière synthétique, transparent, largeur 30 mm, recouvert d'un côté d'une masse compound noire. Le ruban est enroulé sur la gaine de plomb avec la couche de compound, selon d de la figure 4, recouvrement 13 mm;
2. Comme 1, couche de compound vers l'extérieur;
3. Ruban de papier lisse, largeur 18 mm, recouvert d'aluminium, enroulé avec espaces de 4 mm de largeur selon b de la figure 4, aluminium à l'intérieur;
4. Ruban de papier crépé, largeur 28 mm, enroulé selon a de la figure 4;
5. 6. et 7. Trois rubans de papier, largeur 27 mm, goudronnés;
8. Ruban de papier, largeur 28 mm, goudronné;
9. Ruban de papier, largeur 30 mm, goudronné;
10. Ruban de papier, largeur 32 mm, goudronné. Les rubans 5 à 10 sont enroulés selon c de la figure 4;
11. Armure de fils de fer ronds, diamètre des fils 1,4 mm;
12. Couche de fils de jute goudronné, tendre. Diamètre sur le plomb 8,5 mm, sur le jute 21 mm; épaisseur de l'enveloppe 6,25 mm.

##### N° 2: Câble avec gaine d'acier ondulé avec enveloppe de «Polymant».

1. Comme échantillon 1;
2. Comme échantillon 1;
3. Ruban de papier crépé, largeur 36 mm, enroulé selon d de la figure 4, goudronné, très collant;
4. Ruban de papier lisse, largeur 38 mm, enroulé selon a de la figure 4;
5. Ruban de papier lisse, largeur 40 mm, enroulé selon d de la figure 4, recouvrement 2,5 mm, goudronné;
6. Ruban de papier lisse, largeur 39 mm, enroulé selon b de la figure 4;
7. Ruban d'acier, largeur 18 mm, enroulé selon b de la figure 4, largeur du joint 20 mm;
8. Couche de fil de jute goudronné, tendre. Diamètre sur l'acier 16,5 mm, sur le jute 30 mm; épaisseur de l'enveloppe 6,75 mm.

##### N° 3: Câble sous plomb avec enveloppe de polythène.

1. Enveloppe de polythène injecté, sans joints, noire;
2. Trois couches d'un ruban de papier imprégné, enroulé de manière assez lâche;
3. Couche de fil de jute imprégné. Diamètre sur le plomb 11 mm, sur le jute 18 mm; épaisseur de l'enveloppe 3,5 mm.



7. Stahlband, 18 mm breit, gewickelt nach b der Figur 4, Fuge 20 mm breit;
8. Eine Lage Jutegarn geteert, weich.  
Durchmesser über Stahl 16,5 mm, über Jute 30 mm. Dicke der Hülle 6,75 mm.

**Nr. 3:** Bleimantelkabel mit Polythenhülle.

1. Fugenlos aufgespritzte Polythenhülle, schwarz;
2. Drei Lagen eines imprägnierten Papierbandes, ziemlich lose gewickelt;
3. Eine Lage Jutegarn imprägniert. Durchmesser über Blei 11 mm, über Jute 18 mm, Dicke der Hülle 3,5 mm;

**Nr. 4:** Bleimantelkabel mit «Sandwich»-Hülle.

1. Eine Schicht Teer;
2. Ein Baumwollband, 60 mm breit, gewickelt nach d der Figur 4, Überlappung 15 mm;
3. Eine Schicht Teer;
4. Ein Baumwollband wie unter 2.;
5. Eine Lage Jutegarn, imprägniert, weich.  
Durchmesser über Blei 27,5 mm, über Jute 36,5 mm, Dicke der Hülle 4,5 mm.

**Nr. 5:** Bleimantelkabel mit Polythen-Wickel-Hülle.

1. Gummiertes Baumwollband, 26 mm breit, gewickelt nach d der Figur 4, Überlappung 4 mm;
2. Polythenband, 20 mm breit, gewickelt nach d der Figur 4, Fugen verschweisst;
3. Ein Papierband, 21 mm breit, gewickelt nach d der Figur 4, Überlappung 2 mm, klebt etwas am Polythenband;
4. Ein Papierband, 24 mm breit, aussen schwarz, (asphaltlackiert?), gewickelt wie 3, klebt etwas an 3;
- 5., 6. und 7. Drei Papierbänder, 44 mm breit, asphalt-imprägniert, gewickelt nach a der Figur 4;
8. Eine Lage Jutegarn, asphaltiert.  
Durchmesser über Blei 19 mm, über Jute 26 mm, Dicke der Hülle 3,5 mm.

**Nr. 6:** Bleimantelkabel nach Pflichtenheft TTV.

1. Eine Schicht Bitumen, zäh, klebrig;
2. Drei Papierbänder, 29 mm breit, trocken, gewickelt nach a der Figur 4, die innerste Lage klebt fest am Bitumen, die beiden äusseren Lagen lassen sich leicht ablösen;
3. Eine Lage Jutegarn, weich imprägniert.  
Durchmesser über Blei 10 mm, über Jute 16 mm, Dicke der Hülle 3 mm.

**Nr. 7:** Bleimantelkabel nach Pflichtenheft TTV.  
Aufbau wie Nr. 6, Bleimantel antimonlegiert.

**Nr. 8:** Bleimantelkabel nach Pflichtenheft TTV.  
Juteimprägnierung mit hohem Phenolgehalt. Aufbau wie Nr. 6. Das Bitumen auf dem Bleimantel ist ausgetrocknet, die Jute ist hart.  
Durchmesser über Blei und Jute wie bei Nr. 6.

**Nr. 9:** Bleimantelkabel mit PVC-Band-Hülle.

1. Eine Lage Selbstklebeband «Scotch 22», 40 mm breit, maschinengewickelt nach a der Figur 4;

**N° 4:** Câble sous plomb avec enveloppe «Sandwich».

1. Couche de goudron;
2. Ruban de coton, largeur 60 mm, enroulé selon d de la figure 4, recouvrement 15 mm;
3. Couche de goudron;
4. Ruban de coton comme sous 2;
5. Couche de fil de jute imprégné, tendre.  
Diamètre sur le plomb 27,5 mm, sur le jute 36,5 mm; épaisseur de l'enveloppe 4,5 mm.

**N° 5:** Câble sous plomb avec enveloppe de polythène enroulé.

1. Ruban de coton caoutchouté, largeur 26 mm, enroulé selon d de la figure 4, recouvrement 4 mm;
2. Ruban de polythène, largeur 20 mm, enroulé selon d de la figure 4, joints soudés;
3. Ruban de papier, largeur 21 mm, enroulé selon d de la figure 4, recouvrement 2 mm, colle quelque peu au ruban de polythène;
4. Ruban de papier, largeur 24 mm, noir à l'extérieur (laqué à l'asphalte?), enroulé comme 3, colle quelque peu au ruban 3;
- 5, 6 et 7. Trois rubans de papier, largeur 44 mm, imprégnés d'asphalte, enroulés selon a de la figure 4;
8. Couche de fil de jute asphalté.  
Diamètre sur le plomb 19 mm, sur le jute 26 mm; épaisseur de l'enveloppe 3,5 mm.

**N° 6:** Câble sous plomb suivant cahier des charges PTT.

1. Couche de bitume résistant, collant;
2. Trois rubans de papier sec, largeur 29 mm, enroulés selon a de la figure 4; la couche intérieure colle fortement au bitume, les deux couches extérieures peuvent être détachées facilement;
3. Couche de fil de jute à imprégnation tendre.  
Diamètre sur le plomb 10 mm, sur le jute 16 mm; épaisseur de l'enveloppe 3 mm.

**N° 7:** Câble sous plomb suivant cahier des charges PTT, construction comme n° 6, plomb avec alliage d'antimoine.

**N° 8:** Câble sous plomb suivant cahier des charges PTT.

Imprégnation du jute avec haute teneur en phénol, construction comme n° 6. Le bitume sur la gaine de plomb est sec, le jute est dur.

Diamètre sur le plomb et le jute comme n° 6.

**N° 9:** Câble sous plomb avec enveloppe de ruban de PVC.

1. Couche de ruban autocollant «Scotch 22», largeur 40 mm, enroulé à la machine selon a de la figure 4;
2. Couche de ruban comme sous 1, enroulé selon d de la figure 4, recouvrement 1 à 9 mm.  
Diamètre sur le plomb 28 mm, sur l'enveloppe

2. Eine Lage Band wie unter 1., gewickelt nach d der Figur 4, Überlappung 1 bis 9 mm. Durchmesser über Blei 28 mm, über Hülle etwa 30 mm, Dicke der Hülle etwa 1 mm.

**Nr. 10:** Bleimantelkabel mit Schrumpfschlauchhülle.

- a) Ein Stück Schrumpfschlauch «Kautex-Vietum» beige wurde über das Kabel gezogen und erwärmt, so dass sich der Schlauch satt an den Bleimantel legte.

Der Manteldurchmesser betrug 35 mm, die Dicke der Hülle 0,7 bis 0,95 mm;

- b) Ähnlich wie unter a) «Kautex-Vietum» braun. Durchmesser des Bleimantels 15,6 mm, Dicke der Hülle 0,78 mm.

- c) Ähnlich wie unter a, «Kautex-Vietum» weiss. Durchmesser des Bleimantels 15,2 mm, Dicke der Hülle 0,55 bis 0,8 mm.

Da das Muster c am Anfang ganz niedrige Messwerte ergab, wurden über zwei vermutlich schlechte Stellen Stutzen aus dem gleichen Material gezogen, worauf die Messwerte stiegen.

**Nr. 11:** Bleimantelkabel mit PVC-Band-Hülle.

1. Eine Lage Selbstklebeband «Scotch 21», 50 mm breit, handgewickelt nach d der Figur 4, Überlappung 25 mm. Die Bewicklung ist aus drei Stücken des Bandes zusammengesetzt, hat also zwei Nahtstellen.

Durchmesser über Blei 26 mm, über Hülle etwa 29 mm, Dicke der Hülle etwa 1,5 mm.

**Nr. 12:** Bleimantelkabel mit PVC-Band-Hülle.

1. Eine Lage Selbstklebeband «Scotch 22», 38 mm breit, handgewickelt nach d der Figur 4, Überlappung 19 mm.

Durchmesser über Blei 26 mm, über Hülle etwa 28 mm. Dicke der Hülle etwa 1 mm.

**Nr. 13:** Bleimantelkabel mit PVC-Band-Hülle.

1. und 2. Zwei Lagen Selbstklebeband «Scotch 22», 38 mm breit, handgewickelt nach c der Figur 4. Durchmesser über Blei 26 mm, über Hülle etwa 30 mm, Dicke der Hülle etwa 1 mm.

**Nr. 14:** Bleimantelkabel mit PVC-Band-Hülle.

Wie Nr. 12; das Band ist aus zwei Teilen zusammengesetzt.

**Nr. 15:** Bleirohr mit Plastosyn-Hülle.

1. Nahtlos aufgespritzte Hülle aus «Plastosyn K 250/5» (= PVC), schwarz.

Durchmesser über Blei 21 mm, über Hülle 25 mm, Dicke der Hülle 2 mm.

**Nr. 16:** Bleirohr mit Plastosyn-Hülle.

1. Gleiche Verhältnisse wie bei Nr. 15, Hülle aus «Plastosyn K 269/44» rot.

30 mm à peu près; épaisseur de l'enveloppe environ 1 mm.

**N° 10:** Câble sous plomb avec enveloppe en matière plastique se resserrant sur la gaine.

- a) Un bout d'enveloppe «Kautex-Vietum» de couleur beige a été passé sur le câble et chauffé de telle manière qu'il s'applique étroitement à la gaine. Le diamètre sur le plomb était de 35 mm, l'épaisseur de l'enveloppe de 0,7 à 0,95 mm;

- b) Comme sous a, «Kautex-Vietum» brun. Diamètre sur le plomb 15,6 mm, épaisseur de l'enveloppe 0,78 mm;

- c) Comme sous a, «Kautex-Vietum» blanc. Diamètre sur le plomb 15,2 mm; épaisseur de l'enveloppe 0,55 à 0,8 mm.

L'échantillon c ayant donné au début des valeurs très faibles, on a passé sur deux endroits supposés défectueux des bouts du même matériel, sur quoi les valeurs se sont élevées.

**N° 11:** Câble sous plomb avec enveloppe en ruban de PVC.

1. Couche de ruban autocollant «Scotch 21», largeur 50 mm, enroulé à la main selon d de la figure 4, recouvrement 25 mm. L'enroulement est constitué de trois parties, il présente donc deux sutures.

Diamètre sur le plomb 26 mm, sur l'enveloppe 29 mm environ; épaisseur de l'enveloppe 1,5 mm environ.

**N° 12:** Câble sous plomb avec enveloppe en ruban de PVC.

1. Couche de ruban autocollant «Scotch 22», largeur 38 mm, enroulé à la main selon d de la figure 4, recouvrement 19 mm.

Diamètre sur le plomb 26 mm, sur l'enveloppe environ 28 mm; épaisseur de l'enveloppe environ 1 mm.

**N° 13:** Câble sous plomb avec enveloppe en ruban de PVC.

- 1 et 2. Deux couches de ruban autocollant «Scotch 22», largeur 38 mm, enroulé à la main selon c de la figure 4.

Diamètre sur le plomb 26 mm, sur l'enveloppe environ 30 mm; épaisseur de l'enveloppe environ 1 mm.

**N° 14:** Câble sous plomb avec enveloppe en ruban de PVC.

Comme 12; le ruban est constitué de deux parties.

**N° 15:** Tube de plomb avec enveloppe de «plastosyne».

1. Enveloppe de «plastosyne K 250/5» (=PVC) injectée, sans suture, noire.

Diamètre sur le plomb 21 mm, sur l'enveloppe 25 mm; épaisseur de l'enveloppe 2 mm.



**Nr. 17:** Bleirohr mit «Polythen»-Hülle.

1. Nahtlos aufgespritzte Hülle aus Polythen grau. Durchmesser über Blei 21 mm, über Hülle 25 mm, Dicke der Hülle 2 mm.

**Nr. 18:** Bleimantelkabel mit PVC-Hülle.

1. Nahtlos aufgespritzte Hülle aus PVC Reinshagen, blau. Durchmesser über Blei 9 mm, über Hülle 11 mm, Dicke der Hülle 1 mm.

**Nr. 19:** PVC-Mantel-Kabel (Starkstromkabel).

Vier Adern mit Gummiisolierung, darüber nahtlos aufgespritzter Mantel aus PVC Reinshagen, weiss. Durchmesser für die Berechnung der Strom-Austrittsfläche 7 mm.

**Nr. 20:** Bleirohr mit Hülle aus «Coroplast»-Isolierband.

- 1., 2. und 3. Je eine Lage «Coroplast»-Klebeband, 40 mm breit, gewickelt nach d der Figur 4, Überlappung 20 mm. Durchmesser über Blei 24 mm, über Hülle etwa 25,2 mm, Dicke der Hülle etwa 0,6 mm.

**Nr. 21:** Bleimantelkabel mit Bitumen/Glasfaser-Hülle.

1. Eine Schicht Bitumen;
2. und 3. Je eine Bewicklung mit Glas-Schleierband, 40 mm breit, 2 mit Linksdrall, 3 mit Rechtsdrall, gewickelt nach d der Figur 4;
4. Eine Schicht Bitumen. Durchmesser über Blei 15 mm, über Hülle 21,5 mm, Dicke der Hülle 3,25 mm.

**Nr. 22:** Bleimantelkabel mit Bitumen/Glasfaser-Hülle.

1. Eine Bitumenschicht;
2. Eine Bewicklung mit Glasschleierband wie beim Muster Nr. 21/2.;
3. Eine Bewicklung mit Glasgarn;
4. Eine Bitumenschicht. Durchmesser über Blei 15 mm, über Hülle 19 mm, Dicke der Hülle 2 mm.

**Nr. 23:** Bleimantelkabel mit Glasfaser-Hülle.

1. Eine Bitumenschicht;
2. Eine Bewicklung mit Glasgarn;
3. Eine Bitumenschicht. Durchmesser über Blei 15 mm, über Hülle 17,5 mm, Dicke der Hülle 1,25 mm.

**Nr. 24:** Bleimantelkabel mit Farbanstrich.

1. Ein Grundanstrich mit «Vinyl-Clad», mit Pinsel aufgebracht;
2. Eine Ausbesserung der sichtbaren dünnen Stellen mit «Vinyl-Clad»;
3. Ein Deckanstrich mit «Vinyl-Clad». Durchmesser über Blei 34 mm, Dicke des Farbauftrages im Mittel 0,147 mm.

**N° 16:** Tube de plomb avec enveloppe de «plastosyne».

1. Mêmes conditions que sous 15, enveloppe de «plastosyne K 269/44», rouge.

**N° 17:** Tube de plomb avec enveloppe de polythène.

1. Enveloppe de polythène injecté, sans suture, gris. Diamètre sur le plomb 21 mm, sur l'enveloppe 25 mm; épaisseur de l'enveloppe 2 mm.

**N° 18:** Câble sous plomb avec enveloppe de PVC.

1. Enveloppe de «PVC Reinshagen», injecté, sans suture, bleu. Diamètre sur le plomb 9 mm, sur l'enveloppe 11 mm; épaisseur de l'enveloppe 1 mm.

**N° 19:** Câble à gaine de PVC (pour courant fort).

Quatre conducteurs isolés au caoutchouc, gaine de «PVC Reinshagen» injecté, sans suture, blanc. Diamètre pour le calcul de l'aire de sortie du courant 7 mm.

**N° 20:** Tube de plomb avec enveloppe de ruban isolant «Coroplast».

- 1., 2. et 3. Trois couches de ruban collant «Coroplast», largeur 40 mm, enroulé selon d de la figure 4, recouvrement 20 mm. Diamètre sur le plomb 24 mm, sur l'enveloppe environ 25,2 mm; épaisseur de l'enveloppe environ 0,6 mm.

**N° 21:** Câble sous plomb avec enveloppe de bitume et fibres de verre.

1. Couche de bitume;
2. et 3. Deux enroulements de ruban de tissu de verre, largeur 40 mm, 2 avec toronnage à gauche, 3 avec toronnage à droite, enroulés selon d de la figure 4;
4. Couche de bitume. Diamètre sur le plomb 15 mm, sur l'enveloppe 21,5 mm; épaisseur de l'enveloppe 3,25 mm.

**N° 22:** Câble sous plomb avec enveloppe de bitume et fibres de verre.

1. Couche de bitume;
2. Enroulement de ruban de tissu de verre comme sous 21/2.;
3. Enroulement de fil de verre;
4. Couche de bitume. Diamètre sur le plomb 15 mm, sur l'enveloppe 19 mm; épaisseur de l'enveloppe 2 mm.

**N° 23:** Câble sous plomb avec enveloppe en fibres de verre.

1. Couche de bitume;
2. Enroulement de fil de verre;
3. Couche de bitume. Diamètre sur le plomb 15 mm, sur l'enveloppe 17,5 mm; épaisseur de l'enveloppe 1,25 mm.

**Nr. 25:** Bleimantelkabel mit Lackanstrich.

- a) Anstrich des glatten Bleimantels mit «Duralon»-Isolierlack;
- b) Anstrich des in der Mitte mit einer Verbindungsmuffe versehenen Bleimantels mit «Duralon»-Lack. Durchmesser über Blei 11,5 mm, Lackauftrag im Mittel 0,482 mm.

**Nr. 26:** Bleimantelkabel, umhüllt mit «Denso»-Binden.

1. Eine Bewicklung mit «Denso»-Binden von 100 mm Breite, nach d der Figur 4, Überlappung 40 mm. Durchmesser über Blei 40,5 mm, Dicke der Hülle etwa 1 mm.

**Nr. 27:** Zwei Muster eines Endverschlusses aus «Duralon»-Lack. Zwei Bleimantelkabel (Durchmesser des Bleimantels 11,5 mm) mit Polythenhülle erhielten Endverschlüsse durch Auftragen von «Duralon»-Isolierlack nach Figur 5.

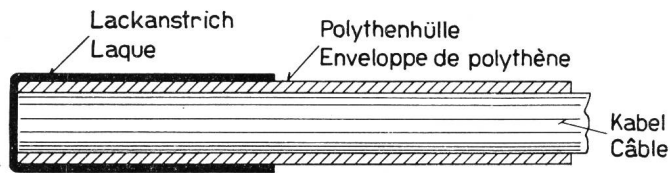


Fig. 5. Mit «Duralon»-Lack hergestellter Endverschluss  
Terminaison exécutée au moyen de laque «Duralon»

**Nr. 28:** Kabel mit Neoprenmantel (Motorenkabel).  
Zwei Litzen, Baumwollumspinnung, Gummiisolation, Bleilauf, zwei Neoprenmäntel, dazwischen eine Lage Baumwollband. Aussendurchmesser 13 mm.

**Nr. 29:** Bleimantelkabel mit Neoprenhülle.

- Nahtlose Neoprenhülle auf dem Bleimantel.  
Durchmesser über Blei 15,5 mm, über Hülle 28 mm, Dicke der Hülle 6,25 mm.

## 5. Das Verhalten im Dauerversuch

### 5.1 Allgemeines

Vor allem ist festzustellen, dass die gewählte Methode zur Bestimmung der Wasserundurchlässigkeit der Kabelhüllen, wie eingangs erwähnt, ein anschauliches Bild vom Verhalten unter Wasser ergibt.

Der Beurteilung wurde als Stromaustrittsfläche die Aussenfläche des Bleimantels von 1 m Länge zugrunde gelegt. Da Muster mit verschiedenen Manteldurchmessern vorlagen, wurden die gemessenen Widerstände auf eine Austrittsfläche von 1 m<sup>2</sup> umgerechnet. Bei den Mustern mit Kunststoffmantel wurde eine äquivalente Austrittsfläche angenommen.

Aus den gemessenen Widerstandswerten lässt sich nicht auf den spezifischen Widerstand des fraglichen

**Nr. 24:** Câble sous plomb avec peinture.

1. Couche de peinture au «Vinyl-Clad» appliquée au pinceau;
2. Egalisation de la couche de peinture aux endroits où elle est trop mince;
3. Couche supérieure de «Vinyl-Clad».  
Diamètre sur le plomb 34 mm; épaisseur de la couche de peinture 0,147 mm en moyenne.

**Nr. 25:** Câble sous plomb laqué.

- a) Laque isolante «Duralon» appliquée sur la gaine de plomb;
- b) Laque «Duralon» appliquée sur la gaine de plomb pourvue en son milieu d'un manchon de jonction.  
Diamètre sur le plomb 11,5 mm; épaisseur de la couche de laque 0,482 mm en moyenne.

**Nr. 26:** Câble sous plomb entouré de bande «Denso».

1. Enroulement de bande «Denso» de 100 mm de largeur, selon d de la figure 4, recouvrement 40 mm.  
Diamètre sur le plomb 40,5 mm, épaisseur de l'enveloppe environ 1 mm.

**Nr. 27:** Deux échantillons de terminaison de câble en laque «Duralon».

Deux câbles sous plomb (diamètre sur le plomb 11,5 mm) avec enveloppe de polythène ont été pourvus de terminaisons en laque isolante «Duralon» selon la figure 5.

**Nr. 28:** Câble avec gaine de néoprène (câble pour moteurs).

Deux tresses conductrices, guipage de coton, isolation de caoutchouc, tube de plomb, deux gaines de néoprène séparées par une couche de ruban de coton. Diamètre extérieur 13 mm.

**Nr. 29:** Câble sous plomb avec enveloppe de néoprène.

Enveloppe de néoprène sans suture sur le plomb. Diamètre sur le plomb 15,5 mm, sur l'enveloppe 28 mm; épaisseur de l'enveloppe 6,25 mm.

## 5. Le comportement des câbles à l'essai prolongé

### 5.1 Généralités

Il convient de préciser avant tout que la méthode choisie pour déterminer l'imperméabilité des enveloppes de câble donne une image exacte de leur comportement sous l'eau.

On a pris comme base, pour l'aire de sortie du courant, la surface extérieure de la gaine de plomb de 1 m de longueur. Les diamètres des gaines des échantillons étant différents, les résistances mesurées ont été ramenées à la valeur correspondant à 1 m<sup>2</sup> d'aire de sortie du courant. Pour les échantillons avec gaine en matière synthétique, on a admis une aire de sortie équivalente.

Les valeurs de résistance mesurées ne donnent

Materials schliessen, da die Hülle von aussen her bis auf eine unkontrollierbare Tiefe mit Wasser durchtränkt war und bei den meisten Mustern aus verschiedenen Lagen bestand.

An verschiedenen Mustern ergaben sich während der Versuchsdauer beträchtliche Schwankungen des Widerstandes, deren Ursache nur vermutet werden kann. Das Ansteigen des Widerstandes lässt darauf schliessen, dass sich Bestandteile der Kunststoffe verändert haben oder ausgetreten sind. Tatsächlich bildete sich jedes Mal, wenn der Trog mit frischem Wasser gefüllt wurde, von neuem auf der Wasseroberfläche eine schleimige, ölig glänzende Haut, die, zusammengeschoben, weiss aussah, und abgeschöpft werden konnte. Es lässt sich auch an ein Herauslösen des Klebstoffes der selbstklebenden Wickelbänder denken. Wir kommen bei der Besprechung des Verhaltens einzelner Muster noch darauf zurück.

Das auffällige Absinken des Widerstandes einiger Muster zu gewissen Zeiten hängt offenbar mit der Temperatur zusammen. Aus den Diagrammen ist ersichtlich, dass dieses Absinken, dem ein Wiederanstiegen folgt, sich hauptsächlich in den Monaten Juli und August abspielt. Wie unter 4. 1 erwähnt, wurde die Wassertemperatur vor jeder Messung auf 20°C eingestellt. Der Vorgang dauerte 1 bis 2 Stunden. Es ist möglich, dass während dieser Zeit wohl das Wasser die Messtemperatur angenommen hatte, die Kabelmuster aber noch auf einer der heissen Jahreszeit entsprechenden Temperatur von bis zu 27°C beharr-

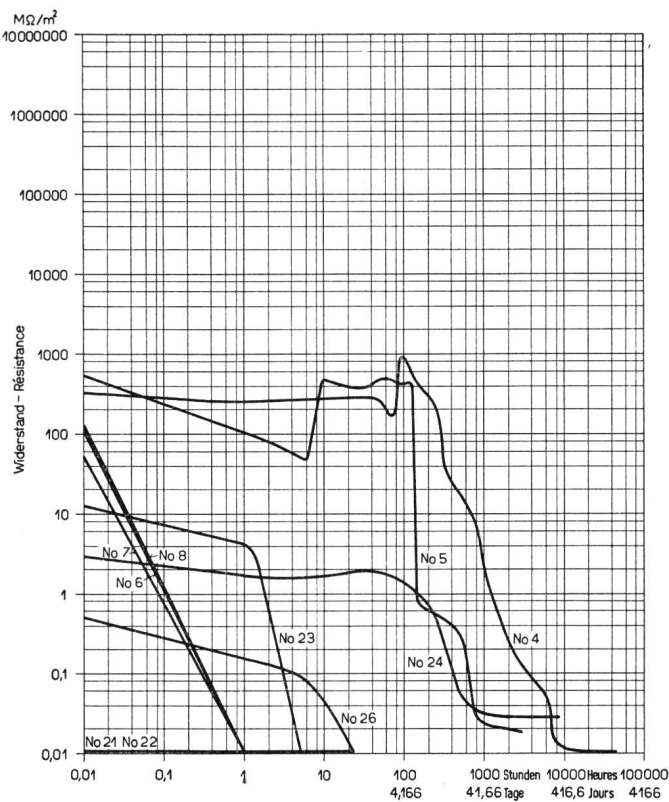


Fig. 6. Verlauf des Isolationswiderstandes im Dauerversuch  
Allure de la résistance d'isolement pendant l'essai prolongé

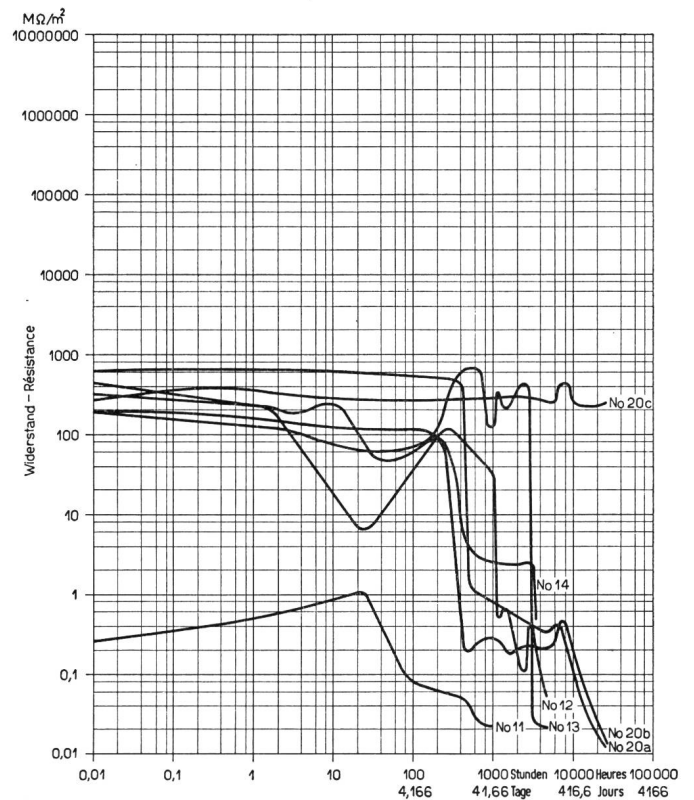


Fig. 7. Verlauf des Isolationswiderstandes im Dauerversuch  
Allure de la résistance d'isolement pendant l'essai prolongé

pas d'indications quant à la résistance spécifique du matériel en question, l'enveloppe étant, depuis l'extérieur, imprégnée d'eau jusqu'à une profondeur incontrôlable et, dans la plupart des échantillons, composée de plusieurs couches.

Des variations considérables de la résistance se sont produites sur plusieurs échantillons; leur cause ne peut être que supposée. L'accroissement de la résistance permet de conclure que certaines parties des matières synthétiques se sont modifiées ou ont disparu. Effectivement, chaque fois que le bassin était rempli d'eau fraîche, il se formait à la surface de l'eau une pellicule glaireuse, huileuse, brillante qui, repliée, présentait un aspect blanchâtre et pouvait être retirée du bassin. On peut aussi penser à la désagrégation de la matière collante des rubans autocollants. Nous en reparlerons en discutant le comportement de certains échantillons.

La chute considérable de la résistance de quelques échantillons à certaines époques dépend probablement de la température. Les diagrammes montrent que cette chute, suivie d'un accroissement, se produit surtout dans les mois de juillet et d'août. Avant chaque mesure, la température de l'eau était amenée à 20° C. Le procédé durait 1 ou 2 heures. Il est possible que pendant ce temps l'eau ait effectivement eu la température requise pour la mesure, mais que les câbles se soient maintenus à une température correspondant à la saison et pouvant atteindre 27° C. Quelques échantillons n'accusaient cependant pas de variations. Les variations n'influen-

ten. Einige Muster machten zwar die Schwankungen nicht mit. Auf das Endresultat hatten die Schwankungen allerdings keinen Einfluss.

### 5.2 Die einzelnen Muster

Der Verlauf des Widerstandes während des Dauer-versuches ist in den Figuren 6 bis 9 dargestellt. Da für alle Muster die gleichen Maßstäbe für Zeit und Widerstand gewählt wurden, können die Diagramme direkt miteinander verglichen werden.

Bei der Beurteilung ist daran zu denken, dass sämtliche Hüllen im trockenen Zustande gut bis sehr gut isolieren. Ein Absinken des Widerstandes auf ganz kleine Werte bedeutet also, dass das Wasser durch die Hülle gedrungen ist und den Mantel an einzelnen Punkten oder auf grösseren Flächen benetzt.

Auf Grund der Messresultate kann man die untersuchten Hüllen in fünf Gruppen einteilen:

- A. Hüllen, deren Widerstand in kurzer Zeit auf kleinste Werte oder auf Null absinkt, die also das Wasser sehr bald durchlassen.
- B. Hüllen, die das Wasser etwas länger, aber immerhin ungenügend abhalten.
- C. Hüllen, die keinen grossen Widerstand ergeben, diesen aber längere Zeit bewahren und vielleicht noch verbesserungsfähig sind.
- D. Hüllen, deren Widerstand anfänglich nicht sehr hoch ist, aber mit der Zeit steigt.

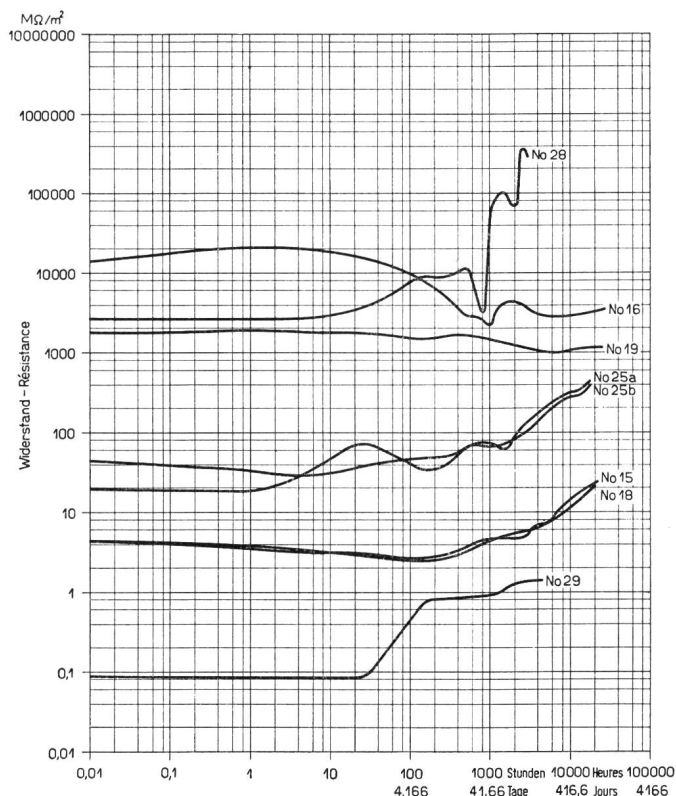


Fig. 8. Verlauf des Isolationswiderstandes im Dauerversuch  
Allure de la résistance d'isolement pendant l'essai prolongé

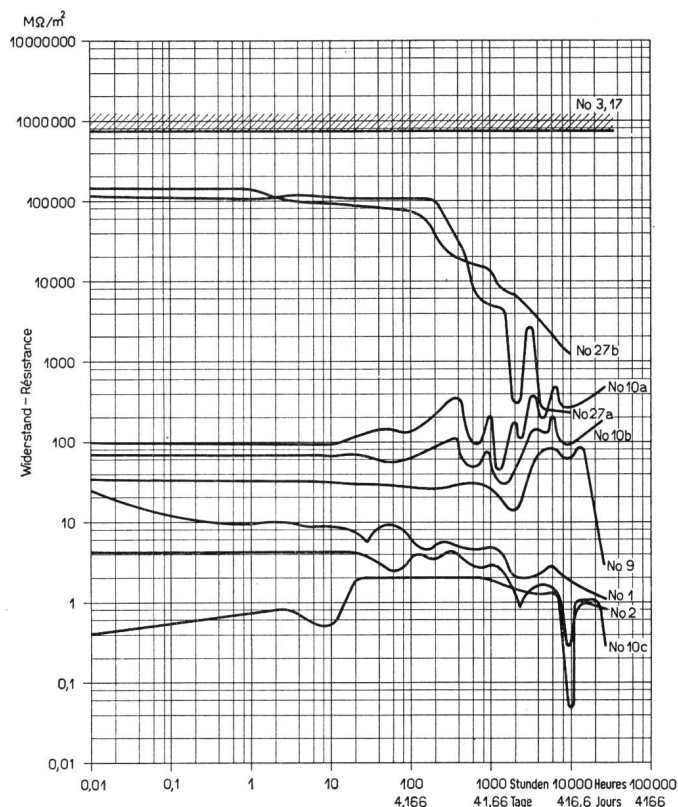


Fig. 9. Verlauf des Isolationswiderstandes im Dauerversuch  
Allure de la résistance d'isolement pendant l'essai prolongé

cèrent du reste pas le résultat final (voir fig. 6, 7, 8 et 9).

### 5.2 Les divers échantillons

L'allure de la résistance pendant l'essai prolongé est représentée aux figures 6 à 9. Comme on a pris pour tous les échantillons les mêmes échelles pour le temps et la résistance, les diagrammes peuvent être comparés directement entre eux.

En appréciant les résultats, il faut tenir compte du fait qu'à l'état sec toutes les enveloppes ont un bon ou très bon isolement. La chute de la résistance jusqu'à des valeurs très faibles prouve que l'eau a pénétré dans l'enveloppe et qu'elle a mouillé la gaine en certains points ou sur de grandes surfaces.

D'après les résultats des mesures, on peut répartir en cinq groupes les enveloppes examinées:

- A. Enveloppes dont la résistance tombe rapidement à de très faibles valeurs ou à zéro, qui laissent donc passer l'eau au bout de peu de temps;
- B. Enveloppes qui retiennent l'eau un peu plus longtemps, mais toujours insuffisamment;
- C. Enveloppes qui n'accusent pas une haute résistance, mais qui la conservent longtemps et peuvent peut-être être améliorées;
- D. Enveloppes dont la résistance n'est pas très élevée au début, mais croît avec le temps;
- E. Enveloppes dont la résistance, élevée dès le début, ne varie pas avec le temps.

*Groupe A.* Appartiennent à ce groupe les échantillons N° 4, avec enveloppe «Sandwich», N° 5 avec enveloppe de *ruban* de polythène (fig. 6), Nos 6, 7



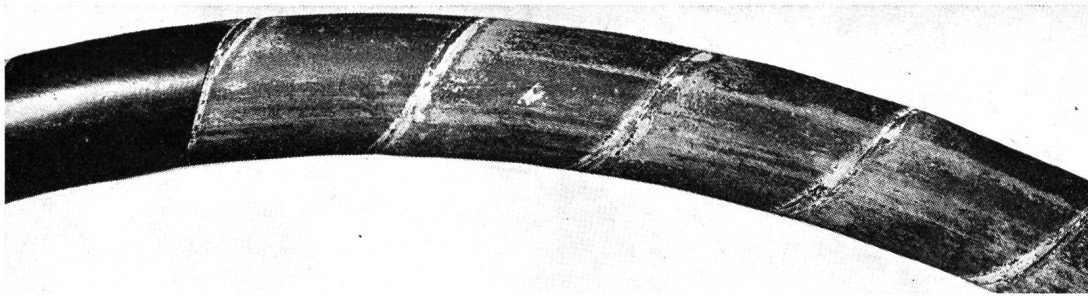


Fig. 10. Zustand des Bleimantels nach dem Dauerversuch am Muster Nr. 13, «Scotchband»  
Etat de la gaine de plomb après l'essai prolongé de l'échantillon N° 13, ruban «Scotch»

E. Hüllen, deren – von Anfang an – hoher Widerstand sich mit der Zeit nicht ändert.

*Gruppe A.* Dazu gehören die Muster Nr. 4, mit «Sandwich»-Hülle; Nr. 5, mit Polythen-Band-Hülle (Fig. 6); Nr. 6, 7 und 8, nach Vorschrift TTV bewickelt und asphaltiert (Fig. 6); Nr. 11, mit «Scotchband 21» bewickelt (Fig. 7); Nr. 21, 22 und 23, mit einer Hülle aus Bitumen und Glasfaser-«Armierung» (Fig. 6); Nr. 24, mit Farbanstrich (Fig. 6) und Nr. 26, mit einer Bewicklung aus «Denso»-Binden (Fig. 6).

Bei der «Sandwich»-Hülle wurde der Bleimantel innerhalb 2 1/2 Jahren benetzt.

An der Hülle, die durch Bewicklung mit Polythenband hergestellt wurde, waren offenbar die Fugen trotz Verschweissung nicht dicht, da das Polythen sonst ausgezeichnet wasserdicht ist.

Das Resultat, das mit den Mustern 6, 7 und 8 erhalten wurde, bestätigt die langjährige Erfahrung, dass Umhüllungen der fraglichen Art, obschon pflichtgemäss asphaltiert, nicht als eigentlichen Korrosionsschutz angesprochen werden können.

Das Versagen der Muster 21, 22 und 23 liess sich voraussehen. Die Bitumenschicht war zu dünn und

et 8 avec enveloppe enroulée et asphaltée suivant les prescriptions des PTT (fig. 6), N° 11 avec ruban «Scotch 21» enroulé (fig. 7), N°s 21, 22 et 23 avec enveloppe de bitume et «armure» de fibres de verre (fig. 6), N° 24 avec couche de peinture (fig. 6) et N° 26 avec enroulement de bande «Denso» (fig. 6).

Avec l'enveloppe «Sandwich», la gaine de plomb a été mouillée au bout de 2 1/2 ans.

Les joints de l'enveloppe constituée d'un ruban de polythène n'étaient probablement pas étanches malgré le soudage, car le polythène est généralement tout à fait imperméable.

Le résultat obtenu avec les enveloppes 6, 7 et 8 confirme ce qu'on sait depuis longtemps, soit que les enveloppes de ce genre, même si elles sont asphaltées selon les prescriptions, ne protègent pas véritablement les câbles contre la corrosion.

Le résultat négatif enregistré avec les échantillons 21, 22 et 23 pouvait être prévu. La couche de bitume était trop mince et les enroulements, surtout ceux des échantillons 21 et 22, n'étaient pas exécutés soigneusement.



Fig. 11. Zustand des Bleimantels nach dem Dauerversuch am Muster Nr. 10a, Schrumpfschlauch  
Etat de la gaine de plomb après l'essai prolongé de l'échantillon N° 10a, enveloppe se resserrant sur la gaine



die Wicklungen waren, namentlich an den Mustern 21 und 22, wenig sorgfältig hergestellt.

Das Verhalten des Musters 24 lässt erkennen, dass sich mit einem geeigneten Farbanstrich auch am Kabel ein Korrosionsschutz herstellen lässt, wie es ja auch für andere Objekte üblich ist. (Siehe auch Gruppe D 25a und 25b.) Am untersuchten Muster war die Farbschicht sicher zu dünn.

Auch bei der «Denso»-Binden-Hülle liess sich ein Versagen voraussehen. Die Binden bestehen aus Baumwollbändern, die mit einer vaselinähnlichen Masse getränkt sind. Solche Bänder können eine Diffusion des Wassers nicht auf längere Zeit verhindern.

*Gruppe B.* Sie umfasst die Muster Nr. 12, 13 und 14, mit Bewicklungen aus «Scotch-22»-Bändern (Fig. 7); Nr. 20a und 20b, mit Bewicklungen aus «Coroplast»-Isolierbändern (Fig. 7).

Die Benetzung des Bleimantels erfolgte bei allen Mustern innerhalb  $2\frac{1}{2}$  Jahren. Es scheint, dass es schwierig ist, mit wenigen Lagen einer von Hand aufgebrauchten Bandwicklung, auch mit Selbstklebebändern, auf genügend lange Zeit das Wasser vom Bleimantel fernzuhalten\*.

*Gruppe C.* Hierher gehören die Muster Nr. 1 und 2, mit «Polymant»-Hüllen (Fig. 9); Nr. 9, mit zweilagiger, maschinengewickelter Hülle aus «Scotch-22»-Band (Fig. 9); Nr. 10c, mit Schrumpfschlauchhülle (Fig. 9); Nr. 16, mit fugenloser «Plastosyn»-Hülle (Fig. 8); Nr. 18, mit fugenloser PVC-Hülle (Fig. 8); Nr. 19, mit PVC-Mantel (Fig. 8) und Nr. 20c, mit der dreifachen «Coroplast»-Bewicklung (Fig. 7).

Diese Gruppe zeigt, dass wahrscheinlich wirksame

\* Die Herstellung von dichten Umhüllungen kürzerer Länge von Hand durch Bandwicklung oder Farbanstrich hat ihre Bedeutung bei Kabelarbeiten im Terrain.

Le comportement de l'échantillon 24 démontre qu'une couche de peinture appropriée appliquée sur le câble peut le protéger contre la corrosion, comme c'est le cas pour d'autres objets. (Voir aussi groupe D 25a et 25b.) Sur l'échantillon examiné, la couche de peinture était certainement trop mince.

On pouvait également prévoir un insuccès avec l'enveloppe de bande «Denso». La bande est faite de rubans de coton imprégnés d'une matière semblable à la vaseline. Ces rubans ne peuvent à la longue empêcher la diffusion de l'eau.

*Gruppe B.* Ce groupe comprend les échantillons Nos 12, 13 et 14 enveloppés de rubans «Scotch 22» (fig. 7), les échantillons 20a et 20b enveloppés de rubans isolants «Coroplast» (fig. 7).

La gaine de plomb de tous les échantillons a été mouillée au cours d'une période de  $2\frac{1}{2}$  ans. Il apparaît difficile, avec quelques couches de ruban enroulé à la main, même s'il s'agit de ruban autocollant, d'empêcher pendant un temps suffisant la pénétration de l'eau\*.

*Gruppe C.* Nous trouvons dans ce groupe les Nos 1 et 2 avec enveloppe de «Polymant» (fig. 9), le N° 9 avec enveloppe de deux couches de ruban «Scotch» enroulé à la machine (fig. 9), le N° 10c avec enveloppe de matière plastique se resserrant sur la gaine (fig. 9), le N° 16 avec enveloppe de «plastosyne» sans joints (fig. 8), le N° 18 avec enveloppe de PVC sans joints (fig. 8), le N° 19 avec gaine de PVC (fig. 8) et le N° 20c avec triple enroulement de «Coroplast» (fig. 7).

Les résultats obtenus avec ce groupe montrent qu'on pourrait probablement, au moyen d'enroulements de ruban autocollant, constituer des enveloppes

\* La confection à la main d'enveloppes étanches de faible longueur au moyen de ruban ou d'une couche de peinture présente une certaine importance en cas de travaux aux câbles dans le terrain.

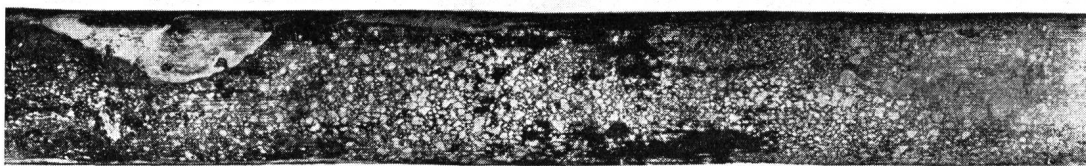


Fig. 12. Zustand des Bleimantels nach dem Dauerversuch am Muster Nr. 10b, Schrumpfschlauch  
Etat de la gaine de plomb après l'essai prolongé de l'échantillon N° 10b, enveloppe se resserrant sur la gaine

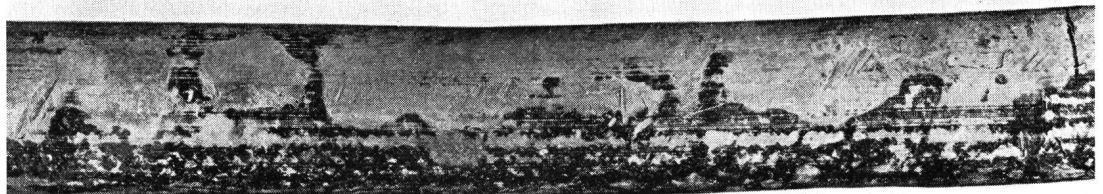


Fig. 13. Zustand des Bleimantels nach dem Dauerversuch am Muster Nr. 10c, Schrumpfschlauch  
Etat de la gaine de plomb après l'essai prolongé de l'échantillon N° 10c, enveloppe se resserrant sur la gaine

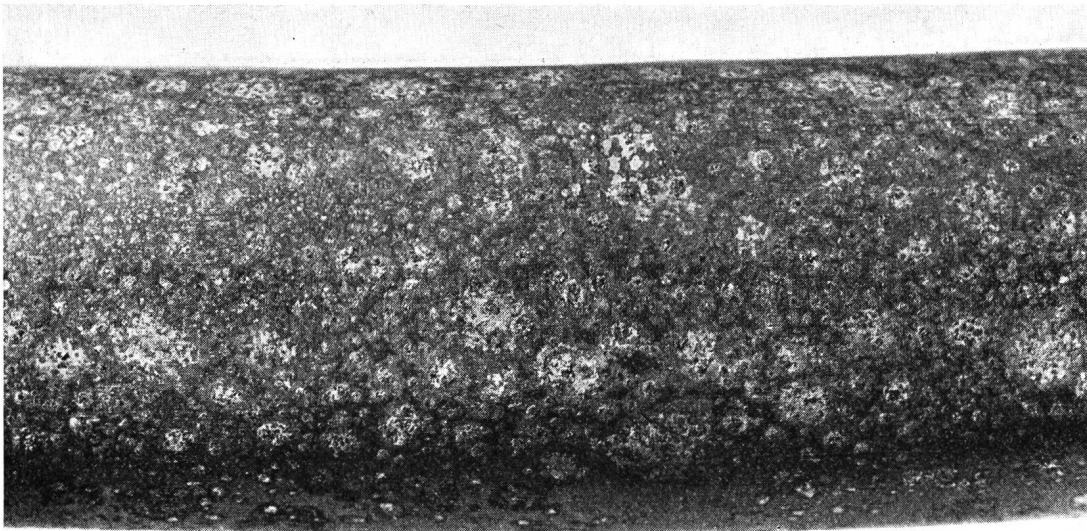


Fig. 14. Zustand des Bleimantels nach dem Dauerversuch am Muster Nr. 24, «Vinyl-Clad»  
Etat de la gaine de plomb après l'essai prolongé de l'échantillon N° 24, «Vinyl-Clad»

Korrosionsschutzhüllen durch eine Bewicklung mit Klebeband hergestellt werden können, wenn die Zahl der Lagen gross genug gewählt wird, dass aber doch *fugenlose Hüllen* grössere Gewähr für dauernden Schutz bieten.

*Gruppe D.* Sie enthält nur noch Muster mit fugenlosen Hüllen, nämlich die Nr. 10a, 10b und 10c, mit Schrumpfschlauch (Fig. 9); Nr. 15 und 16, mit Hüllen aus PVC-«Plastosyn» (Fig. 8); Nr. 18 und 19, mit Hülle bzw. Mantel aus PVC Reinshagen (Fig. 8); Nr. 25a und b, mit «Duralon»-Lackauftrag (Fig. 8) und Nr. 28 und 29, mit Neoprenmantel bzw. -hülle.

Auffällig ist bei dieser Gruppe, dass bei sechs Mustern von deren neun der Widerstand während des Dauerversuches beträchtlich anstieg. Der Anstieg setzte bei Muster Nr. 25a schon nach einer Stunde ein, bei den andern nach 10, 25 Stunden oder schliesslich nach einigen Tagen oder Wochen. Die Erscheinung,

de protection efficaces contre la corrosion si le nombre des couches était assez élevé, mais que des *enveloppes sans joints offrent de meilleures garanties* de protection durable.

*Groupe D.* Ce groupe ne comprend que les échantillons pourvus d'enveloppes sans joints, soit les N°s 10a, 10b et 10c en matière plastique se resserrant sur la gaine (fig. 9), les N°s 15 et 16 avec enveloppes de «plastosyne»-PVC (fig. 8), les N°s 18 et 19 avec enveloppe ou gaine de «PVC Reinshagen» (fig. 8), les N°s 25a et 25b avec application de laque «Duralon» (fig. 8), ainsi que les N°s 28 et 29 avec gaine ou enveloppe de néoprène.

Il est frappant de constater que, des neuf échantillons que compte ce groupe, six ont vu leur résistance augmenter considérablement au cours de l'essai prolongé. La résistance de l'échantillon N° 25a augmenta déjà au bout d'une heure, celle des autres échantillons après 10 à 25 heures ou même après

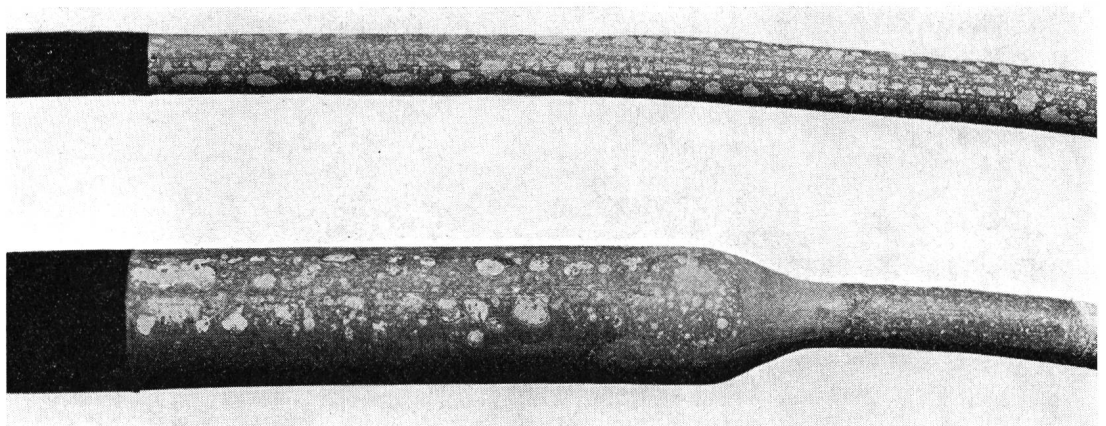


Fig. 15. Zustand der Bleimäntel nach dem Dauerversuch an den Mustern Nr. 25a und 25b, «Duralon»  
Etat des gaines de plomb après l'essai prolongé des échantillons N°s 25a et 25b, «Duralon»

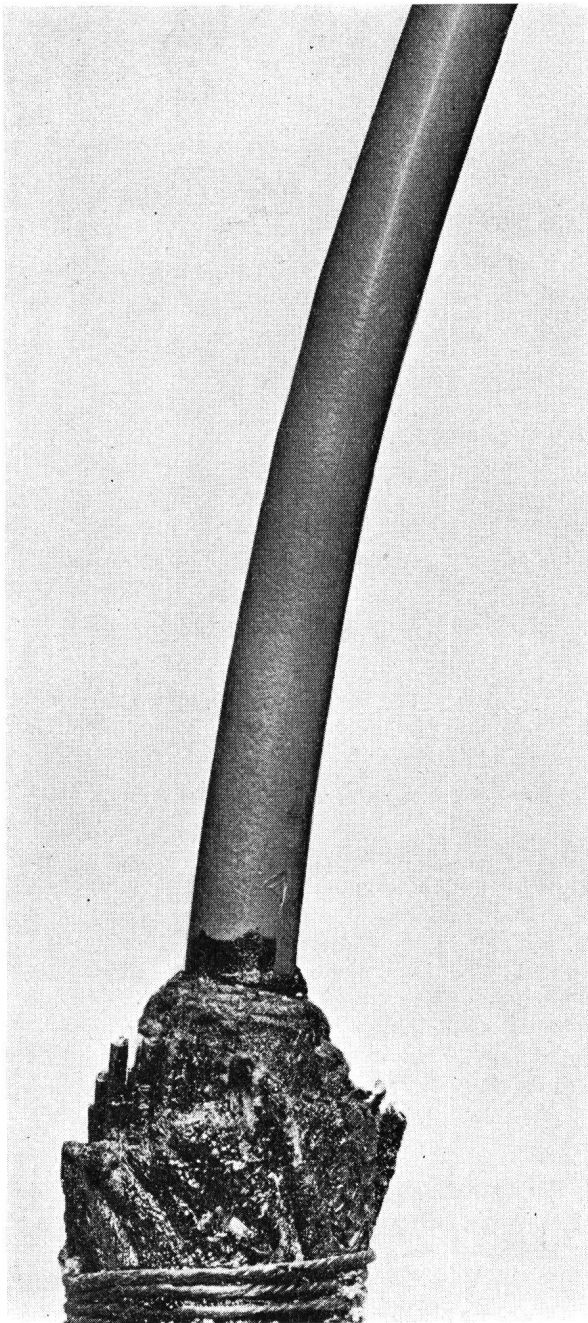


Fig. 16. Zustand des Bleimantels nach dem Dauerversuch am Muster Nr. 1, «Polyment»  
Etat de la gaine de plomb après l'essai prolongé de l'échantillon N° 1, «Polyment»

dass der Widerstand gewisser Kunststoff-Isoliermaterialien nach einem Aufenthalt im Wasser oder in feuchter Luft besser ist als im fabrikneuen, trockenen Zustande, ist bekannt. Eine Erklärung dafür wurde, soviel dem Verfasser bekannt ist, bisher nicht gegeben.

Ferner ist bei dieser Gruppe bemerkenswert, dass bei Mustern verschiedener Hersteller der Widerstandsanstieg ähnlich, sogar fast identisch verlief. Es betrifft Materialien, die auf der Basis Polyvinylchlorid hergestellt sind, deren Verhalten im Wasser

quelques jours ou semaines. On sait déjà que la résistance de certaines matières isolantes synthétiques est meilleure dans l'eau ou l'air humide que lorsqu'elles sont neuves et à l'état sec. Autant que l'auteur le sache, aucune explication de ce phénomène n'a été donnée jusqu'ici.

Une autre particularité de ce groupe est que la résistance augmente de manière semblable ou presque identique avec les échantillons fournis par plusieurs fabricants. Il s'agit de matières à base de chlorure de polyvinyle (PVC), dont le comportement dans l'eau semble obéir à une certaine loi. Les résul-

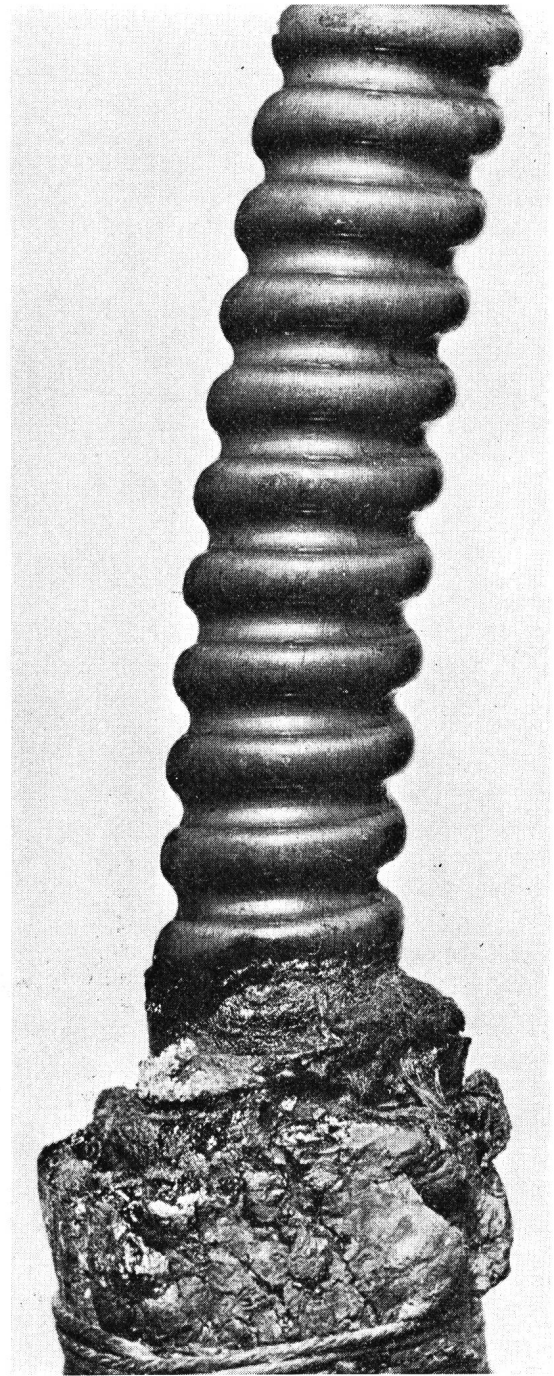


Fig. 17. Zustand des Wellstahlmantels nach dem Dauerversuch am Muster Nr. 2, «Polyment»  
Etat de la gaine d'acier ondulé après l'essai prolongé de l'échantillon N° 2, «Polyment»



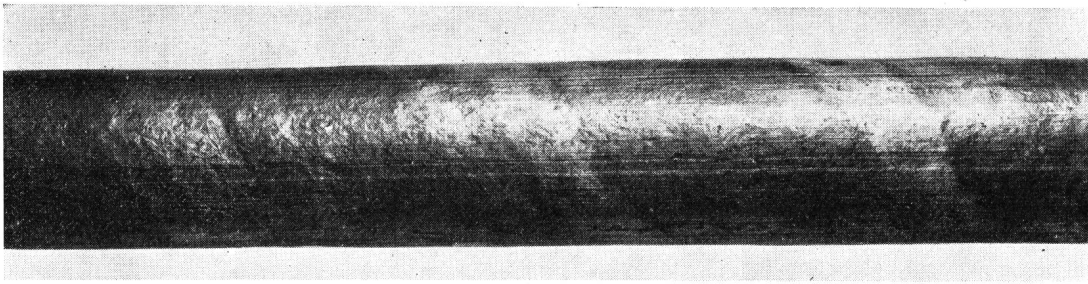


Fig. 18. Zustand des Bleimantels nach dem Dauerversuch am Muster Nr. 4, «Sandwich»  
Etat de la gaine de plomb après l'essai prolongé de l'échantillon N° 4, «Sandwich»

also einer gewissen Gesetzmässigkeit zu folgen scheint. Von welchem Zeitpunkt an der Widerstand stabil bleibt, geht aus den vorliegenden Versuchsergebnissen nicht hervor, da der Anstieg beim Abbruch des Dauerversuchs nach rund zwei Jahren und neun Monaten noch andauerte. Dieses Verhalten bedeutet anscheinend, dass Kabelhüllen aus PVC-Materialien im feuchten Boden mit der Zeit immer wasserundurchlässiger werden, was dem angestrebten Zweck, der Korrosionsverhütung, sehr dienlich wäre.

Endlich ist noch zu bemerken, dass der auffällige Unterschied im Verhalten der beiden Muster 28 und 29 (Fig. 8), mit Neoprenmantel bzw. -hülle, wahrscheinlich darauf zurückzuführen ist, dass am Muster Nr. 29, mit der relativ grossen Hüllendicke, der Vulkanisationsprozess nicht zweckentsprechend geführt wurde, was jedenfalls noch verbessert werden könnte.

*Gruppe E.* Diese Gruppe, die nur die beiden Muster Nr. 3 und Nr. 17 mit nahtlosen Polythenhüllen enthält, stellt gewissermassen einen Sonderfall dar. Der Widerstand hat sich an beiden Mustern, die in verschiedenen Fabriken hergestellt wurden, während der ganzen Versuchsdauer nicht im geringsten verändert (Fig. 9, schraffiertes Gebiet). Er ist so hoch, dass er mit der verwendeten hochempfindlichen Messeinrichtung, auch bei Anwendung einer Messspannung von 220 V nicht genau bestimmt werden konnte\*. Polythen, dessen hohe Wasserundurchlässigkeit

\* Am Prüfling war der zu messende Widerstand höher als die im Diagramm eingetragene Zone, da die für den Stromaustritt massgebenden Flächen nur 0,0345 und 0,066 m<sup>2</sup> betragen, gegen 1 m<sup>2</sup> im Diagramm.

tats des essais ne permettent pas de dire à partir de quel moment la résistance se stabilise, car l'accroissement se poursuivait encore lorsque, au bout de deux ans et neuf mois, l'essai fut interrompu. Ce comportement semble indiquer que les enveloppes en matières à base de PVC deviennent, dans le sol humide, toujours plus imperméables à l'eau, propriété favorable au but recherché, la protection contre la corrosion.

Faisons encore observer, pour finir, que la différence marquée qui existe entre les comportements des deux échantillons 28 et 29 (fig. 8) avec gaine, respectivement enveloppe de néoprène, est due au fait que le processus de vulcanisation de l'échantillon 29, à enveloppe relativement épaisse, n'a pas été conduit rationnellement et qu'une amélioration serait possible.

*Groupe E.* Ce groupe, qui ne comprend que les N°s 3 et 17 avec enveloppe de polythène sans suture, représente en quelque sorte un cas spécial. La résistance des deux échantillons, provenant de fabriques différentes, n'a absolument pas varié pendant toute la durée de l'essai (fig. 9, partie hachurée). Elle est si élevée qu'on n'a pu la déterminer exactement avec l'appareil de mesure à haute sensibilité employé, même en appliquant une tension de 220 volts\*. Le polythène, dont on connaît l'imperméabilité, serait sous ce rapport une matière de protection idéale contre la corrosion.

\* Sur l'échantillon à l'essai, la résistance à mesurer était plus élevée que celle qui est portée sur le diagramme, car les aires de sortie du courant n'étaient que 0,0345 et 0,066 m<sup>2</sup>, au lieu de 1 m<sup>2</sup> sur le diagramme.

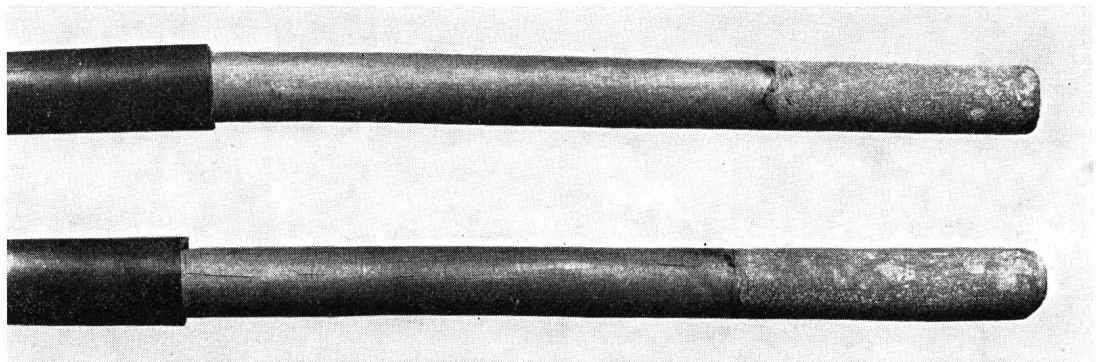


Fig. 19. Zustand der Bleimäntel nach dem Dauerversuch an den Mustern Nr. 3 und 17, Polythene  
Etat des gaines de plomb après l'essai prolongé des échantillons N° 3 et 17, polythène

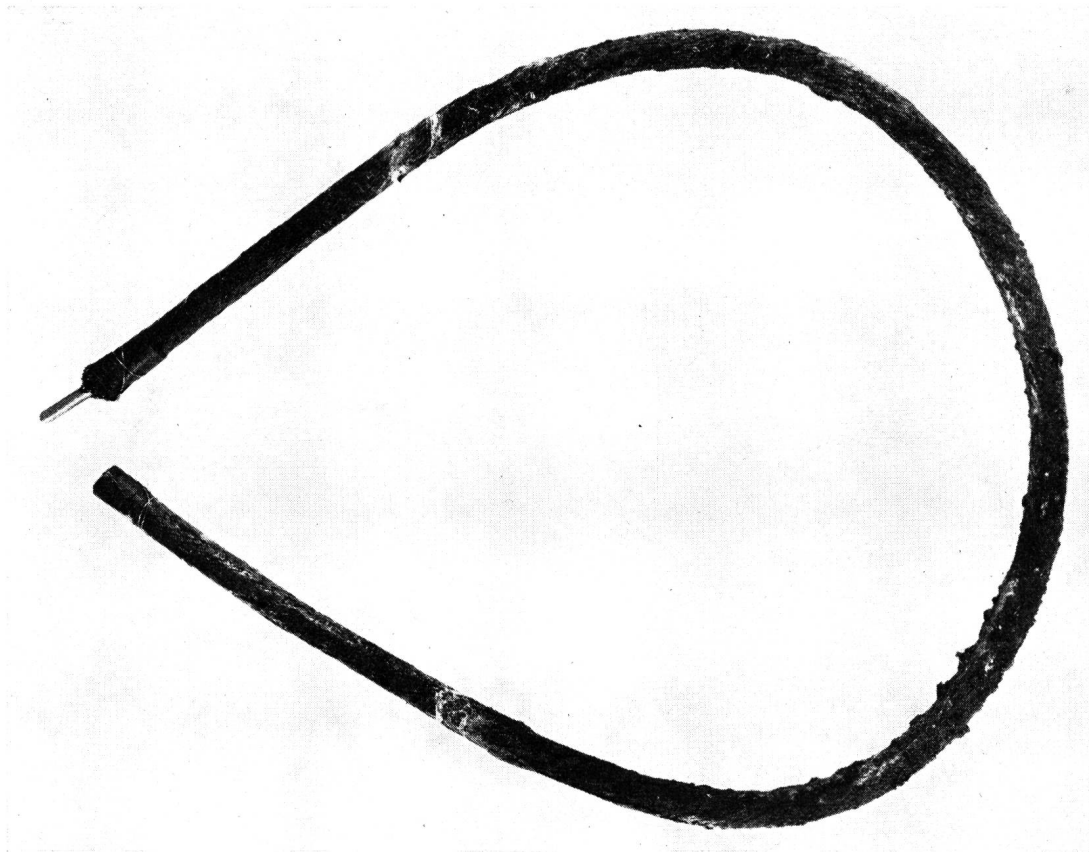


Fig. 20. Zustand der Hülle nach dem Dauerversuch am Muster Nr. 1, «Polyment»  
Etat de l'enveloppe après l'essai prolongé de l'échantillon N° 1, «Polyment»

keit bekannt ist, wäre also in dieser Hinsicht ein ideales Material für Korrosionsschutzhüllen.

### 6. Einfluss der Hülle auf den Bleimantel

Die immer noch nicht endgültig gelöste «Phenolfrage» zwingt zu der Forderung: Eine brauchbare Kabelhülle muss nicht nur wasserdicht sein, sondern darf nicht selber den Bleimantel angreifen. Diese Bedingung ist leider bei einigen Mustern nicht erfüllt, deren Wasserundurchlässigkeit eine Verwendung als Kabelhülle nicht ausschliesse. Es betrifft alle Hüllen aus *Polyvinylchlorid*. Es sei hier dahingestellt, ob der Angriff vom Material selber, von Weichmachern, Stabilisatoren, Farb- oder Klebstoffen verursacht wird, sicher ist, dass die Bleimäntel angegriffen wurden, wie die Bilder 10...15 zeigen.

An den Mustern 10a, 10b, 10c und 13 geht der Angriff nicht tief, bei 24, 25a und 25b etwas tiefer. Das Korrosionsprodukt bestand aus weissem und rotem oder gelbem Pulver. Die Analyse (am Muster Nr. 13) ergab vorwiegend gelbes neben rotem Bleioxyd  $PbO$  und normales Bleikarbonat  $PbCO_3$  neben basischem Karbonat  $2 PbCO_3 \cdot Pb(OH)_2$ .

Am Muster Nr. 16, «Plastosyn rot» (nicht abgebildet), lag das Korrosionsprodukt in Form von hohlen Kügelchen (= Blasen) vor. Die Zersetzung erfolgte also unter Gasentwicklung. Man kann diese Erscheinung nicht selten auch an Bleimänteln beobachten,

### 6. Influence de l'enveloppe sur la gaine de plomb

La question non encore définitivement résolue de la corrosion sous l'effet du phénol nous conduit à formuler l'exigence suivante: Une enveloppe de câble utilisable ne doit pas seulement être imperméable à l'eau, mais ne pas attaquer elle-même le plomb. Cette condition n'est malheureusement pas remplie pour certains échantillons dont l'imperméabilité permettrait de les utiliser comme enveloppes protectrices contre la corrosion. Il s'agit de toutes les enveloppes en *chlorure de polyvinyle*. Que l'attaque provienne du matériel lui-même, de matières employées pour le ramollir, de stabilisateurs, de matières colorantes ou collantes, une chose est certaine: les gaines de plomb ont été attaquées, ce que montrent les images. (Voir fig. 10, fig. 11, fig. 12, fig. 13, fig. 14, fig. 15.)

L'attaque n'est pas profonde sur les échantillons 10a, 10b, 10c et 13; elle l'est davantage sur les N°s 24, 25a et 25b. Le produit de la corrosion est une poudre blanche et rouge ou encore jaune. L'analyse (sur l'échantillon N° 13) révéla la présence prédominante d'oxyde de plomb  $PbO$  jaune et rouge, de carbonate de plomb normal  $PbCO_3$  et de carbonate basique  $2 PbCO_3 \cdot Pb(OH)_2$ .

Sur l'échantillon N° 16, «Plastosyne» rouge (non reproduit sur la figure), le produit de la corrosion se présentait sous la forme de sphères creuses (bulles).



die im Boden der Korrosion anheimfielen. Das gleiche fand sich auch am Muster Nr. 18. Am Muster Nr. 15 war der Angriff nur bis zu schwarzen Flecken gediehen.

Es sei hier noch eine zufällige Beobachtung erwähnt. In einem Schranke waren Ringe von Kabeln mit blanken Bleimänteln unter und über Kabelstücken mit PVC-Hüllen aufbewahrt. Nach einiger Zeit hatten die blanken Bleimäntel einen weissen Belag. Der Schrank war mit den Ausdünstungen des PVC-Materials erfüllt.

Schliesslich kann noch daran erinnert werden, dass der Bleimantel eines Kabels, das durch atmosphärische Entladungen gefährdet und deshalb mit einer Isolierhülle aus PVC-Material versehen worden war, sich nach zwei Jahren ebenfalls als angegriffen erwies.

Gegen Angriffe der PVC-Hüllen wären die Bleimäntel leicht zu schützen auf die Art, wie Kupferdrähte gegen die schweflige Säure der vulkanisierten Gummiisolation geschützt werden, nämlich durch Bewickeln mit Baumwollgarnen oder -bändern oder noch besser mit Cellophan- oder gar Polythenbändern vor dem Aufbringen der PVC-Hülle.

Die photographischen Aufnahmen der Figuren 16, 17, 18 und 19 zeigen die völlig intakten Bleimäntel der Muster mit «Polymant»-, «Sandwich»- und Polythenhüllen. Die erste Lage der «Sandwich»-Hülle hat sich allerdings auf dem Bleimantel abgezeichnet. Es ist keine Anfrassung des Bleies, sondern eine Schwarzfärbung, wie man sie häufig trifft an Kabeln mit Papierband/Jute-Hülle, die im Boden verlegt waren. Sie ist eine Vorstufe der Korrosion und bedeutet,

La désagrégation était donc accompagnée de dégagement de gaz. On observe souvent ce phénomène sur des gaines de plomb attaquées dans le sol par la corrosion. L'échantillon N° 18 se trouve dans le même cas. Sur l'échantillon N° 15, l'attaque n'avait produit que des taches noires.

Qu'on nous permette de mentionner ici une constatation faite par hasard. Dans une armoire se trouvaient des câbles à gaine de plomb nue enroulés en couronne et, en dessus et en dessous, des bouts de câble à enveloppe de PVC. Après un certain temps, les gaines de plomb nues étaient revêtues d'un dépôt blanchâtre. L'armoire elle-même était remplie d'émanations de PVC.

Signalons encore que la gaine de plomb d'un câble exposé aux décharges atmosphériques et pourvu pour cette raison d'une enveloppe isolante en PVC était également attaquée au bout de deux ans.

On pourrait facilement protéger les gaines de plomb contre les attaques des enveloppes en PVC de la même façon qu'on protège les fils de cuivre contre l'acide sulfureux que dégage l'isolant en caoutchouc vulcanisé, c'est-à-dire en enroulant autour de la gaine, avant d'appliquer l'enveloppe en PVC, des fils ou des rubans de coton ou mieux encore des rubans de cellophane ou même de polythène.

Les photographies reproduites aux figures 16, 17, 18 et 19 montrent les gaines de plomb absolument intactes des échantillons pourvus d'enveloppes de «Polymant», «Sandwich» ou de polythène. La première couche de l'enveloppe «Sandwich» a cependant

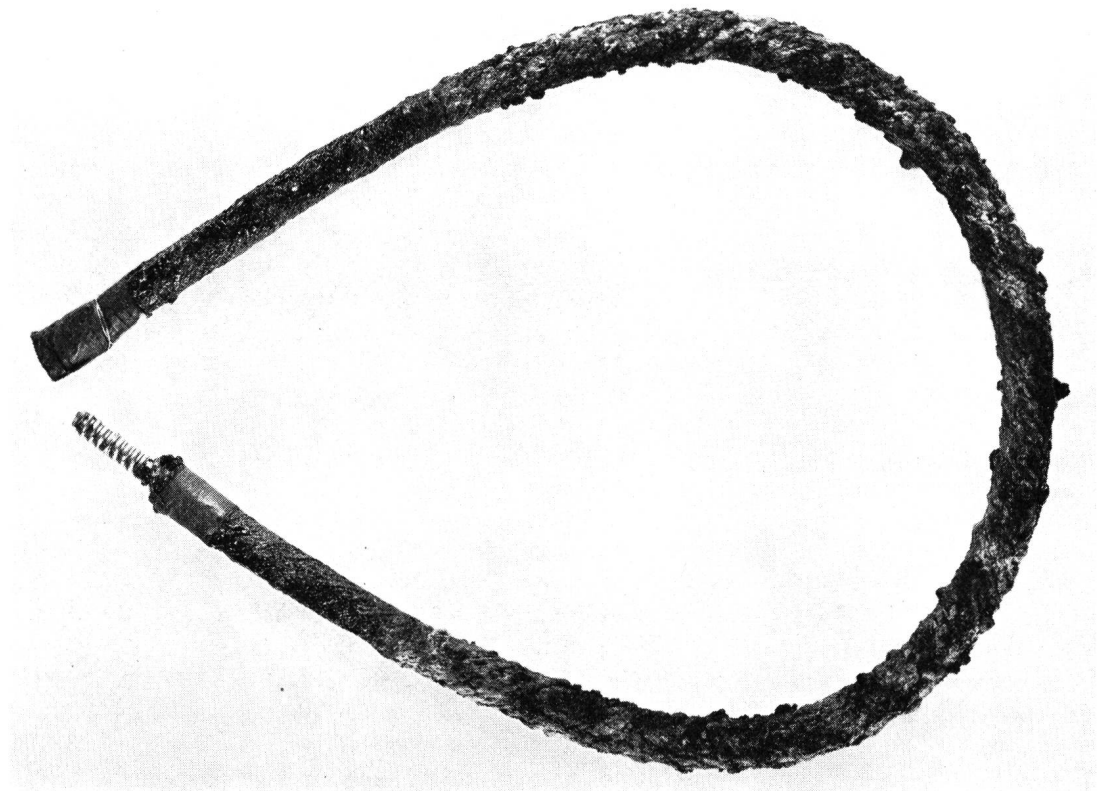


Fig. 21. Zustand der Hülle nach dem Dauerversuch am Muster Nr. 2, «Polymant»  
Etat de l'enveloppe après l'essai prolongé de l'échantillon N° 2, «Polymant»

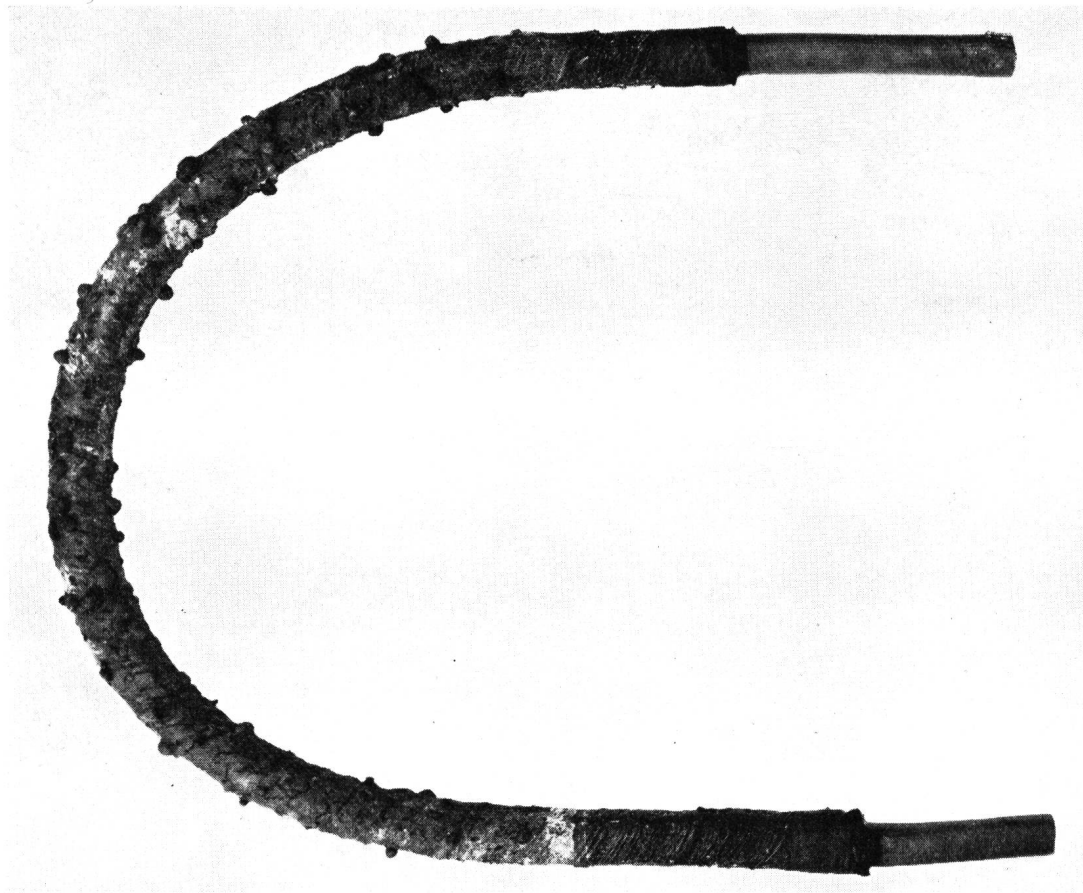


Fig. 22. Zustand der Hülle nach dem Dauerversuch am Muster Nr. 4, «Sandwich»  
Etat de l'enveloppe après l'essai prolongé de l'échantillon N° 4, «Sandwich»

dass eine Korrosion eingesetzt hätte, wenn die dazu nötigen Bedingungen – aggressives Milieu und Sauerstoffzutritt – erfüllt gewesen wären.

### 7. Dauerhaftigkeit der Hüllen

Eine selbstverständliche Anforderung an eine Kabelhülle ist die eigene Widerstandsfähigkeit gegen Zerfall im feuchten Boden. Von den Hüllen, die aus Jute, Hanf oder Baumwolle hergestellt werden, ist bekannt, dass sie trotz der Imprägnierung im Boden bald verrotten. (Kokosfasern sollen widerstandsfähiger sein, sind aber anscheinend zu teuer.) Über die Art wie sich die untersuchten Muster im Dauerwasserbad verhielten, geben die Bilder 20...24 einigen Aufschluss.

Die Figuren 20, 21 und 22 sind Aufnahmen der Muster mit «Polymant»- und «Sandwich»-Hüllen, Figur 23 ist eine vergrößerte Aufnahme von Figur 22. Man sieht die Stellen, bis zu denen die Kabelstücke eingetaucht waren. Die Aufnahmen wurden gemacht, nachdem die Muster einige Tage in Zimmerluft getrockneten.

Auf der Jutebewicklung haben sich aus dem Imprägniermaterial Blasen gebildet, die mit Wasser gefüllt waren. Eine solche «Hydrophilie» wird kaum als gute Eigenschaft anzusehen sein, obschon aus der

marqué le plomb. Il ne s'agit pas d'attaque du plomb, mais d'une coloration en noir telle qu'on la rencontre souvent sur les câbles à enveloppe de ruban de papier et de jute qui ont séjourné dans le sol. C'est un signe précurseur de la corrosion, qui signifie que la corrosion aurait commencé si les conditions nécessaires – milieu agressif et présence d'oxygène – s'étaient trouvées remplies.

### 7. Durabilité des enveloppes

L'une des premières exigences imposées aux enveloppes de câble est qu'elles résistent elles-mêmes à l'influence de l'humidité du sol. On sait que les enveloppes de jute, de chanvre ou de coton se désagrègent assez rapidement dans le sol malgré l'imprégnation. (Les fibres de coco sont probablement plus résistantes, mais aussi plus chères.) Les quelques figures reproduites ici montrent de quelle manière les échantillons essayés se sont comportés dans le bain aqueux prolongé (voir fig. 20, fig. 21, fig. 22, fig. 23, fig. 24).

Les figures 20, 21 et 22 sont des photographies des échantillons avec enveloppes de «Polymant» et «Sandwich», la figure 23 est un agrandissement de la figure 22. Les endroits jusqu'où les bouts de câble étaient plongés y sont bien marqués. Les photographies ont été prises après que les échantillons eurent séché quelques jours à l'air du local.

La matière d'imprégnation du jute a donné nais-

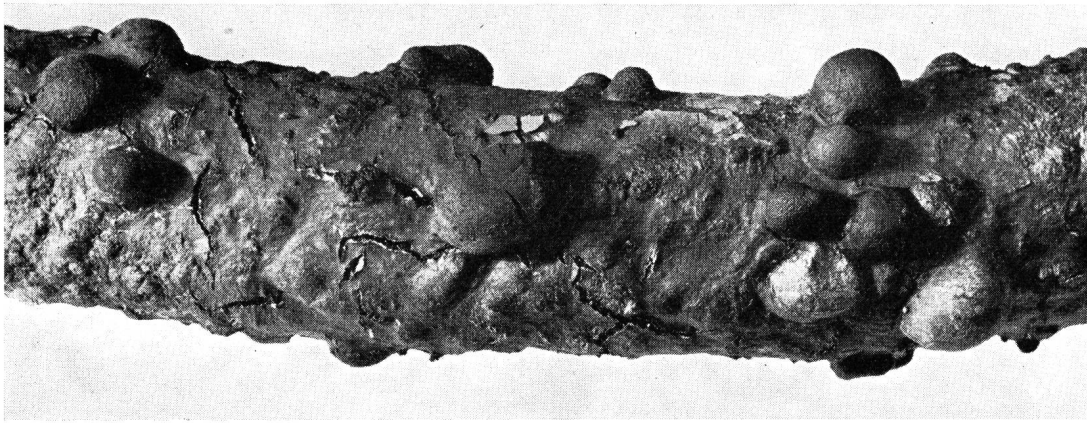


Fig. 23. Zustand der Hülle am Muster Nr. 4, etwas vergrößert  
Etat de l'enveloppe de l'échantillon N° 4, vue légèrement agrandie

Blasenbildung noch kein Einfluss auf die Gesamtwasserdurchlässigkeit abgeleitet werden kann.

Die Figur 24 zeigt den «Vinyl-Clad»-Anstrich nach der Wässerung. Unter den Blasen befanden sich die Korrosionsgrübchen im Bleimantel.

Die weissen und farbigen PVC-Hüllen hatten sich im Wasser verfärbt; an der «Coroplast»-Hülle war der sonst farblose Klebstoff weiss und undurchsichtig geworden. Die Verfärbung war durch die Wasseraufnahme entstanden; sie verschwand mit dem nachherigen Austrocknen. Beim Abwickeln der «Coroplast»-Bänder war die Wasserhaut zwischen den Bändern deutlich zu sehen und zu fühlen.

### Zusammenfassung

Aus dem vorliegenden Ergebnis der Dauerversuche mit Kabelhüllen kann noch kein Universalrezept für eine langfristig wirksame und zugleich preiswürdige Korrosionsschutzhülle abgeleitet werden. Die Anstrengungen der Hersteller zum Abdichten gegen das Eindringen des Wassers führten zu unterschiedlichen Erfolgen. Immerhin können die folgenden Feststellungen als Richtlinien dienen:

sance à des ampoules remplies d'eau. Une telle «hydrophilie» ne peut guère être considérée comme une qualité, bien que la formation d'ampoules ne prouve pas qu'une influence ait été exercée sur l'imperméabilité de l'enveloppe.

La figure 24 montre la couche de peinture au «Vinyl-Clad» après le séjour dans l'eau. Sous les ampoules se trouvaient, sur la gaine de plomb, de petits cratères dus à la corrosion.

La couleur des enveloppes de PVC blanches et colorées a changé dans l'eau; sur l'enveloppe de «Coroplast», la matière collante, ordinairement sans couleur, était devenue blanche et opaque. Le changement de coloration était dû à l'absorption d'eau; il disparut avec le séchage. Avec l'enroulement de rubans de «Coroplast», la pellicule d'eau entre les rubans se voyait et se sentait parfaitement au toucher.

### Conclusion

Les résultats des essais prolongés d'enveloppes de câbles ne donnent pas d'indications définitives quant à la constitution d'une enveloppe qui soit à la fois d'une efficacité durable et d'un prix abordable. Les efforts des fabricants pour empêcher la pénétration

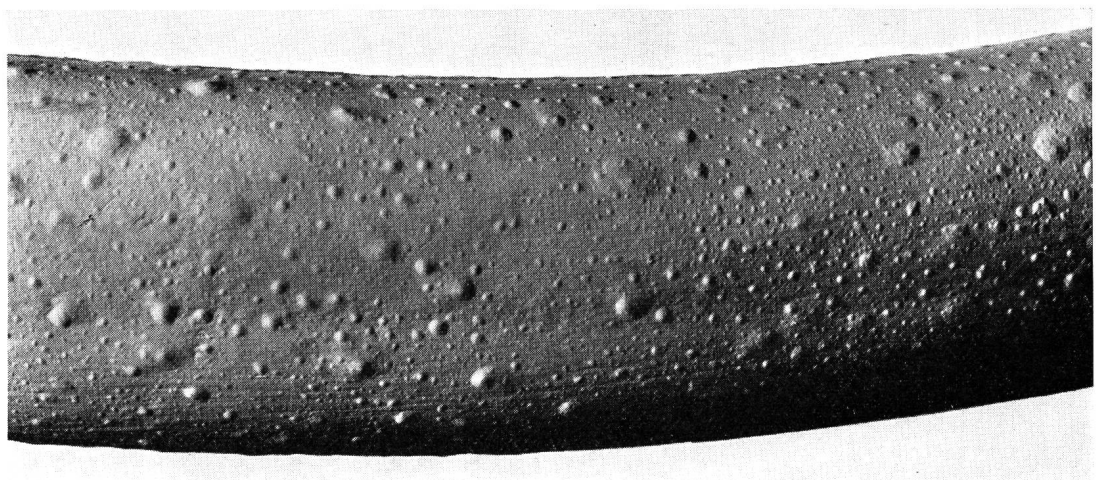


Fig. 24. Zustand der Hülle nach dem Dauerversuch am Muster Nr. 24, «Vinyl-Clad»  
Etat de l'enveloppe après l'essai prolongé de l'échantillon N° 24, «Vinyl-Clad»

1. Eine Bewicklung mit wenigen Bändern, verklebt mit Bitumen oder Teer oder eigentlichen Klebstoffen, die für den Gebrauch an trockenen Objekten entwickelt worden sind, ergibt keinen brauchbaren Korrosionsschutz.
2. Eine Bandbewicklung kann als Korrosionsschutz dienen, wenn die Zahl der Bänder gross genug gewählt wird; drei Lagen können als Minimum gelten.
3. Die beiden Wicklungsarten «überlappt» und «Band auf Fuge» sind in ihrer Wirkung gleichwertig.
4. Bänder und Klebstoffe müssen dauernd wasserfest sein.
5. Die beste Gewähr für einen wirksamen und dauernden Korrosionsschutz bieten nahtlos aufgespritzte oder aufgepresste Hüllen.
6. Es ist selbstverständlich, dass alle für die Hüllen verwendeten Materialien das Blei nicht angreifen dürfen und selbst eine genügende Widerstandsfähigkeit gegen die zersetzenden Einflüsse des Bodenwassers besitzen müssen. Wenn bei sonst dienlichem Material die Aggressivität gegen Blei nicht zu vermeiden ist, kann sie durch Bewickeln des Bleimantels mit Garnen oder Bändern eines nicht angreifenden Materials vor dem Aufbringen der Hülle unwirksam gemacht werden.

#### **Schlussbemerkung**

Die Anforderungen, die in bezug auf mechanische Festigkeit an eine Schutzhülle gestellt werden müssen wie: Kaltfluss, Lösungsmittelbeständigkeit, Bakterien- und Pilzbeständigkeit, Gleichstromempfindlichkeit, Schmelzpunkt, Brennbarkeit, Giftigkeit und die Möglichkeit der rationellen Herstellung, wurden in der beschriebenen Untersuchung nicht berücksichtigt.

de l'eau n'ont pas tous été couronnés de succès. Les constatations qui suivent peuvent cependant servir de directives:

1. Un enroulement composé d'un petit nombre de couches de ruban, collées au moyen de bitume ou de goudron, ou encore de matières collantes proprement dites à employer sur des objets secs, ne procure pas de protection véritable contre la corrosion.
2. Un enroulement de ruban peut protéger contre la corrosion lorsque le nombre de couches est suffisamment grand; on peut considérer le nombre de trois couches comme un minimum.
3. Les deux modes d'enroulement «avec recouvrement» et «ruban sur le joint» sont équivalents.
4. Les rubans et la matière collante doivent accuser une imperméabilité durable.
5. Les enveloppes injectées ou pressées autour de la gaine, sans suture, présentent la meilleure garantie de protection efficace et durable contre la corrosion.
6. Il est évident que les matières utilisées pour les enveloppes ne doivent pas attaquer le plomb; elles doivent offrir une résistance suffisante à l'influence destructrice de l'eau de sol. Si une matière sans cela utilisable est susceptible d'attaquer le plomb, on peut éviter l'attaque en enroulant autour de la gaine de plomb des fils ou rubans d'une matière non agressive, avant d'appliquer l'enveloppe.

#### **Remarque finale**

Dans les essais que nous venons de décrire, il n'a pas été tenu compte de la résistance mécanique, de la plasticité, de la résistance aux dissolvants, ainsi qu'aux bactéries et aux champignons, de la sensibilité au courant continu, du point de fusion, de l'inflammabilité, de la toxicité, ni de la possibilité d'une fabrication rationnelle.