Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 73/74 (1919)

Heft: 8

Artikel: Die selektiven Korrosionen: die Bedingungen ihres Entstehens und die Mittel, sie zu verhüten

Autor: Wurstemberger, F. v.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-35676

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: 13.07.2025

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

INHALT: Die selektiven Korrosionen. — Die Entwicklung des elektrischen Fördermaschinen-Antriebes. — Wettbewerb für Beamten-Wohnhäuser der Maschinenfabrik Escher Wyss & Cie., Zürich. — Ein französisches Bebauungsplan-Gesetz. — Von der Rutschung am Calaveras-Damm in Californien. — Miscellanea: Eidgenössische Technische Hochschule. Das 50-jährige Jubiläum der G. e. P. Der Neubau der Taubstummen-Anstalt in Leipzig. Schweiz. Naturforschende Gesellschaft. Direktion der Eidg. Bauten. Schweizerische wirtschaftliche Studienreise nach Nordamerika. Eidgenössische Technische Hochschule. — Nekrologie: E. Haeckel. — Konkurrenzen: Preisausschreiben zur Schaffung von Mittelstandsheimen in Zürich. — Literatur. — An unsere Leser. — Vereinsnachrichten: Gesellschaft ehemaliger Studierender.

Band 74. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet. **Nr. 8.**

Die selektiven Korrosionen.

Die Bedingungen ihres Entstehens und die Mittel, sie zu verhüten.

Von Oberingenieur *F. v. Wurstemberger*, Zürich.

(Fortsetzung von Seite 68.)

Die Ergebnisse.

Die durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, *dass anodische Vorgänge, auch wenn ihr erster Ansatz, den gleichartigen Verhältnissen entsprechend, ein durchaus homogener ist, einen sehr unhomogenen Verlauf nehmen können, mit Angriffserscheinungen, die vollständig denen bei selektiven Korrosionen gleichen,* oder aber, dass anfängliche Unhomogenitäten sich im Verlauf der Elektrolyse entweder verwischen oder sich deutlicher bemerkbar machen, alles dies je nach dem Einfluss, den die Elektrolysen-Produkte auf die Spannungs- und Leitfähigkeits-Verhältnisse ausüben, und je nach ihrer Widerstandsfähigkeit gegenüber chemischen Agentien und mechanischen Angriffen durch die Strömung.

Auch Unhomogenitäten der kathodischen Vorgänge wurden beobachtet. Sogenannte Metallbäume, verästelte Gebilde, als die sich die niederzuschlagenden Metalle abscheiden, entstehen, wenn die Metallabscheidung leichter an einem eben niedergeschlagenen Teilchen erfolgt, als wiederum auf dem ursprünglichen Grund. Dem Wachsen solcher Gebilde gegen die Anode hin ist das Arbeiten mit geringer Stromdichte bei hohem Widerstand des Elektrolyten förderlich. Unter solchen Verhältnissen wird der Stromweg geringsten Widerstandes stets von den eben abgesetzten Metallteilchen zur Anode führen, und damit wird sich der Stromdurchgang auf diese Stelle konzentrieren und dort den Niederschlag anwachsen lassen.

Weniger leicht übersichtlich sind die Bedingungen, die bei anodischen Vorgängen Unhomogenität im Verlauf des Angriffes hervorrufen, aber auch sie müssen sich aus den Faktoren Leitfähigkeit, Polarisations-Spannungen, Abscheidungs-Spannungen usw. aufbauen. Wie für alle chemischen Vorgänge gilt für sie das Gesetz, dass jedem Geschehen ein bestimmtes Potential eigen ist, und dass von den vielen Möglichkeiten der Salzbildungen und Abscheidungen, die bei dem Nebeneinander vieler Anionen und Kationen denkbar sind, diejenige zuerst eintritt, die das kleinste Potential erheischt. So entspricht z. B. die primär an der Anode entstehende Verbindung, wenn mit Rücksicht auf die vorhandenen Anionen verschiedene Wertigkeiten des Kations in Frage kommen, stets dessen niedrigster Wertigkeit. Kupfer geht in Na Cl-Lösung als Cupro-Ion $Cu^{\cdot}$ und nicht als Cupri-Ion $Cu^{\cdot\cdot}$ in die Ionenform über, und dementsprechend bildet sich das schwerlösliche Kupferchlorür Cu Cl, nicht das leichtlösliche Kupferchlorid $CuCl_2$. Auch in salzsaurer Lösung, in der das Cuprosalz nicht, wie in neutraler, infolge seiner Schwerlöslichkeit sichtbar wird, ist das Kupfer trotzdem als Cupro-Ion in Lösung.

Infolge *sekundärer Vorgänge* können indessen an der Anode alle möglichen Salzbildungen entstehen. Sobald die Oberfläche der Elektrode einmal durch eine aufgelagerte Schicht verändert ist, so hängt es ausser von der Durchlässigkeit und Leitfähigkeit dieser Schicht von den in Frage kommenden Bildungs- oder Abscheidungs-Potentialen ab, ob im weiteren Verlauf der Elektrolyse dauernd neue Metall-Ionen mit niedrigster Wertigkeit in Lösung gehen, oder ob weiter zuwandernde Anionen (z. B. Chlor) sich unter Gasbildung entladen, oder ob endlich unter ihrem Einfluss oder jenem sonst vorhandener Oxydationsmittel das erst gebildete Salz in ein solches einer höheren Oxydationstufe übergeführt wird.

Es ist einleitend bereits auf die Gesetzmässigkeiten hingewiesen worden, die bedingen, dass mancher Vorgang schon zum Stillstand kommt lange vor seinem durch Mangel an Stoffen bedingten vollständigen Ablauf, weil den bei dem Vorgang auftretenden Produkten eine den Vorgang verzögernde, die ursprünglichen Stoffe schützende Wirkung innewohnt. Ausser dem Vorgang der rechnerisch erfassten Polarisation darf man wohl auch die Bildung dichter, nicht leitender Schutzschichten, wie der bekannten Patina auf Bronzen, als unter dieses Prinzip fallend auffassen.

Die *Polarisation* besteht darin, dass sich die Anode mit dem elektrisch negativ-, die Kathode mit dem elektrisch positiv-geladenen Elektrolysenprodukt beschlägt und dass dadurch das Elektrodenpaar eine gegenelektromotorische Kraft, das sogenannte Polarisations-Potential, entwickelt, das imstande ist, äusseren Spannungen, die nicht höher sind als es selber, das Gleichgewicht zu halten und grössere um seinen Betrag zu vermindern. Mitbeteiligt an der Polarisation ist auch die Veränderung der Metall-Ionen-Konzentration in der Nähe der Elektroden, anodisch durch Entstehung neuer Ionen, kathodisch durch Entladung solcher unter Metallabscheidung. Die Verschiedenheit der Art der aufgesetzten Schichten der Ionenbeweglichkeiten und der Diffusions-Geschwindigkeiten bringt es mit sich, dass ausser der Polarisations-Spannung auch die Polarisations-Kapazitäten von Fall zu Fall sehr verschiedene sein können.

Eine Verschiedenheit besteht auch bezüglich der *Widerstandsfähigkeit gegenüber Depolarisatoren.* Gewisse Salze, z. B. Kupferchlorür, zerfallen leicht hydrolitisch, und infolge der grossen Unlöslichkeit des Oxyduls vermindert sich damit die Ionenkonzentration an dieser Stelle, sie wird depolarisiert. Gasförmige Polarisationschichten werden besonders bei starker Strömung des Elektrolyten leicht weggespült. Dasselbe geschieht mit voluminösen flockigen Bildungen. Anderseits gibt es aber Verbindungen, insbesondere Oxyde und Oxychloride, die ausserordentlich fest haften und die in Form von *Anlauf-Schutzschichten* von ganz dichter feinhäutiger Struktur auch starker Strömung widerstehen. Wie diese können entweder durch direkte Verbindung oder mittelbar über das Salz irgend einer Säure Sulfide entstehen, die dem Charakter der entstehenden Schicht nach den basischen Schichtbildungen ganz ähnlich sind. Oxyd, Oxychlorid, Karbonat und Sulfidschichten sind eher als isolierende Schutzschichten anzusprechen, während Salzschichten, wie sie in sauren und neutralen Elektrolyten entstehen, mehr den Charakter von Polarisations-Schichten zeigen.

Die *ersten deutlichen unhomogenen Ansätze anodischen Angriffes* wurden in *Sodalösung* mit *Kupferelektroden* bei Elektrolysen mit niedrigen Spannungen erhalten. Das dabei in Betracht kommende elektrolytische System wurde als ein Nebeneinander der Ionensysteme $H^{\cdot}(OH)'$ und $H^{\cdot}(CO_3)'$ aufgefasst. Dies führte mit Erfolg zur Uebertragung der Versuche auf alkalisch gemachte Kochsalzlösungen. Doch erst die weitere Ausdehnung der Versuche auf Oxydationsmittel enthaltende Lösungen liess erkennen, dass die beobachtete *partielle Polarisations- und Isolierschicht,* unter deren Einfluss einzelne Teile geschützt bleiben, während der ganze elektrolytische Angriff auf andere ungeschützte Stellen konzentriert wird, wesentlich von der Anwesenheit eines *Oxydationsmittels,* z. B. im Wasser gelöster Luft, abhängt, denn in Abwesenheit eines solchen entsteht das nicht schützende Oxydul.

Die Schicht besteht aus Oxyd, untermischt mit schwer löslichen Salzen, Oxychloriden oder Karbonaten. Sie entsteht

in neutraler oder alkalischer Lösung und wird leicht an einzelnen Stellen durch irgend einen Anionen-Angriff durchbrochen. Alkalität der Lösung ist für ihr Entstehen nicht notwendig, doch ihrem Fortbestehen günstig, während Säuren sie zerstören.

Entstehungs- und Fortschrittsbedingungen selektiver Korrosionen sind durch diese Versuche, deren Resultate hier zusammengefasst sind, vollständig aufgeklärt. Die Vorgänge konnten in alle Einzelheiten verfolgt werden, und sie spielen sich durchaus im Rahmen der bekannten elektrochemischen Gesetze ab. — Es ist möglich, solche Korrosionen willkürlich hervorzurufen, und es gibt Mittel, sie zu verhindern.

Selektive Korrosionen und unhomogene anodische Angriffe entstehen nur bei Metall-Flüssigkeits-Kombinationen, bei denen sich schwer lösliche Salze bilden, deren Auflagerung das elektrolytische Potential des Metallstückes verändert und deren homogenes Aufsetzen durch irgend welche Faktoren gestört werden kann.

Zwei beliebige Stellen ein und desselben in einen Elektrolyten eingetauchten Metallstückes bilden unter dem Einfluss einer solchen Potentialdifferenz ein in sich kurz geschlossenes galvanisches Element. Die nicht bedeckte oder mit einer Auflagerung geringern negativen Potentiales behaftete Stelle übernimmt die Rolle der Anode und wird angegriffen. Dies also ohne dass Strom von einer äussern Quelle zugeführt wird. Dient dagegen das ganze Metallstück als Anode in einem System, dem von aussen Strom zugeführt wird, so macht sich die erwähnte Potentialdifferenz zwischen zwei Stellen umso mehr bemerkbar, je höher sie im Verhältnis zu der von aussen angesetzten Spannung ist. Der Grössenordnung nach liegt diese Potentialdifferenz immer unterhalb 1 Volt. Am typischsten treten deshalb die Erscheinungen auf an Anoden, die ihren Strom von galvanischen Elementen oder einzelligen Akkumulatoren erhalten, weil dann die Möglichkeit vorliegt, dass grosse Teile der Anode infolge des verhältnismässig hohen Gegenpotentiales der Auflagerung oder ihrer Isolierfähigkeit vollständig geschützt bleiben und sich der Stromdurchgang auf einzelne wenige Stellen konzentriert, wo diese Schicht verletzt ist. Damit der Vorgang entstehen und dauernd fortschreiten kann, *muss* ausser der Bildung von Polarisations- und Isolierschichten *durch irgend welche mechanische oder chemische Mittel an gewissen Stellen dauernd lokale Depolarisation erfolgen.*

Es ist damit die Entstehung *zweier verschiedener Arten von Korrosionen* charakterisiert, die auch in der Praxis meist deutlich zu unterscheiden sind.

Korrosionen, entstanden ohne Einfluss von zugeführtem Strom, erscheinen als mehr oder weniger ausgedehnte rote Stellen von körnigem porösem Aussehen. Der Vorgang wurde bisher fälschlich als *Entzinkung* angesprochen, in der Meinung, dass das rötliche Material das beim Weglösen des Zinkes übrig gebliebene Kupfergerüst der Legierung sei. Abgesehen davon, dass eine technisch verwendbare Kupfer-Zink-Legierung wie Messing, die vollständig aus Mischkristallen besteht, nicht in einer derartigen Weise aufgelöst werden könnte, geht die Unhaltbarkeit dieser Auffassung klar daraus hervor, dass solche Korrosionen in genau gleicher Weise auch an reinem Kupfer auftreten. Die rote, poröse Masse ist *Kupferoxydul* und ist jene Verbindung, die sich aus dem bei einer Elektrolyse zuerst entstehenden Kupferchlorür durch *Hydrolyse* oder durch *Einwirkung von Alkalien* bildet. Eine solche rote Stelle, an der der Umschlag von Chlorür in Oxydul stattgefunden hat, ist anodisch gegenüber jeder andern mit Chlorür oder Oxychlorid bedeckten Stelle, und unter der Oxydulschicht schreitet deshalb der Angriff weiter. Anlass zur Entstehung solcher Stellen geben lokale starke Erwärmungen, Anschwemmungen von festen Alkalien oder Karbonaten an rauhen oder mit Auflagerungen versehenen Stellen, Schlamm-Ablagerungen, Stopfbüchsen-Packungen und dergleichen.

Korrosionen, entstanden unter Einfluss äusserer galvanischer Ströme, finden sich in Kühlrohrsystemen als beliebig zerstreute, kleine, halbkugelige oder längliche Aushöhlungen mit scharfen, meist unterschnittenen Kanten. An verzinnten Röhren tritt die Erscheinung ausgesprochener auf als an unverzinnten. Die Korrosionen sind meist ausgefüllt mit Oxydul. An Stellen starker Strömung erscheint das Metall auch wohl blank kristallinisch, beim Eintrocknen zeigt sich aber auch dort meist die typische ziegelrote Färbung. Von rein mechanischen Auswaschungen durch die Strömung unterscheiden sich diese Stellen deutlich dadurch, dass ihre Ränder scharf begrenzt und nicht dem Strömungs-Verlauf entsprechend auslaufend sind.

Der *Entstehungsvorgang* ist der, dass die zuerst entstehenden Polarisationschichten unter den chemischen Einwirkungen des Betriebwassers und der Erwärmung teilweise depolarisiert, teilweise in Isolierschichten übergeführt werden, wodurch der elektrolytische Angriff auf einzelne Stellen konzentriert wird. Am ausgesprochensten entstehen lokale Angriffe, wenn der Vorgang der Isolierschichtbildung nur langsam vor sich geht und bei höheren Stromdichten versagt. In diesem Falle wird der Fortschritt einer einmal begonnenen Korrosion nicht mehr durch Polarisation aufgehalten.

Solchen Korrosionen sind diejenigen Metalle am meisten ausgesetzt, bei denen die Möglichkeit der verschiedenartigsten, u. a. schwerlöslicher und unbeständiger Salzbildungen besteht. Dies trifft z. B. bei Kupfer zu, das ausser als Cupro- oder Cupri-Ion (d. h. ein- oder zweiwertig) event. sogar als komplexes Anion auftritt. Die erst entstehenden Cuprosalze gehen je nach den Verhältnissen in basische Cuprisalze oder durch Hydrolyse in Oxydul über.

Von Lösungen sind diejenigen am gefährlichsten, die durch hydrolytische Spaltung einerseits die Wirkung von Säuren besitzen, anderseits schwerlösliche alkalisch reagierende Hydroxyde bilden. Hierin liegt die Schädlichkeit des Magnesiumchlorides $Mg\,Cl_2$ begründet.

Als *Ursache selektiver Korrosionen* darf nach dem Gesagten nicht ein bestimmtes chemisches Agens angesehen werden. Es handelt sich vielmehr um eine *elektrolytische Erscheinung*, die vom Zusammentreffen verschiedener Faktoren abhängig ist. Als solche kommen in Betracht:

1. Galvanische Ströme, besonders solche geringer Spannung, z. B. aus Metallkombinationen Eisen-Messing.
2. Die Metall-Legierung selbst und die chemischen und physikalischen Eigenschaften ihrer Salze.
3. Die Natur des Elektrolyten und sein chemisches Verhalten zu dem betreffenden Metall und seinen Salzen.
4. Die Betriebverhältnisse, wie Erwärmungen in ihrem Einfluss auf die chemischen Reaktionen, die Leitfähigkeiten und Potentialverhältnisse, ferner Strömungs-Verhältnisse in ihren mechanischen und chemischen Einwirkungen auf die sich bildenden Schichten und ihre polarisierenden Wirkungen.

Aus dem Zusammenspiel und der Wechselwirkung dieser Faktoren resultieren selektive Korrosionen, wenn von den ersten homogenen Bildungen aus auf dem Wege sekundärer Umsetzungen verschiedene Weiterentwicklungs-Möglichkeiten bestehen.

Ohne weiteres ist in diesem Zusammenhang auch erklärlich, warum Kontrollversuche, die da und dort gemacht wurden und die darin bestanden, dass ein Kupferstab eine Zeit lang in eine Wasserkammer des von Korrosionen befallenen Kondensators eingehängt oder eingelegt wurde, um an dessen Intaktbleiben die Untauglichkeit der verwendeten Rohr-Legierung nachzuweisen, doch als irreführend erkannt werden mussten, wenn man auf Grund dieses Ergebnisses daran ging, die Messingrohre durch Kupfer-Rohre zu ersetzen und dadurch doch keine Abhilfe erzielte.

Elektrolytische durch die Konstruktion bedingte Verhältnisse, die Natur der Legierung, die Art des Wassers, die Betriebverhältnisse schaffen, jedes für sich, nur eine Veranlagung, die in vielen Fällen zu keiner schädlichen Wirkung kommt, hier und dort zeitigt aber ihr Zusammentreffen die Erscheinung.

Praktische Anwendungen.

Die so gewonnenen Erkenntnisse über die allgemeinen Entstehungsbedingungen selektiver Korrosionen sollen nun auf die besonderen Erscheinungen an Wärmeaustausch-Apparaten, speziell Kondensatoren, angewendet werden. Dabei wird sich Gelegenheit bieten, die Konstruktion der Kondensatoren bezüglich der Entstehungsmöglichkeit galvanischer Ströme zu untersuchen, den Einfluss der Legierung, der Natur des Zirkulationswassers und der Betrieb-Verhältnisse zu erörtern und teils bekannte, teils neue Abhilfevorschläge zu diskutieren.

Die galvano-elektrischen Verhältnisse in Kondensatoren. Die Wirkungsweise sogenannter Protektoren.

Eine *Möglichkeit des Entstehens galvanischer Ströme liegt* bei Rohrsystemen oder Maschinen, die aus verschiedenartigen Metallen zusammengesetzt sind und mit ionisierten Flüssigkeiten zusammenkommen, *immer vor.* Ein Wärmeaustauschapparat mit zwei Flüssigkeitsräumen stellt in diesem Hinblick eine Menge paralleler, in Gruppen gegeneinander geschalteter galvanischer Elemente dar, wobei die Schaltung zufälligem Wechsel unterworfen ist, je nachdem eine Stoss-Stelle der beiden Metalle eine metallisch leitende Verbindung oder aber Stromübergang durch feuchte Salz-Krusten aufweist. Der Dampfraum eines Kondensators, dessen Wände und Kühlfläche mit Kondenswasser beschlagen ist, ist bei dieser Betrachtungsweise ebenfalls als Flüssigkeitsraum und sein Inhalt als Elektrolyt anzusprechen.

Es ist nun klar, dass bei der üblichen Kondensator-Konstruktion, die aus einem an beiden Enden in je einem messingenen Rohrboden liegenden Rohrbündel besteht, das von einem Blechmantel eingehüllt und von zwei gusseisernen Deckeln abgeschlossen ist, die Messingteile unbedingt kathodisch sein müssten, sofern allein das Zirkulationswasser als Elektrolyt in Betracht käme. Stehen Deckel und Rohrplatten in gut metallischer Berührung, so werden höchstens die der Platte benachbarten Teile des eisernen Deckels nach und nach aufgelöst. Ist dies nicht der Fall, so kann ein galvanischer Strom seinen Weg in die Eisen- und Metall-Teile des Kondensators nehmen und irgendwo, am nächstliegenden wohl in dem durch Kühlrohre, Kondensat als Elektrolyt, Tragwand und Kondensatormantel gebildeten Stromkreis seine Auswirkung finden. Die Folge können Anfressungen an der Aussenseite der Rohre sein an ihren Auflagestellen in den Rohrtragwänden.

Betrachten wir nun in gleicher Weise die Verhältnisse im Dampf-, bezw. Kondenswasserraum. Es sei eine Verunreinigung und damit eine Ionisierung des Kondensates durch Soda, die aus dem Kessel mitgerissen sein mag, oder durch Salzwasser, das infolge irgend einer Undichtigkeit in den Kondensator gelangte, vorausgesetzt. Die Rohre ruhen im Innern des Kondensators, in Bohrungen einer oder mehrerer eiserner Tragwände. Eine rein metallische Berührung hört dort sehr bald auf, weil sich die Löcher mit einer Rostkruste auskleiden, auf der das Rohr aufliegt und die bei den geringen Spannungen, die hier in Frage kommen, nur in feuchtem Zustand, also als Träger der ionisierten Flüssigkeit leitet. Dementsprechend bildet das Rohrsystem die positive, die Tragwand die negative Elektrode eines Elementes, dessen Elektrolyt das an den Rohren und der Tragwand niedergeschlagene Kondensat ist, wobei Salzanreicherungen in den Spielräumen zwischen Rohr und Tragwand eine Rolle spielen.

Ein solcher Strom sucht sich zu schliessen auf dem Wege von den Rohrenden aus zu den Rohrböden hin und ist unschädlich, wenn zwischen Rohren und Böden eine gute metallische Verbindung besteht, führt aber zu Korrosionen, wenn er aus dem Rohr in das Zirkulationswasser austreten und seinen Weg durch dieses als Elektrolyten nehmen muss. In einem Zirkulationswasser, das Krusten-Bildungen ausschliesst, müssten die vorstehenden Rohrenden gleichmässig abgefressen werden, in krustenbildendem Wasser dagegen würden die Anfressungen in Form selektiver Korrosionen weiter ins Rohrinnere verlegt.

Mit einer guten metallischen Verbindung zwischen Rohrenden und Rohrboden ist aber nicht in allen Fällen geholfen. Es muss gleichzeitig auch eine gute Verbindung zwischen Rohrboden und Kondensatormantel bestehen, sonst dehnt sich die Möglichkeit der Bildung von Korrosionen lediglich noch auf die Rohrböden aus, wenn Mantel und Deckel unter Ueberspringung des Rohrbodens miteinander in Verbindung stehen. Die übliche Vernietung des Kondensatormantel-Flansches mit der messingenen Rohrplatte durch Eisennieten kann bei den in Frage kommenden geringen Spannungen nicht als sichere metallische Verbindung angesprochen werden.

Hier ist es nun am Platze, auch auf die vielerorts angewandten sogenannten *Protektoren* näher einzugehen. Sie bestehen aus einem Stück eines unedlen Metalles, wie Zink, Aluminium oder Eisen, das an die zu schützenden Metallteile elektrisch leitend angebracht wird und mit ihnen in denselben Elektrolyten taucht, zum Zweck, jenen Teilen damit den Charakter von Kathoden zu geben und die Metallauflösung auf die als Anoden funktionierenden Protektoren zu beschränken. Dieses Mittel ist zweckdienlich, wenn es in einem bestimmten Falle möglich ist, die Kathodenwirkung tatsächlich und dauernd auf das gesamte zu schützende System zu verteilen.

Sobald es sich aber um Konstruktionen handelt, bei denen die zu schützenden Metall-Teile in sehr verschiedenen Abständen von der Anode liegen, so bleiben die entfernter liegenden ungeschützt, wenn nicht sehr starke Schutzströme mit entsprechendem Anodenverbrauch aufgewendet werden, oder wenn nicht wegen gewisser Bestandteile des Wassers, speziell seines Kalkgehaltes wegen, intensive kathodische Polarisation auftritt. Es darf nicht übersehen werden, dass der Charakter der Kathode in der Aufnahme positiver Strombahnen aus dem Elektrolyten besteht, dass aber diese stets die Wege kleinsten Widerstandes suchen und keinen Grund haben, von der Anode aus durch die Flüssigkeit-Säule weit ins Innere der Rohre vorzudringen.

So ist es bei Verwendung von Protektoren ohne weiteres möglich, dass von ausgedehnten Metallmassen nur gewisse Teile kathodisch, andere neutral werden und wieder andere sogar anodisch bleiben.

Die übliche Form der Protektoren: *Eisenplatten in metallischer Verbindung* mit den Rohrböden, schützen die Rohre selbstverständlich nur dann, wenn gleichzeitig eine gute metallische Verbindung zwischen Rohren und Rohr-Böden hergestellt ist. Jedes nicht gut leitend mit dem Boden verbundene Rohr bleibt ungeschützt. Aber auch wenn die Verbindung in Ordnung ist, so wirkt, wie gesagt, der Schutz nur auf eine gewisse Tiefe ins Rohrinnere. Auf jeden Fall wird viel Elektroden-Material unnötig verbraucht in Kreisströmen, die sich zwischen Protektor und Rohrplatte schliessen.

Das *Cumberlandverfahren* mit Einführung eines *Schutz-Stromes* in derselben Richtung wie ihn die Eisenelektroden selbst erzeugen würden, bringt nichts wesentlich neues, lediglich eine intensivere Anwendung des Protektoren-Systems, bezw. des kathodischen Schutzes. Bei der Unsicherheit der metallischen Berührung an den vielen Stoss-Stellen im Innern des Kondensators besteht dabei aber immer die Gefahr, dass gewisse Teile als Zwischen-Elektroden durchflossen werden und so an ihren anodischen Teilen wiederum Korrosionen ausgesetzt sind.

Auf eine *unerwünschte Nebenerscheinung*, die allen Protektorenvorrichtungen und Schutzstrom-Verfahren anhaftet, ist noch hinzuweisen; es ist dies die *Vermehrung der alkalischen Reaktion des Betriebwassers.* Als dem Wasser Leitfähigkeit verleihendes Salz kommt in der Praxis meist irgend ein Natriumsalz in Frage, weil Natrium das verbreitetste praktisch ausschliesslich leicht lösliche Salze bildende Metall ist. Jede Elektrolyse von Natriumsalzen erzeugt an der Kathode ausser Wasserstoff eine entsprechende Menge Natronlauge. Der vorher neutrale Elektrolyt wird alkalisch, und das heisst nichts anderes, als dass jedem Salzwasser durch Elektrolysen korrosionsfördernde Eigen-

schaften gegeben werden können, und dass darum bei kathodischem Schutz, wenn dieser an gewissen Stellen auch vollkommen sein mag, dafür andere Stellen umso mehr gefährdet sind.

Die an der Kathode entstandene Natronlauge würde allerdings, wenn sie mit den an der Anode gebildeten Chloriden restlos zusammenkäme, wieder vollständig neutralisiert unter Rückbildung von Natriumchlorid und Ausfall des Anodenmetall-Hydroxydes. Im praktischen Betrieb werden aber einzelne Rohrpartien einen Ueberschuss von Chloriden, andere einen solchen an Natronlauge führen, dies je nach den Strömungsverhältnissen. Die Rolle, die die Alkalität in Schichtenbildung und Depolarisation spielt, ist schon erörtert worden.

Nach diesen Ueberlegungen sollte die Wirkung der Protektoren die folgende sein: Irgend eine Aenderung in dem Auftreten der Korrosionen ist beim Anbringen von Protektoren mit Bestimmtheit zu erwarten, doch braucht sie nicht unbedingt eine günstige zu sein. Die Korrosionen können gerade so gut an einem Ort verschwinden, um an einem andern in verstärktem Masse aufzutreten. Dies hat eben seinen Grund darin, dass bei ihrer Anwendung neben der unbedingt günstigen kathodischen Wirkung die Erzeugung alkalischer Kathodenprodukte nebenher geht. Zudem werden, da der Schutzbereich der Protektoren je nach dem Zustand der Elektroden und je nach der Leitfähigkeit der Stoss-Stellen der verschiedenen Metalle ein variabler ist, Zonen entstehen, die bald anodischen, bald kathodischen Charakter haben und so bevorzugte Gebiete für selektive Korrosionen darstellen. Die sich gegenseitig widersprechenden Erfahrungen der Praxis bei Verwendung elektrolytischen Schutzes dürfen wohl als eine Bestätigung der Richtigkeit dieser Ueberlegungen angesehen werden.

Legt man sich nun die Frage vor, ob überhaupt von irgend welchen Massnahmen, die die Veränderung der Entstehungsmöglichkeiten galvanischer Ströme ins Auge fassen, etwas zu erwarten sei, so wird man sich sagen müssen, dass, da es sich um komplizierte Leitersysteme handelt, die Einschaltung irgend welcher Gegenmassnahmen zur Unschädlichmachung einmal verteilter Ströme stets von zweifelhaftem Wert sein wird. Dagegen dürften Massnahmen Erfolg haben, die die Bildung galvanischer Elemente ganz verhindern oder entstehende Ströme an ihrer Quelle kurzschliessen durch Sicherung gut metallischer Verbindung an den Stoss-Stellen verschiedenartiger Metalle. Zu diesem Zwecke wird man Tragplatten im Innern der Kondensatoren ganz vermeiden oder aber sie aus einem nichtleitenden Material herstellen. Sind metallische Platten nicht zu umgehen, so ist dafür eine Kupferlegierung zu wählen und an der Stoss-Stelle mit dem Eisenmantel eine gute Verbindung durch Verlöten zu sichern. Auch eine gute Kurzschluss-Verbindung der Rohrböden mit dem Kondensator-Mantel ist vorzusehen. Damit wird erreicht, dass wenn einmal durch eine zufällige Verunreinigung des Kondensates dieses zum Elektrolyten wird, galvanische Ströme sich an ihren Entstehungsstellen auswirken müssen, ohne Gelegenheit zu haben, sich einen Stromweg unter Einbezug des Zirkulationswassers als Elektrolyt auszusuchen und dort Korrosionen hervorzurufen. (Schluss folgt.)

Zur Entwicklung der Bergwerk-Fördermaschinen mit elektrischem Antrieb.

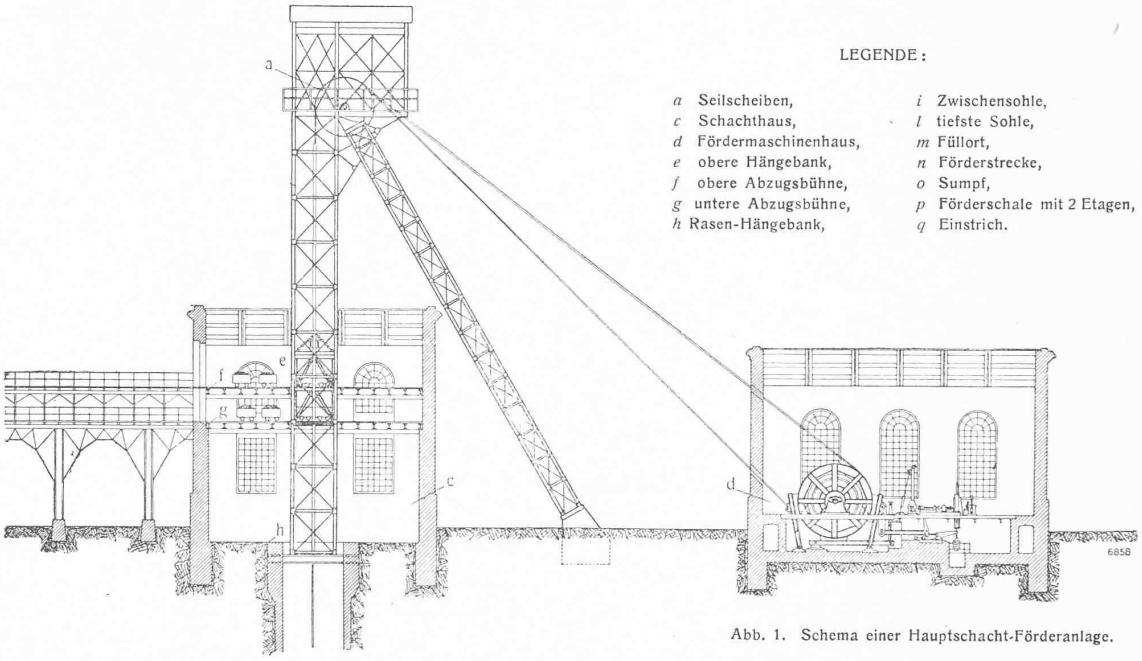
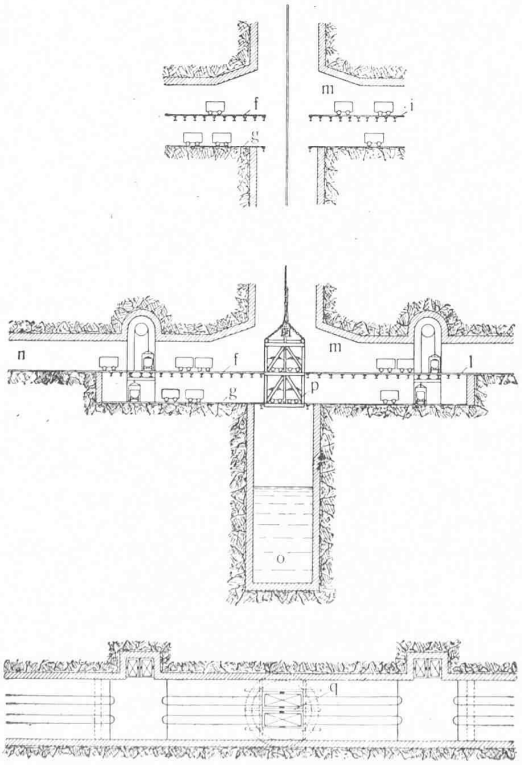
Abb. 1. Schema einer Hauptschacht-Förderanlage.