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

Herausgeber: Schweizerische Telegraphen- und Telephonverwaltung

Band: 5 (1927)

Heft: 5

Artikel: Die Selbstkorrosion der Bleikabel [Fortsetzung und Schluss]

Autor: Anderegg, F. O. / Achatz, R. V.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-873842

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 10.07.2025

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

Die Selbstkorrosion der Bleikabel.

Von F. O. Anderegg und R. V. Achatz.
(Gekürzte Uebersetzung von E. E.)
(Fortsetzung und Schluss.)

Ergebnisse. Die Ergebnisse der Bleianalyse sind aus Fig. 11 ersichtlich, in welcher die Ordinaten die Zahl der Milligramme auf 100 cm³ angeben, während die pH-Werte auf der Abszisse eingetragen sind. Beim Bariumhydroxyd ist jeder eingezeichnete Punkt das Mittel aus den Werten der verwendeten 4 Bleisorten. Bei den andern Lösungen ist jeder Punkt das Ergebnis von 8 Feststellungen. Einige Bleistreifen zeigten auf der ganzen Oberfläche gleichförmige Korrosion, während sich an andern infolge der Auflösung von

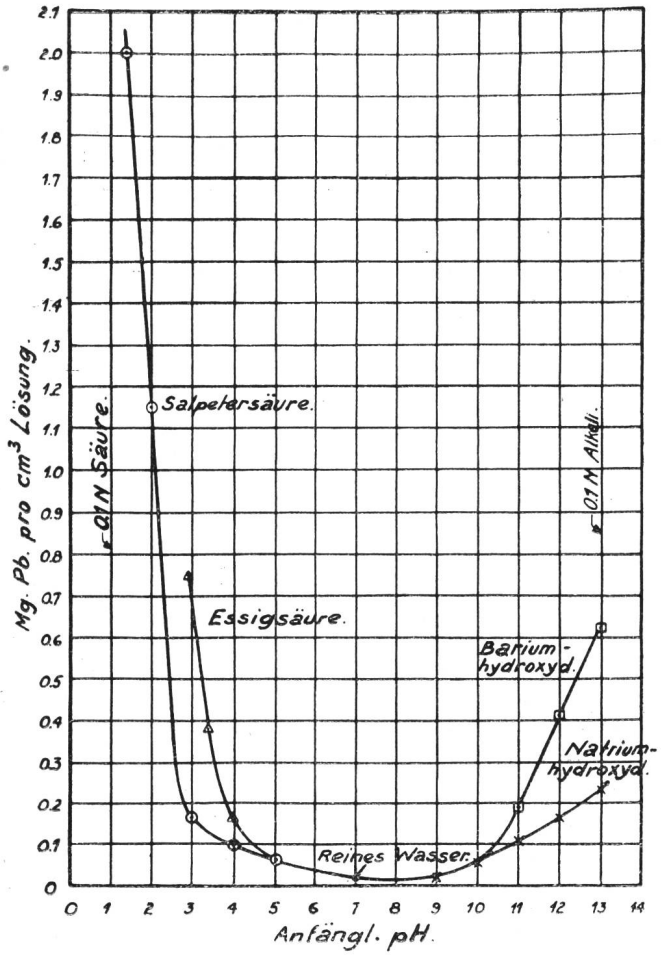

Fig. 11. Die Korrosion von Blei in Berührung mit verschiedenen sauren und alkalischen Lösungen mit Bezug auf den Wert „pH". Blei ist amphoterisch; es ist in Säuren und Basen löslich.

Kristallen Vertiefungen gebildet hatten. Diese Neigung zur Unregelmässigkeit bewirkt, dass der Mantel ein und desselben Kabels an den verschiedenen Stellen ungleich angegriffen wird. Es ist dies eine Erscheinung, die sowohl durch unsere praktischen Erfahrungen als auch durch die Laboratoriumsversuche bestätigt wurde. Sauerstoff und Kohlendioxyd begünstigten die Auflösung des Bleies, obschon bei den kräftigeren Salpetersäure-Lösungen die Wirkung der Säure stark genug war, diejenige des Sauerstoffs weitgehend zu verdecken. Die im Kabelbau verwendeten drei Bleisorten und das chemisch reine Blei zeigten in Salpetersäure ungefähr denselben Grad von Korrosion. In Essigsäure war Zinnblei am widerstandsfähigsten; die andern drei Sorten wurden ungefähr in gleichem Masse angegriffen. Umgekehrt war das Verhalten der Bleisorten, wenn Natriumhydroxyd verwendet wurde; hier war Zinnblei etwas leichter löslich. In Bariumhydroxyd-Lösungen war die Wirkung in allen vier Fällen nahezu dieselbe. Wurden die Säurelösungen mit Antimonblei in Berührung gebracht, so bildete sich im allgemeinen rasch ein Niederschlag von basischen Antimonsalzen.

Vorgänge bei der durch Lösungen verursachten Korrosion. Verschiedene Forscher sind zu dem Schlusse gelangt, dass der Grad der Korrosion zum mindesten in gewöhnlichem Wasser dem Betrag an Sauerstoff entspricht, der die Bleioberfläche durch das Wasser hindurch erreicht. Unsere Arbeiten haben diese Ansicht nur mit Bezug auf stark verdünnte Lösungen und reines Wasser bestätigt. Der Sauerstoff spielt bei den Korrosionsvorgängen eine wichtige Rolle. In Wasser ist seine Wirkung auf Eisen und auf Blei anscheinend ganz ähnlich. In Ermangelung von Sauerstoff werden einige Wasserstoff-Ionen des Wassers durch metallische Ionen verdrängt. Der Wasserstoff macht sich nicht vollständig frei, sondern bleibt an der Metalloberfläche haften, wo er eine Schutzhülle bildet. Kommt Sauerstoff hinzu, so verbindet er sich mit der Wasserstoffhülle. Das Metall begünstigt diese Oxydierung katalytisch. Sobald die Wasserstoffschicht weg ist, geht mehr Metall in die Lösung über.

Sehr reines Wasser kann eine geringe Dispersion des Bleies verursachen. Ist Sauerstoff vorhanden, so bildet sich Bleihydroxyd und es entsteht eine leichte alkalische Reaktion. Wegen der geringen Löslichkeit des Produktes ist die alkalische Reaktion begrenzt. In verdünnten Säurelösungen werden nach und nach basische Salze ausgeschieden, und die Lösungen zeigen Neigung, leicht alkalisch zu werden, wenn sie nicht von Anfang an stark säurehaltig waren. Stark alkalische Lösungen machen eine grössere oder kleinere Menge Wasserstoff frei, und ein Grossteil des Bleies wird als Hydroxyd ausgeschieden. Ist Kohlendioxyd vorhanden, so entsteht nach und nach das weniger leicht lösliche basische Karbonat. Basisches Acetat und basisches Nitrat werden in ähnlicher Weise verändert.

Die Löslichkeit des Bleies in Salpeter- und Essigsäure. Kommt Essigsäure in Berührung mit dem Metall, so kann die Wirkung so stark sein, dass sich mehr oder weniger rasch Wasserstoff entwickelt; Konzentration und Temperatur spielen dabei eine Rolle. Der Wasserstoff löst sich langsam im Wasser und verflüchtigt sich dann. Wird aber Salpetersäure benützt, so bedingt dies, namentlich bei höherer Temperatur und Konzentration, eine Umwandlung der Säure in niederwertige Oxyde. Diese Wirkung wurde bemerkt bei 0,1 N Salpetersäurelösungen, die salpetrige Gase erzeugten, kräftige Korrosionswirkungen verursachten und in der Lösung die den Bleinitriten eigentümliche gelbe Färbung hervorriefen.

Später bildeten sich nach dem Entzug des Bleies gelbglänzende sechseckige Platten, die, wie die Analyse ergab, aus basischem Bleinitrit bestanden.

Bei der Vergleichung der auflösenden Wirkungen von Salpetersäure und Essigsäure sind mindestens drei Punkte zu beachten:

1. Auf 3 Bleiatome trifft es 8 Moleküle Salpetersäure, während bei Essigsäure 6 Moleküle genügen.

$$3Pb + 8HNO_3 = 3Pb(NO_3)_2 + 2NO + 4H_2O$$
$$3Pb + 6HC_2H_3O_2 = 3Pb(C_2H_3O_2)_2 + 3H_2$$

2. Sobald das Wasserstoff-Ion der Essigsäure verbraucht ist, werden durch Ionisation noch mehr Ionen frei gemacht, so dass die Endwirkung nicht unbedingt im Verhältnis zu dem ursprünglichen pH steht.

3. Salpetersäure hat ihrer oxydierenden Wirkungen wegen ein grösseres Auflösungsvermögen. Stickstoffperoxyd, das sich nach der Auflösung der ersten Bleischicht gebildet hat, beschleunigt die weitere Auflösung des Bleies, so dass von Selbstauflösung gesprochen werden kann.

Die Auflösung des Bleies durch Barium- und Natriumhydroxydlösungen. Dass Bariumhydroxyd stärker auflösend wirkt als Natriumhydroxyd, erklärt sich daraus, dass der Niederschlag in Bariumhydratlösungen rascher erfolgt. Das zweiwertige Barium-Ion hat eine stärkere Gerinnfähigkeit als das einwertige Natrium-Ion. Löst sich Blei in alkalischer Lösung, so bildet sich, wie man annimmt, ein alkalisches Plumbit. Dieses verwandelt sich langsam in Bleihydroxyd. Uebersteigt der Betrag an Bleihydroxyd dessen Löslichkeit, so sollte ein Niederschlag erfolgen; aber hier tritt öfters eine Verzögerung ein. Es ist festgestellt worden, dass ein Liter sauerstoffhaltigen destillierten Wassers bis 140 mg gelöstes Blei enthalten kann. Wird die Uebersättigung beseitigt, so fällt der Bleigehalt auf 110 mg. Während des Niederschlages müssen die einzelnen Partikel immer grösser werden, bis sie schliesslich herunterfallen. Ist ein Ueberschuss an Hydroxyd-Ionen vorhanden, so werden diese kolloidalen Partikel durch Absorption negativ geladen. Da das zweiwertige Barium-Ion gerinnfähiger ist als das einwertige Natrium-Ion, so bildet sich der Niederschlag in Bariumlösungen rascher. Mit dem Entzug von Blei wird aber das Gleichgewicht gestört, und es wird neuerdings Blei aufgelöst. Auf diese Weise erklärt sich die grössere Löslichkeit des Bleies in stärkeren Bariumhydroxyd-Lösungen.

Schlussfolgerungen. Bei den Versuchen über die Korrodierung von Blei durch wässerige Säuren und alkalische Lösungen wurde die Blei-Oberfläche vollständig in Wasser getaucht. Die schützende Wasserstoffschicht, die sich auf dem Blei bildet, muss weggeschafft werden, bevor weitere Bleimengen in die Lösung übergehen können. Dies kann auf verschiedene Weise geschehen:

1. In stark verdünnten Lösungen löst sich der Wasserstoff sehr langsam im Wasser, und es treten Diffusionserscheinungen auf, so dass neuerdings Blei in die Lösung übergehen kann. Ist Sauerstoff vorhanden, so steht der Grad der Korrosion in Beziehung zu der Sauerstoffmenge, die an die Oberfläche gelangt. Dort verbindet sich der Sauerstoff anscheinend leicht mit der Schutzhülle.

2. Starke Säure- oder alkalische Lösungen haben ein grösseres Auflösungsvermögen. Die Wasserstoffschicht ist zweifelsohne stärker; Sauerstoff wirkt wie vorhin.

3. In Salpetersäure-Lösungen von der Konzentration 0,1 N wird die Wasserstoffschicht durch die oxydierende Wirkung der Salpetersäure beseitigt. Es entsteht gelbes Bleinitrit, das nach und nach zur Bildung von Kristallen aus basischem Bleinitrit Anlass geben kann.

4. Die Tatsache, dass das Auflösungsvermögen bei Bariumhydroxyd grösser ist als bei Natriumhydroxyd, erklärt sich aus der Gerinnfähigkeit des zweiwertigen Barium-Ions.

5. Chemisch reines Blei, reines Handelsblei, Antimonblei und Zinnblei wurden von Salpetersäure- und Bariumhydroxyd-Lösungen sozusagen gleich stark angegriffen. Zinnblei setzte den Wirkungen der Essigsäure kräftigen Widerstand entgegen, wurde aber von Natriumhydroxyd stärker angegriffen. Die andern Versuchsstücke verhielten sich in beiden Lösungen ungefähr gleich.

IX. Messung der elektromotorischen Kraft an Bleistücken, die mit verschiedenen Erden und Lösungen in Berührung stehen.

Ein anderes Verfahren, den Korrosionsgrad — also die Löslichkeit eines Metalles in einer Flüssigkeit — zu messen, besteht darin, die E. M. K. zwischen Metall und Lösemittel zu bestimmen. Es ist festgestellt worden, dass diese E. M. K. proportional ist dem Logarithmus des Löslichkeitsgrades des Metalls in einer Lösung.

Versuche. Ein elektrolytisches Element erfordert zwei Elektroden: die eine wird gebildet aus dem zu untersuchenden Metall, die andere ist im allgemeinen eine leicht herzustellende Kalomelelektrode. Diese besteht aus Quecksilber und ist mit einem Teig aus Quecksilber und Kalomel überzogen, der mit einer Kaliumchloridlösung von bestimmter Konzentration in Berührung steht. Die Chloridlösung ist mit Kalomel gesättigt. Das Element lässt sich also folgendermassen darstellen:

Pb, Pb-Lös., KCl(M), HgCl, Hg.

Die E. M. K. des Elementes ist die algebraische Summe der beiden Potentiale. Da das Potential der Kalomelelektrode konstant bleibt, so ist jede Aenderung, die bei Verwendung einer bestimmten, mit dem Blei in Berührung stehenden Lösung beobachtet wird, auf Unterschiede im Korrosionsgrad des Bleies zurückzuführen. Die E. M. K. wächst auch mit der korrosiven Wirkung der benutzten Lösung.

Die Potentialmessungen wurden mit einem Potentiometer ausgeführt, wie es zum Titrieren der Wasserstoff-Ionen benützt wird. An einem Millivoltmeter konnte die E. M. K. unmittelbar abgelesen werden, wenn die Abgleichung stattgefunden hatte. Für diesen Zweck eignete sich ein Spiegelgalvanometer mit einer Empfindlichkeit von ungefähr 1 Millivolt. Von den Bleimustern ergaben drei eine konstante E. M. K. in einer verdünnten Lösung von neutralem Blei-Perchlorat und in gewöhnlichem Bleiacetat. In 0,1 N Kaliumchlorid-Lösung, die mit Bleichlorid gesättigt

war, waren die Ergebnisse nicht ganz so gleichmässig. Hier zeigte das Zinnblei seinen charakteristischen geringeren Wert.

Bei den Versuchen wurde das Erdreich angefeuchtet; nachdem das Versuchsstück 15 Minuten lang damit in Berührung geblieben war, wurde seine E. M. K. gemessen. Brachte man eine frischgereinigte Bleioberfläche mit dem Erdreich in Berührung, so konnte man oft einen ausgesprochenen Potentialunterschied feststellen. Nach 15 Minuten hatte dieser stark abgenommen, und dann wurden während 2—3 Stunden nur geringe Aenderungen festgestellt. Nach Ablauf dieser Zeit setzte ein abermaliges Nachlassen ein, das von einer Trübung der Oberfläche begleitet war. Die trübende Schicht bestand aus Karbonat, Chlorid, Acetat und deren basischen Salzen, sowie aus andern Säureradikalen, die im Boden vorhanden sein mochten. Sobald sich Blei mit einem Salz, z. B. einem Chlorid, bedeckt, ist die gemessene E. M. K. zurückzuführen auf die Konzentration der Chlorid-Ionen in der mit dem Boden in Berührung stehenden Lösung. Bekanntlich geben nun die Chlorid- und Acetat-Ionen, wie auch die Ionen einiger anderer organischen Säuren zu Korrosionserscheinungen Anlass. Die E. M. K. ergab somit einen Näherungswert für die Konzentration solcher Ionen in der umgebenden Erdschicht und folglich ein Mass für die Korrosionswirkung des Erdreichs auf das Blei. Die zuerst gebildeten Acetate usw. sind der Hydrolyse unterworfen und werden durch Karbonate ersetzt, so dass sich das leicht lösliche basische Karbonat bildet, das dem Blei einen gewissen Schutz verleihen kann. Die Abnahme der E. M. K., die sich auf die Dauer einstellt, hat mehrere Ursachen: Sie dürfte einerseits auf die Erschöpfung der zersetzenden Bestandteile, anderseits auf die Bildung der aus basischem Karbonat, Phosphat oder Silikat bestehenden Schutzschicht zurückzuführen sein.

Die Messungen wurden mit 24 Lehmmustern und mit ebensovielen Schlammustern ausgeführt. Die Ergebnisse entsprechen den im Gelände und im Laboratorium gemachten Versuchen und Beobachtungen. Bei Schlamm ist die E. M. K. infolge des höheren Gehaltes an organischen Stoffen stärker als bei Lehm (Miami-Schlammlehm), aber schwächer als bei dem sehr fetten Moorschlamm aus Wakarusa. Mit Schlamm wurden gleichmässigere Resultate erzielt als mit Lehm. Die durchschnittlichen Abweichungen vom Mittelwert betrugen 10 Millivolt für Schlamm und 22 für Lehm. Im allgemeinen aber änderte die Spannung mit der Korrosionswirkung, die von den verschiedenen Böden auf die verwendeten Versuchsstücke ausgeübt wurde.

Die Allotropie des Bleies und die Korrosion. Ein interessantes Beispiel von Korrosion ergibt die Hellersche Lösung (100 g Wasser, 400 g Bleiacetat und 100 cm³ Salpetersäure, spez. Gew. 1,16), die eine allotropische Veränderung des Bleies bewirkt. Getman hat beobachtet, dass die E. M. K. des Bleies zunimmt, wenn dieses mit der genannten Lösung in Berührung bleibt. Dies erscheint sonderbar, da die Bleiteile, die das grösste Bestreben haben, in die Lösung überzugehen, aufgelöst werden und nach ihrer Abscheidung in einer weniger leicht löslichen Form weiterbestehen müssten. Da nun die E. M. K. eines Elementes, wie es von uns und Getman benützt wurde, von dieser Löslichkeit abhängt, so sollte eine Vorbehandlung mit Hellerscher oder ähnlicher Lösung ein Sinken der E. M. K. zur Folge haben. Rawdon zog aus einer metallographischen Untersuchung den Schluss, dass die Ergebnisse am besten auf interkristallinische Korrosion zurückgeführt werden. Auf Grund unserer Untersuchungen müssen wir dieser Auffassung beipflichten. Anderseits haben wir aber die Beobachtung gemacht, dass die E. M. K. nach den Eintauchungen bisweilen doch zunimmt, was die Angaben von Getman bestätigen würde. Besonders auffällig ist die Erscheinung bei Zinnblei. Eine Prüfung der Versuchsstücke aus Zinnblei hat ergeben, dass die Korrosion fast ganz interkristallinisch war und dass ein Netz von mehr oder weniger getrennten Körnern verblieb. Die Erhöhung der E. M. K. mochte davon herrühren, dass an den Kornrändern frisches, leicht lösliches Material in Tätigkeit trat. Wenn die Wirkung dieser Lösung zunimmt, so entwickeln sich Stickstoffoxyd und Stickstoffperoxyd. Die Lösung nimmt allmählich eine tiefgelbe Färbung an, und es werden basische Salze in Form eines weissen Niederschlages ausgeschieden. Später bilden sich langsam gelbe Kristalle. Die weisse Masse wird als eine allotropische Veränderung des Bleies betrachtet. Die gelben Kristalle sind basisches Bleinitrit.

Zur Bestimmung des Korrosionsgrades wurden die vier Bleisorten fünf Tage lang in Hellerscher Lösung belassen. Der Gewichtsverlust für chemisch reines Blei, Handelsblei, Antimonblei und Zinnblei betrug 5, 22, 47 und 15%. Der Gewichtsverlust pro cm² und Tag machte 25, 36, 98 und 59 mg aus. Die letztgenannten Zahlen sind brauchbarer; sie zeigen, dass Legierungen rascher angegriffen werden als Reinblei. Diese Ergebnisse weisen darauf hin, dass eher Korrosion als allotropische Veränderung stattgefunden hat.

Schlussfolgerungen. Die Messungen der E. M. K. haben ergeben:

1. Betrachtet man die im Kabelbau verwendeten drei Bleisorten und ausserdem chemisch reines Blei, so ist zu sagen, dass Antimonblei im Boden am leichtesten, Zinnblei am wenigsten leicht angegriffen wird.
2. Bei Schlamm war die Wirkung stärker als bei Lehm, aber weniger stark als im fetten Boden von Wakarusa, Indiana.
3. Bei anhaltender Berührung mit dem Boden begann sich die Bleioberfläche zu trüben und gleichzeitig nahm die E. M. K. gegen Erde ab. Das Blei zeigt Neigung, sich mit einer Schutzhülle zu überziehen.
4. Nach Behandlung mit Hellerscher Lösung (die Salpeter- und Essigsäure enthält) zeigte sich bei Zinnblei eine Zunahme, bei Reinblei und Antimonblei dagegen eine Verminderung der E. M. K.
5. Der Verlust, der sich aus der mit Hellerscher Lösung erzielten Korrosion ergibt, nimmt in folgender Reihenfolge zu: reines Handelsblei, chemisch reines Blei, Zinnblei, Antimonblei.

X. Metallographische Untersuchungen über Bleikorrosionen.

Die im Laboratorium beobachteten Unterschiede im Verhalten der verschiedenen Bleisorten und Legie-

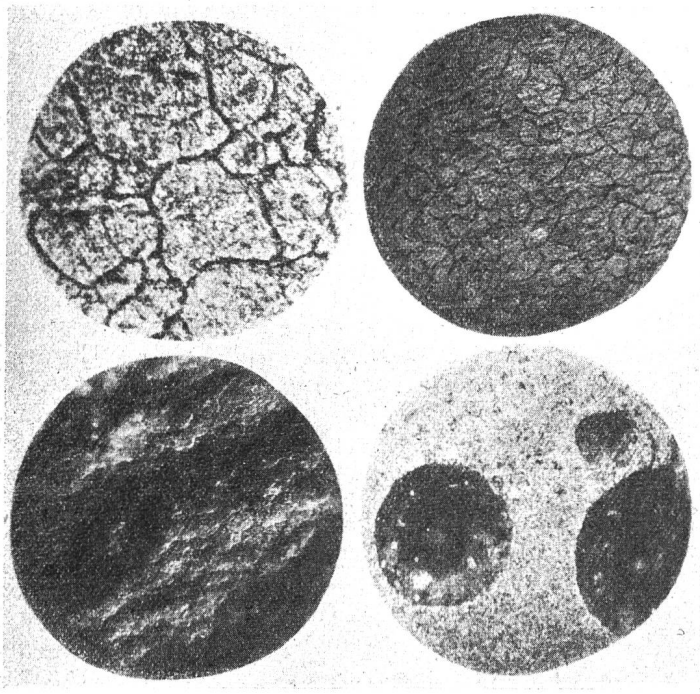

Fig. 12. Metallographie von Antimonblei (0,5% Sb.). a) Einige Sekunden lang mit 2% Silbernitrat geätzt, Vergrösserung 300, b) tief mit Silbernitrat geätzt, Vergrösserung 35, c) mit Hellerscher Lösung geätzt, Vergrösserung 35. Die Kristallränder verschwinden zuerst; d) andauernde Berührung mit Hellerscher Lösung, bildet Vertiefungen. Vergrösserung 9.

rungen liessen eine metallographische Untersuchung wünschbar erscheinen.

Versuche. Das Material war dasselbe wie bei früheren Versuchen. Die Versuchsstücke wurden vorbereitet, und zwar wurden sie zunächst flach abgefeilt. Schmirgelpapier ergab den ersten, rohen Schliff. Für den zweiten Grad wurde Tripelerde auf Segeltuch verwendet und für den dritten rote Poliermasse auf Tuchlappen. Um die Kristallstruktur herauszubringen, mussten die Stücke nach dem Polieren geätzt werden. Die Beobachtung der Wirkungen verschiedener Aetzmittel ermöglichte einige wichtige Feststellungen. Der Vorgang der Aetzung wurde mit Hilfe eines metallographischen Mikroskopes verfolgt.

Schlussfolgerungen. 1. Reines Blei erfordert ein etwas stärkeres Aetzmittel als Antimonblei zur Entwicklung einer befriedigenden Kristallstruktur, während Zinnblei längere Zeit mit einem stark korrosiven Mittel in Berührung gebracht werden muss.

2. Der erste Angriff ist immer interkristallinisch. Spätere Angriffe haben das Bestreben, die Oberfläche von Rein- und Antimonblei loszulösen und tief zwischen die Zinnblei-Kristalle einzudringen.

3. Zinn erhöht den Widerstand gegen Korrosion stärker als Antimon, weil es leichter in feste Lösungen übergeht, weil es sich an der Oberfläche weniger leicht trübt und weil Blei und Zinn in der Spannungsreihe näher beieinander liegen.

4. Reines Blei ist von blättriger Struktur. Die Zahl der Blätterkristalle und die Regelmässigkeit des blättrigen Gefüges nehmen mit der Beigabe von Fremdmetallen ab. Kupferspuren in Handelsblei, wie es für Kabelmäntel benützt wird, nehmen an der Korrosion teil.

XI. Auszug aus den im Laboratorium angestellten Versuchen über die Korrosion von Bleimänteln.

Um die Selbstkorrosion der für Telephonkabel verwendeten Bleisorten: reines Handelsblei, Antimonblei und Zinnblei zu studieren, wurden die Versuchsstücke bei Zimmertemperatur und bei 37° C untersucht und auch in Säure- und alkalische Lösungen getaucht. Ausserdem wurden Versuche angestellt über die E. M. K. des Bleies in Berührung mit verschiedenen Böden und Säuren und über die metallographische Beschaffenheit der Bleimäntel. Folgendes sind die durch zwei oder mehr Methoden bestätigten Ergebnisse:

1. Reines Handelsblei wird in den meisten Fällen weniger stark angegriffen als Antimonblei, aber wesentlich stärker als Zinnblei.

2. Die Korrosion wächst im allgemeinen mit den organischen Substanzen im Boden, offenbar wegen der korrosiven Wirkung der Essig- und anderer Säuren, die sich aus den organischen Stoffen bilden.

3. Kalk, Kalkstein, Zement und Mörtel begünstigen die Korrosion des Bleies. Sie fördern dessen Oxydation und regen die Bakterientätigkeit an, was wahrscheinlich eine vermehrte Bildung korrosiver Säuren zur Folge hat.

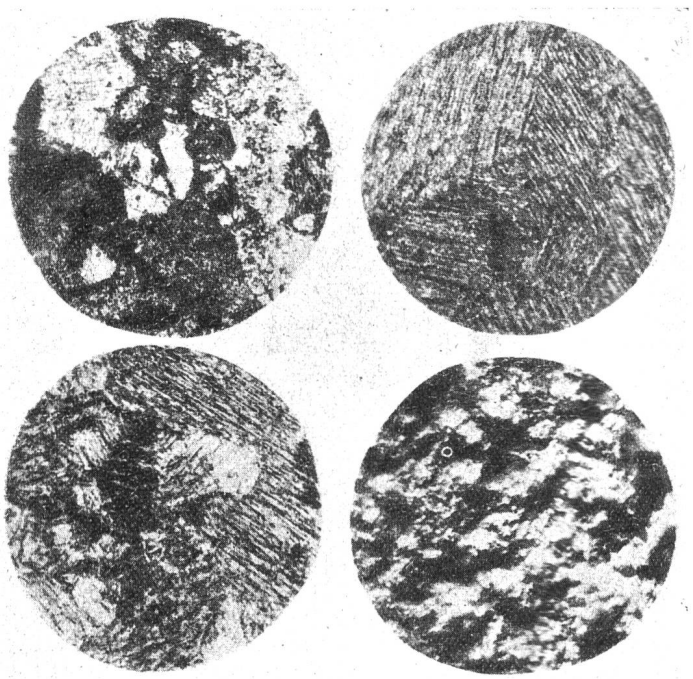

Fig. 13. Metallographie von Reinblei. a) Reines Handelsblei, stark mit Silbernitrat geätzt, Vergrösserung 300. b) Chemisch reines Blei in derselben Weise behandelt, Vergrösserung 300. c) Blei, das 0,16% Antimon enthielt und an der Luft kristallisiert hatte, zeigt dieselbe blättrige Struktur, aber weniger ausgeprägt, Vergrösserung 280. d) Reines Handelsblei, das mehrere Tage lang mit Hellerscher Lösung in Berührung geblieben war, war stark angegriffen, Vergrösserung 35.

4. Bruchstücke von Kalkstein, Gipskristalle usw., die mit Blei in Berührung stehen, halten die Feuchtigkeit zurück und begünstigen daher die Korrosion. Auch Eisenrost scheint die Bleikorrosion zu fördern. Natriumchlorid ist äusserst korrosiv, und Asche wirkt ebenfalls schädlich.

5. Feuchtigkeit erhöht die Korrosion bis zu einem gewissen Grade durch Bildung von Hydroxyd. Ist dieser Grad erreicht, so wirkt das Wasser als Schutz, indem es den zur Korrosion nötigen Sauerstoff aufhält.

6. In Wasserlösungen ist Salpetersäure stärker korrosiv als Essigsäure; ebenso Barium-Hydroxyd stärker als Natrium-Hydroxyd, weil die koagulierende Wirkung des zweiwertigen Barium-Ions grösser ist.

7. In Berührung mit Böden bildet die Salpetersäure gelbe Kristalle aus basischem Bleinitrit. Essigsäure bildet Bleiacetat, aber durch Hydrolyse wird alsbald wieder Essigsäure frei.

8. Einige Versuche über die sog. Allotropie des Bleies zeigen, dass die beobachteten Wirkungen durch Korrosion verursacht werden.

9. Die Korrosion ist zunächst interkristallinisch. Nachher erstreckt sich die Wirkung bei Rein- und Antimonblei auf die gesamte Oberfläche, wobei der Mantel gelegentlich durchlöchert wird. Bei Zinnblei ist die spätere Korrosion fast ganz interkristallinisch.

10. Zinn erhöht die Widerstandskraft des Bleies gegen Korrosion, weil es der Korrosion selbst schon Widerstand leistet, weil es mit Blei ein korrosionsbeständiges Produkt bildet und weil die zwei Metalle in der Spannungsreihe nahe beieinander liegen.

11. Ein Zusatz von Antimon vermindert die Widerstandsfähigkeit des Bleies gegen Korrosion, weil die Löslichkeit des Antimons in den Bleikristallen zu gering ist, um den zwischen den Kristallen vorhandenen beträchtlichen Mengen Antimon die Wage zu halten; da die beiden Metalle in der Spannungsreihe weit auseinanderliegen, so entstehen örtliche Wirkungen galvanischer Natur.

12. Reines Blei zeigt ein blättriges, kristallinisches Gefüge. Die Zahl der Kristalle, die diese Struktur aufweisen, wie auch die Regelmässigkeit des blättrigen Gefüges, steht im umgekehrten Verhältnis zu den Verunreinigungen. Bei den Angriffen auf die Kristalle von Reinblei wird Schicht um Schicht aufgelöst.

XII. Verhütung der Blei-Korrosion im Boden.

Der vorstehende Bericht zeigt, dass jedes Kabel der Korrosion ausgesetzt ist, wenn es unmittelbar ins Erdreich verlegt wird. Im Falle von Monon war der Zinnblei-Mantel anscheinend unversehrt, wenn man ihn von blossem Auge betrachtete. Unter dem Mikroskop aber war ein ganzes Korrosionsnetz bemerkbar (Fig. 3). Als Schlussfolgerung ergibt sich, dass untergegrabene Kabel nur eine beschränkte Lebensdauer besitzen und sich also in dieser Hinsicht von den Holzstangen nicht unterscheiden. In einigen Böden mag die Lebensdauer ganz bedeutend sein; in andern dagegen ist sie, wie die Erfahrung zeigt, ziemlich kurz. Eine Gesellschaft, die eine ganze Anzahl solcher Anlagen besitzt, berechnet deren Lebensdauer auf 10 Jahre.

Der Grund, weshalb Anlagen mit Tonröhrenkanal von der Korrosion verschont bleiben, erklärt sich daraus, dass der Kanal eine tatsächliche Trennung zwischen Kabelmantel und Erdreich darstellt. Auch wenn sich der Kanal mit Wasser füllt, kann im allgemeinen keine chemische Wirkung eintreten, da das Wasser fortwährend erneuert wird; immerhin sind

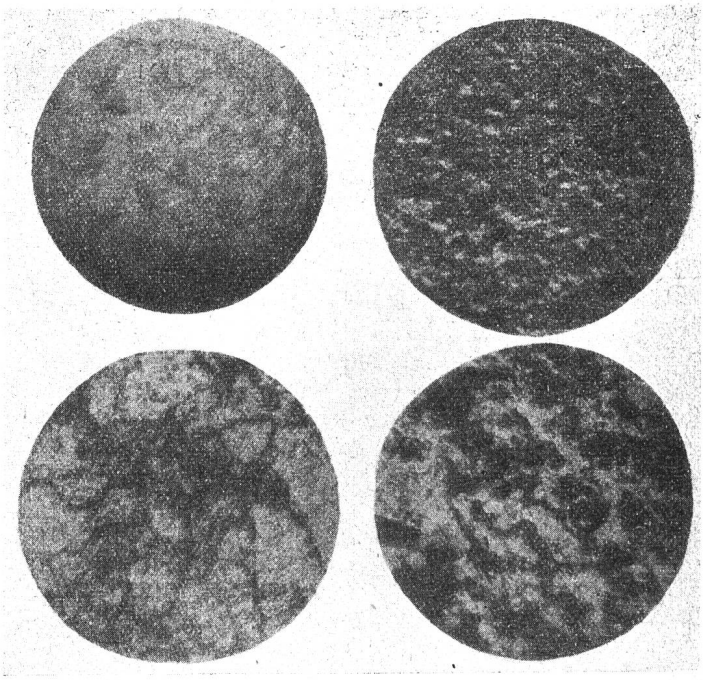

Fig. 14. Metallographie von Zinnblei. Es ist schwer zu ätzen. a) Wurde geätzt mit Salpetersäure. Kristallstruktur undeutlich, Vergrösserung 150. b) Vier Tage in Berührung mit 5 % Essigsäure, Vergrösserung 70. c) Eine eintägige Eintauchung in Hellersche Lösung ergab das beste Resultat, Vergrösserung 160. d) Dauerwirkung der Hellerschen Lösung. Vergrösserung 35.

einige Fälle bekannt, wo das Gegenteil eintrat. Alle diese Erwägungen führen zu dem Schlusse, dass die Korrosion der Bleikabel einzig dadurch verhütet werden kann, dass man die Kabel nicht in unmittelbare Berührung mit dem Boden bringt.

Schutzhüllen. Die Frage der Verwendung von Schutzhüllen für Kabel, die unmittelbar ins Erdreich verlegt werden, ist schon öfters erörtert worden. Unter den verschiedenen Schutzvorrichtungen sind zu erwähnen: Eine dünne Sandschicht, Holzschwarten, Papier, zermalmter Kalkstein, Betonplatten usw. Die meisten Gesellschaften haben die Verwendung dieser Schutzhüllen wieder aufgegeben, da sie zu der Ueberzeugung gelangt sind, dass Nutzen und Mehraufwendungen nicht im richtigen Verhältnis zu einander stehen. Letzthin ist ein neues Produkt auf den Markt gelangt, das bereits starke Verbreitung gefunden hat. Es handelt sich anscheinend um ein Teer- oder Asphaltprodukt, das am Kabel leicht haften bleibt. Die genaue Zusammensetzung ist nicht bekannt, dürfte aber in chemischer Hinsicht sehr kompliziert sein. Die Masse scheint keine Substanzen zu

enthalten, die dem Kabelmantel schädlich sein könnten. Aehnliche Massen sind jahrelang zum Ausgiessen von Abschlussmuffen verwendet worden. Wenn das Produkt so aufgetragen wird, dass eine unmittelbare Berührung zwischen Kabelmantel und Erdreich ausgeschlossen ist, so wird der Korrosion vermutlich vorgebeugt werden können.

An einem Kabelstück aus Chatham, Illinois, das vor 16 Jahren, mit einer Teerhülle versehen, untergegraben worden war, war keine Zersetzung festzustellen, soweit die Umhüllung unversehrt geblieben war. An einer einzigen Stelle, wo die Teerschicht eine Berührung zwischen Mantel und Beton nicht verhindert hatte, war das Kabel stark angegriffen. Ob dieser Fehler von Selbstkorrosion oder von Elektrolyse herrührte, ist nicht untersucht worden. Der Vorfall zeigt, wie schwierig es ist, eine einwandfreie Asphaltumhüllung herzustellen, wenn nicht besondere Massnahmen getroffen werden. Ueber den Preis der Schutzhülle stehen keine Angaben zur Verfügung; doch darf angenommen werden, dass er verhältnismässig niedrig ist.

Verschiedene Forscher haben herausgefunden, dass die Schutzschicht aus Karbonaten, Silikaten und Phosphaten, die sich an bleiernen Wasserröhren bildet, ein Weitergreifen der Korrosion verhindert. Unseres Wissens werden in der Praxis keine Schutzschichten dieser Art verwendet, doch dürfte sich auf dem angedeuteten Wege eine Lösung finden lassen.

XIII. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen.

Der vorstehende Bericht über die Korrosion von Bleikabeln, die unmittelbar mit dem Boden in Berührung stehen, umfasst zwei Reihen von Untersuchungen, nämlich Untersuchungen im Gelände und Untersuchungen im Laboratorium. Die auf diesen zwei Wegen erzielten Ergebnisse stimmen im allgemeinen miteinander überein. Es ist den Verfassern möglich gewesen, Einblick in die Ursachen und das Wesen der Korrosion zu erhalten und ein beschleunigtes Verfahren auszubilden, das Anhaltspunkte bietet für den Grad der Korrosion, den ein Mantel von bestimmter Zusammensetzung in einem bestimmten Boden erleidet.

Ursachen der Korrosion. Hauptursache der Korrosion sind im allgemeinen die im Erdreich vorhandenen organischen Stoffe. Bei der Zersetzung dieser Stoffe entstehen Säuren, die das Material des Kabelmantels angreifen. Bei 80% der inspizierten Kabel wurden Korrosionserscheinungen festgestellt, und sozusagen in allen Fällen war Essigsäure nachweisbar. Da diese Säure beim Verfaulen von Holz und pflanzlichen Stoffen entsteht, so ist es nicht ratsam, zum Schutz der Kabel rohe Bretter zu verwenden.

Auch alkalische Substanzen in Form von Kalkstein, Beton, Gips usw. sind in gewissen Fällen als unmittelbare Ursache der Korrosion zu betrachten; jedenfalls bewirken sie ein stärkeres Auftreten der Korrosionserscheinungen. Salze, insbesondere das gewöhnliche Kochsalz, können ebenfalls die Ursache von Korrosionserscheinungen sein, wenn diese auf örtliche galvanische Vorgänge zurückzuführen sind.

Verhältnisse, die eine Zunahme des Korrosionsgrades bewirken. Im allgemeinen wächst die Korrosion mit den im Boden vorhandenen organischen Substanzen. Dies ergab sich sowohl aus den Beobachtungen im Gelände als auch aus den Laboratoriumsversuchen. Die Reihenfolge, wie sie im Laboratorium festgestellt wurde, ist: 1. Schlamm, 2. Asche, 3. Sand, 4. Lehm. Korrosionserscheinungen treten leicht und rasch auf in Böden, die Kalkstein und andere kalkartige Substanzen oder Asche enthalten. Sie schreiten in ungenügend entwässerten Böden rascher vorwärts als in solchen mit guten Abflussverhältnissen.

Einfluss der Zusammensetzung des Kabelmantels. Sowohl aus den Versuchen im Gelände als aus den Laboratoriumsversuchen geht hervor, dass Zinnblei viel widerstandsfähiger ist als Reinblei, im Gegensatz zu Antimonblei, das weniger widerstandsfähig ist. Dies scheint sich daraus zu erklären, dass die Korrosion an interkristallinischen Stellen einsetzt. Das Antimon setzt sich hauptsächlich zwischen den Kristallen fest, während das Zinn grösstenteils in eine feste Lösung übergeht. Zinn setzt der Korrosion an und für sich schon grösseren Widerstand entgegen und liegt in der Spannungsreihe so nahe beim Blei, dass nur mit geringen örtlichen Wirkungen zu rechnen ist. Antimon dagegen liegt weiter vom Blei weg, weshalb solche Wirkungen wahrscheinlicher sind.

Vorbeugende Massnahmen gegen das Auftreten von Korrosion. Das einzige Mittel, der Korrosion vorzubeugen, besteht darin, zwischen dem Kabelmantel und dem Boden eine Trennung herzustellen. Einen wirksamen Schutz bilden die Rohranlagen, bei denen die Tonröhren das Auftreten der Korrosion fast vollständig verunmöglichen. Einige wenige Versuche haben gezeigt, dass auch ein Teer- oder Asphaltüberzug der Korrosion vorzubeugen vermag, vorausgesetzt, dass die Schutzschicht keine Unterbrechungsstellen aufweist. Dagegen sollten Beton, Kalkstein oder rohes Holz nicht in unmittelbare Berührung mit dem Kabelmantel oder in dessen Nähe verbracht werden.

Zur Wählerberechnung.

Von Dr. H. Wyss und H. Engel, Bern.

I.

Der Automatisierung eines Telephonbetriebes muss jeweils eine einlässliche Beurteilung der Wirtschaftlichkeit vorangehen. Eine hervorragende Bedeutung für diesbezügliche Rentabilitätsberechnungen, die sich auf die Verkehrszahlen stützen, besitzt die Zahl der benötigten Wähler oder Verbindungswege; denn von dieser Zahl hängen schliesslich die Kosten für Räumlichkeiten, Linienbau, Betriebsbatterie, Unterhalt und andere Komponenten ab.

Die Verkehrszahlen lassen sich mit der wünschbaren Genauigkeit statistisch erfassen. Um von ihnen auf die Wählerzahl zu schliessen, wird meistens ein spezielles Kurvenblatt benützt, aus dem anhand