

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 33 (1942)
Heft: 16

Artikel: Betriebserfahrungen über das Rosten und den Rostschutz von Druckleitungen in der Schweiz : Bericht für den Kongress 1939, Rom
Autor: Oertli, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1056688>

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: 13.01.2026

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

BULLETIN

REDAKTION:

Sekretariat des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Zürich 8, Seefeldstrasse 301

ADMINISTRATION:

Zürich, Stauffacherquai 36 ♦ Telephon 51742
Postcheck-Konto VIII 8481

Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet

XXXIII. Jahrgang

Nº 16

Mittwoch, 12. August 1942

Betriebserfahrungen über das Rosten und den Rostschutz von Druckleitungen in der Schweiz

Bericht für den Kongress 1939, Rom *),
der Union Internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique (UIPD)

Von H. Oertli, Bern

620.193 : 627.844

Auf Grund einer Umfrage bei 40 Kraftwerken werden die Erfahrungen über das Rosten der äusseren und inneren Rohroberfläche von Druckleitungen verschiedenen Typs (dem Wetter ausgesetzt, in feuchten Räumen, in Erde verlegt) bekanntgegeben. Die beobachteten Veränderungen der äussern und innern Rohroberfläche und die angewandten Schutzüberzüge und die damit gemachten Erfahrungen werden behandelt. Aus dem umfassenden Material werden die Schlussfolgerungen gezogen.

Der vorliegende Bericht stützt sich auf die Ergebnisse einer Umfrage der Bernischen Kraftwerke A.-G. bei den schweizerischen Kraftwerken, die Druckleitungen besitzen. Die eingegangenen Antworten betreffen 40 Kraftwerke; die meisten dieser sind beschrieben im «Führer durch die schweizerische Wasserwirtschaft»¹⁾, der weitere Literaturhinweise enthält. Im Text dieses Berichtes sind die Kraftwerke mit kursiv und in Klammer gesetzten Nummern bezeichnet; ein nahezu vollständiges Namensverzeichnis befindet sich am Schlusse.

Die folgenden Abschnitte A bis E stellen einen Auszug aus den Mitteilungen der Werke dar; die Schlussfolgerungen sind im Abschnitt F zusammengestellt.

A. Merkmale der Anlagen und besonders der Druckleitungen

Die Gefälle der behandelten Kraftwerke betragen ungefähr 20 m...1750 m. — Die Druckleitungen haben Innendurchmesser von 500 mm (22,36) bis 3000 mm (29) und Wandstärken von 5 mm (25) bis 47 mm (4). — Bei fünfzehn Kraftwerken sind ein oder mehrere Rohrstränge aus genieteten Rohren zusammengesetzt (1, 8, 12, 13, 16, 17, 18, 23, 24, 25, 26, 28, 29, 33, 40); die älteste dieser Druckleitungen (24) ist seit 1894, die neueste (Werk 33, Druckleitung 4) seit 1918 in Betrieb. Bei acht Kraftwerken bestehen nur die obren Teile von

*) Da der Kongress infolge des Krieges nicht abgehalten werden konnte, veröffentlichen wir diesen (dem VSE bereits 1939 vorgelegten) Bericht hier im Einverständnis mit der UIPD.

La traduction française est à obtenir auprès du Secrétariat de l'UCS.

¹⁾ Verlag: Schweiz. Wasserwirtschaftsverband, Zürich.

Se basant sur une enquête auprès de 40 usines d'électricité, l'auteur indique les expériences faites au sujet de la rouille des surfaces externes et internes de conduites sous pression de divers types (en plein air, dans des locaux humides, enterrées). Il relève les modifications observées aux surfaces externes et internes de ces conduites, ainsi que les expériences faites avec les enduits de protection utilisés. Il tire des conclusions de ces nombreuses observations.

Druckleitungen aus genieteten Rohren (2, 3, 4, 5, 15, 19, 20, 30); diese Druckleitungen wurden 1911 bis 1928 in Betrieb gesetzt. Bei siebenundzwanzig Kraftwerken sind Druckleitungen aus (wassergas-, autogen oder elektrisch) geschweißten Rohren (2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 14, 15, 19, 20, 21, 22, 27, 30, 31, 32a, 32b, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39); die Inbetriebsetzung erfolgte 1908 (Werke 33, 37) bis 1937; die ersten aus elektrisch geschweißten Rohren zusammengesetzten Druckleitungen kamen 1927 in Betrieb (9, 32a, 32b).

Soweit über das Material nähere Angaben zu erhalten waren, bestehen die Druckleitungen aus Flußstahlblech; in den meisten Fällen handelt es sich um Siemens-Martin-Flußstahl von ungefähr 35 bis ungefähr 42 kg/mm² Festigkeit bei einer Mindestdehnung von ungefähr 25...22 %; eine Ausnahme macht eine Gruppe von sieben Kraftwerken (1 bis 7), bei denen die untern Teile der Druckleitungen, die unter höherem Druck stehen, aus Flußstahl von 41...47 kg/mm² Festigkeit und mindestens 23 % Dehnung hergestellt sind.

B. Verrostungen der äussern Rohroberfläche während des Betriebes

Je nach der Art der Verlegung sind die Druckrohre verschiedenen Beanspruchungen ausgesetzt, besonders entweder mehr dem Wetter oder mehr dauernder Feuchtigkeit.

Die freiliegenden,

dem Wetter ausgesetzten Rohre, rosteten nach den Berichten der Kraftwerke hauptsächlich

wegen mechanischer Beschädigungen des Rostschutzanzstriches durch Steinschlag, Betreten mit Bergschuhen usw.;

wegen Abblätterungen der Walzhaut;

wegen schlechten Grundanstriches;

wegen mangelhaften Farbanstriches im allgemeinen (in verschiedenen Fällen rührten die Mängel des Farbanstriches vom plötzlichen Schwitzen der Rohrleitungen während der Anstricharbeiten her);

wegen Undichtheiten der Rohre.

Diese Verrostungen ergaben, da der Rostschutzüberzug rechtzeitig ausgebessert oder erneuert wurde, praktisch keine Schwächung der Rohre.

Stärkere Rostanfressungen kamen in vereinzelten Fällen durch besondere Beanspruchungen vor. Z. B. tropfte zeitweise auf ein Druckrohr von 7 mm Wandstärke aggressives Abwasser; die angegriffenen Stellen fielen anfänglich nicht auf und es konnten sich dort bis nahezu 3 mm tiefe Rostgruben bilden.

In einem andern Falle wurde eine Rohrleitung (die, soweit sie zugänglich war, gut unterhalten wurde und in gutem Zustand war) bei den unzugänglichen Auflagestellen durch Rostfrass derart geschwächt, dass die betreffenden Rohrstücke ersetzt werden mussten; dabei wurden die Auflager verbessert.

Bei Rohrleitungen, die

in feuchten Räumen

(Stollen, Apparatekammern) lagen, wurde im allgemeinen mehr Rost festgestellt als bei Rohren im Freien. In den meisten Fällen war dabei der Rostschutzanzstrich der Rohre zu wenig feuchtigkeitsbeständig; in verschiedenen Fällen kam zu der fast ständig vorhandenen Feuchtigkeit die mechanische Beanspruchung einzelner Stellen durch Tropfwasser dazu. Nach Entfernung der Rostwarzen kamen Rostgruben bis etwa 1 mm, ausnahmsweise bis 2 mm Tiefe zum Vorschein; ihre Tiefe war wesentlich geringer als die Höhe der Rostwarzen. Durch diese Verrostungen trat nirgends eine gefährliche Schwächung der Rohre ein; hingegen war es mancherorts nötig, den ursprünglichen Rostschutzanzstrich durch einen neuen von besser geeigneter Art zu ersetzen.

Ueber den Zustand von Rohren, die

in der Erde

verlegt sind, liegen verhältnismässig wenig Meldungen vor; diese zeigen, dass mit einer Ausnahme (28) auch bei den ältesten Druckleitungen keine Rostanfressungen von mehr als etwa 1 mm Tiefe festgestellt wurden, so dass die Rohre zum mindesten an den kontrollierten Stellen nur unwe sentlich geschwächt sind. Bei der erwähnten Ausnahme handelt es sich um zwei 1,6 m weite Rohrleitungen, die 1899 und 1901 in Betrieb gekommen waren; 1923 hatte ein in saurem Boden liegender (seinerzeit mit Oelfarbe gestrichener) Abschnitt tiefe Rostlöcher; das dort 6 mm starke Blech war an einzelnen Stellen sogar durchgefressen. Durch Schraubzapfen und Schweissflicke wurden die Rohre gedichtet; der Rohrabschnitt, der am mei-

sten Rostanfressungen aufwies, wurde mit Beton umhüllt; im übrigen wurde der Rostschutz erneuert. Diese Massnahmen bewährten sich bis heute.

Nach den vorliegenden Berichten der Werke wurden in keinem Falle schädliche Wirkungen vagabundierender Ströme auf Druckleitungen nachgewiesen.

C. Aeußere Schutzüberzüge der Rohre

Die Mehrzahl der 40 Werke, die über ihre Erfahrungen berichten, haben Druckleitungen, die grösstenteils im Freien sind, mit Auflagerung auf Rohrsätteln. In nahezu der Hälfte dieser Fälle sind

die im Freien liegenden Druckrohre

ein- oder zweimal mit Mennige²⁾ und zweimal mit Deckfarbe auf Oelbasis (meist Eisenglimmerfarbe gestrichen. Die mit diesem Anstrichsystem gemachten Erfahrungen lauten im allgemeinen günstig.

Der etwas grössere Teil der im Freien liegenden Druckrohre ist mit Bitumenlack³⁾ gestrichen. Auch bei diesen Anstrichen werden im allgemeinen gute Erfahrungen gemeldet; es haben aber bei einigen Werken (21, 23, 28, 38) Anstriche mit Bitumenlacken nicht befriedigt, die sich andernorts bewährten; in einem Falle war nachgewiesenermassen die schlechte Qualität der betreffenden Farblieferung schuld (28), in einem andern Falle die ungenügende Reinigung des Bleches vor dem Anstrich (21). Nach Ansicht eines Werkes, das seine Druckleitungen hauptsächlich mit Eisenglimmerfarbe streicht, eignen sich Bitumenlacke nicht für Druckleitungen, die von der Sonne beschienen werden.

Auf die Frage, was für äußere Rostschutzüberzüge nach den heutigen Erfahrungen als besonders geeignet betrachtet werden, gingen von den Werken im wesentlichen folgende Antworten ein: Bei Rohren im Freien bezeichnen einzelne Werke (z. B. 23) Mennige für den Grundanstrich und Eisenglimmerfarbe für den Deckanstrich als das beste; andere Werke, die nicht über vergleichende Beobachtungen verfügen, halten das Anstrichsystem Mennige (1- oder 2mal) und Deckfarbe auf Oelbasis (2 mal) auf Grund ihrer Erfahrungen zum mindesten für zweckmässig und wirtschaftlich. Eine Unternehmung, die über eine Reihe von Kraftwerken (1-7) verfügt, schreibt, dass nach den bisherigen Beobachtungen bei gleiché Zahl von Farbauftragungen Bitumenlacke eine längere Lebensdauer zu haben scheinen als Oelfarben, und dass bei Berücksichtigung der verschiedenen Preise die Wirtschaftlichkeit nicht wesentlich verschieden sein dürfte. — Eine grössere Zahl von Werken, die gute Erfahrungen mit Bitumenlacken gemacht haben, empfehlen solche; es soll ein dünnflüssiger Bitumenlack mehrmals (z. B. 3- bis 4mal) aufgespritzt oder mit Pinsel aufgetragen werden, oder es soll für den Grundanstrich ein dünnflüssiger Lack und

²⁾ Unter «Mennige» ist gemeint: Bleimennige, abgerieben in gekochtem Leinöl; «Eisenglimmerfarbe» = Oelfarbe mit Eisenglimmer und eventuell mit Aluminium als Pigment.

³⁾ Unter «Bitumenlacken» sind auch teerhaltige verstanden.

für den Deckanstrich eine dickflüssige Bitumenmasse (eventl. mit Zusätzen wie Asbest) verwendet werden. Nötigenfalls können schliesslich besondere Farben zur Tarnung aufgebracht werden.

Bei Rohren in feuchten Räumen

und Stollen haben sich nach den Berichten der Werke Bitumenanstriche im allgemeinen bewährt (z.B. 2) und werden als zweckmässig empfohlen. Oelfarbenanstriche hielten sich weniger gut. Ein Werk (40) machte an Rohren in einem feuchten Stollen ausgezeichnete Erfahrungen mit Natriumbichromat-Zementanstrichen.

Die meisten

in der Erde verlegten Rohre

sind mit Bitumenlacken oder mit Teer gestrichen; verschiedene, besonders neuere Druckleitungen besitzen Umwicklungen mit Jutebändern zum Schutze des Anstriches gegen mechanische Beschädigungen und zur Erreichung grösserer Schichtdicke. — Ver einzelter in der Erde verlegte Druckleitungen (28) sind mit Mennige und mit reiner Bleiweissölfarbe gestrichen und mit Dachpappe umhüllt.

Ueber die Bewährung der im Boden befindlichen Anstriche liegen leider nur wenig Beobachtungen vor; meistens handelt es sich nur um Stichproben. Je nach der Bodenbeschaffenheit sind die Beanspruchungen der Anstriche sehr verschieden. — Nach den gemachten Beobachtungen haben sich Teer- und Bitumenanstriche unter sehr verschiedenen Bodenverhältnissen bewährt. Auch der erwähnte, nun 15 Jahre alte Anstrich von Mennige und Bleiweiss scheint sich zu bewähren.

Diejenigen Werke, die sich zur Frage geeigneter Anstriche für Rohre im Boden ausserten, sprechen sich für dicke, kalt oder heiss aufgetragene Bitumenanstriche aus; ein Werk (27) bezweifelt, ob bei seinen günstigen Bodenverhältnissen eine Juteumwicklung Vorteile geboten hätte; andere Werke (z. B. 19) empfehlen die Juteumwicklung mit nachfolgendem Auftrag einer dickflüssigen Bitumenmasse. In einem Falle wird darauf aufmerksam gemacht, dass es unter Umständen vorteilhaft sein kann, die Rohrleitungen nach dem Verlegen nicht einfach mit Aushubmaterial der betreffenden Stelle zu umgeben, sondern mit ausgesuchtem Material, von dem weniger aggressive Wirkungen auf Stahl ausgehen können.

Rohre, die

vollständig einbetoniert

sind, waren vor der Verlegung gereinigt und meistens mit Zementmilch oder, in den andern Fällen, überhaupt nicht gestrichen worden. Nach den vorliegenden Beobachtungen rosteten solche Rohre nicht oder nur ganz wenig, sodass die genannten Massnahmen als genügend erachtet werden.

Die Werke sind allgemein der Ansicht, dass die Druckleitungen, die frei oder in der Erde verlegt sind, aussen gute Rostschutzanstriche erhalten müssen. Die Metallisierung wird von den Werken, die sich darüber aussern, als zu teuer und zu zeitraubend bezeichnet.

Eine Anzahl Werke machen mit Nachdruck darauf aufmerksam, dass die Grundlage jeden Rostschutzes eine gründliche Reinigung ist. Manche Werke weisen besonders darauf hin, dass die Walzhaut durch Sandstrahlen entfernt und der erste Anstrich auf metallisch reines Eisen aufgetragen werden sollte. Sie betrachten das Sandstrahlen als teuer, aber doch als wirtschaftlich; andere Werke glauben, dass wegen der hohen Kosten das Sandstrahlen nicht immer wirtschaftlich sei. — Ferner sollte besonders darauf geachtet werden, dass die Rohrleitungen während der Anstricharbeiten und des Trocknens der Anstriche nicht schwitzen.

Die Werke sind auch der Ansicht, dass die Außenanstriche *unterhalten* und rechtzeitig erneuert werden müssen. Gewisse Werke erneuerten den Anstrich von Grund auf etwa 10 Jahre nach der Inbetriebsetzung, als die Verrostung in grösserem Umfange eingesetzt hatte. Je nach dem Grad der Verrostung und der zur Verfügung stehenden Zeit entrosteten sie von Hand oder mit dem Sandstrahlgebläse. Andere Werke (z. B. 23), die früher in ähnlicher Weise vorgegangen waren, halten es für wirtschaftlicher, die Anstriche in kurzen Zeitabständen zu kontrollieren und gründlich auszubessern. Es wird dabei vermieden, auf grössern Flächen gut erhaltene Anstriche zu entfernen. Dass sich dabei scheckige Anstriche ergeben können, wird nicht als Nachteil betrachtet, um so weniger, als die Druckleitungen heute getarnt werden sollten. — Einige Werke (z. B. 8, 11, 24) finden, dass mit Bitumenlacken besonders leicht und wirtschaftlich Anstriche auszubessern sind. Ein Werk (18) schreibt, dass die im Freien befindlichen Druckleitungen vor Verrosten genügend geschützt werden, wenn im Abstand von 5 bis 6 Jahren ein neuer Teeranstrich aufgetragen werde.

Einige Werke (z. B. 25, 29) weisen auf die Wichtigkeit hin, besonders auch die weniger leicht zugänglichen Teile der Druckleitungen rechtzeitig zu kontrollieren und zu unterhalten; durch die Bauart der Druckleitungen und besonders deren Auflager sollen schlecht zu unterhaltende Teile möglichst vermieden werden.

D. Veränderungen der inneren Rohroberfläche

Es liegen Beobachtungen an den Druckleitungen von 37 Kraftwerken vor.

Fünf ältere Werke, die vor 24 bis 44 Jahren in Betrieb gesetzt worden waren (16, 18, 23, 24, 40) melden, dass ihre Druckleitungen innen keinen Rost aufweisen. In einem Falle (16) ist kein Innenanstrich vorhanden, und es bildet nach Ansicht des betreffenden Werkes der 2...10 mm dicke Kalkansatz den Rostschutz. — Bei einem andern ältern Werk war der Farbanstrich durch die Scheuerwirkung des Wassers bald verschwunden; das Wasser schliff die Rohre zur Hälfte blank und setzte auf dem übrigen Teil etwas Kalk an. Bei den drei übrigen Werken (18, 23, 24) weisen die Rohre noch den ursprünglichen Mennigeanstrich auf; er ist mit einer etwa 2...5 mm, bzw. 10...20 mm starken Kalkschicht überzogen. Die Mennige und die Kalkschicht

bilden zusammen den Rostschutz. — Das Rohrinnere ist nur bei einem der fünf Werke Abnutzungen durch mechanische Beanspruchungen ausgesetzt.

Auch neuere Werke berichten, dass ihre Druckleitungen keinen oder nur unbedeutenden Rost aufweisen (z. B. 10, 14, 17, 19, 27, 35, 36; Inbetriebsetzung dieser Druckleitungen 1910 bis 1930); als Gründe für das günstige Verhalten des Rohrinnern werden angegeben:

Haltbarkeit des Schutzüberzuges,
Qualität des Wassers,
Schutzwirkung des Kalkansatzes.

Im übrigen sind — abgesehen von den Werken mit kurzer Betriebsdauer — die meisten Druckleitungen innen mehr oder weniger dicht mit Rostwarzen besetzt, manche Leitungen ungefähr gleichmäßig auf ihrer ganzen Ausdehnung, andere nur auf bestimmten Abschnitten oder sehr ungleichmäßig auf den verschiedenen Abschnitten.

Allgemein stärkere Rostbildung wird von den Werken zurückgeführt auf

die Beschaffenheit des Wassers,
die Blechqualität (z. B. 28, 37),
rauhe blätterige Walzoberfläche (15),
mangelhafte Anstriche und im besondern
Poren im Anstrich (z. B. 32a).

Das weniger günstige Verhalten gewisser Abschnitte derselben Druckleitung wird erklärt durch verschiedene Blechqualität (28, 23a), weniger gute Rostschutzüberzüge (z. B. 20), stärkere mechanische Beanspruchungen des Rostschutzüberzuges (z. B. 9), in einem Falle durch Schlammablagerungen (25).

Die beobachteten Rostwarzen waren etwa 1 mm bis mehrere Millimeter hoch, in verschiedenen Fällen bis etwa 10 mm und mehr; die entsprechenden Anfressungen im Eisen waren einige Zehntelmillimeter bis etwa 1...2 mm tief, in vereinzelten Fällen bis 5 mm und mehr (8). In keinem Falle wurde eine Druckleitung durch Rostanfressungen in gefährlichem Masse geschwächt; hingegen kamen in einem Falle (8) durch Rostlochfrass Undichtheiten vor, und in verschiedenen andern Fällen gaben die Rostanfressungen Anlass zu Reparaturen durch elektrische Schweißung sowie zu vollständiger Reinigung der Druckleitungen und zur Erneuerung des Rostschutzes.

Einige Werke (z. B. 26, 28, 29, 30) melden, dass die Verrostung seit Jahren keine merklichen Fortschritte gemacht hat, sodass Rostschutzarbeiten nicht nötig scheinen.

Die *Schleifwirkungen des Wassers* waren in weit aus den meisten Fällen, wo überhaupt solche festgestellt wurden, unbedeutend. Ein Werk (40) schreibt, dass durch das zeitweise sandhaltige Wasser am Rohrleitungsgrund innert 30 Jahren ungefähr 2 mm weggescheuert worden seien.

Acht Werke melden ein bis mehrere Millimeter, bis 20 mm, dicke *Kalkschichten* im Innern ihrer Druckleitungen; darunter befinden sich fünf der am Anfang des Abschnittes erwähnten Werke (16,

17, 18, 23, 24), deren Druckleitungen innen keinen oder sozusagen keinen Rost aufweisen; bei den übrigen drei Werken (8, 28, 12) hatten oder haben die Druckleitungen innen Rostwarzen; in zwei Fällen scheint der innere Kalküberzug der Rohre das Weiterrosten eher zu verhindern; in einem Fall (8) war die Rostschutzwirkung des Kalküberzuges sehr zweifelhaft.

Rostwarzen und Kalkansatz vergrössern die Rauhigkeit der Druckrohre und damit die Druckverluste. Diese wurden durch die «Druckverlustkommission» des SIA (Schweiz. Ingenieur- und Architektenverein) bei einer stark verrosteten Druckleitung (32a) gemessen; nachdem diese zur Verhinderung des Weiterrostens und weiterer Schwächungen gereinigt und gestrichen worden war, wurden die Messungen wiederholt, und es wurde dabei ein überraschend grosser Rückgang der Druckverluste festgestellt (3,5 % des Bruttogefälles bei ungefähr Vollastwassermenge; die Druckverlustkommission des SIA wird darüber zu gegebener Zeit Näheres veröffentlichen); die Reinigung erwies sich daher als wirtschaftlich. — Vier weitere Werke (1, 8, 15, 32b) melden die Reinigung und den Neuanstrich ihrer Druckleitungen; die erzielte Verminderung der Druckverluste wird in zwei Fällen als fühlbar bezeichnet; genauere Feststellungen liegen aber nicht vor.

Die meisten Werke bezeichnen den Druckverlust, der dem Rost, dem Kalkansatz und der Verschmutzung zuzuschreiben ist, als unbekannt, unbedeutend oder verschwindend klein.

E. Innere Schutzüberzüge der Rohre

Zwanzig der vierzig Werke, die darüber berichten, besitzen Druckleitungen, die beim Bau innen einen oder mehrere *Mennigeanstriche* ohne besondere Deckanstriche erhalten hatten (bei vier Werken nur die Abschnitte mit genieteten Rohren). Die betreffenden Druckleitungen waren in den Jahren 1894 (24) bis 1926 (5) in Betrieb gesetzt worden.

Bei drei Werken (1, 8 und 15) wurde je eine Druckleitung nach ungefähr 20 und 15 Betriebsjahren, als der ursprüngliche Mennigeanstrich vollständig zerstört war, mit einem vollständig neuen Innenanstrich versehen (dabei wurde nach Sandstrahlreinigung 3mal dünnflüssiger Bitumenlack aufgespritzt). Die übrigen Mennige-Innenanstriche sind heute bei 6 Werken (12, 13, 25, 28, 29, 30; Inbetriebsetzung 1895 bis 1913) vollständig oder doch zum grössten Teil verschwunden; die betreffenden Druckrohre erhielten keine neuen Innenanstriche; die meisten sind mehr oder weniger rostig. Bei sechs Werken (3, 5, 17, 19, 20, 33; Inbetriebsetzung 1908 bis 1926) ist der Mennige-Innenanstrich im allgemeinen noch erhalten, aber stellenweise von Rost durchsetzt. Bei drei Werken (18, 23, 24; Inbetriebsetzung 1894 bis 1914) ist die Mennige noch vollständig, und es ist kein Rost vorhanden; in allen drei Fällen ist die Mennige mit einer Kalkschicht bedeckt.

Bei einem Werk (31, Inbetriebsetzung 1929) war die Druckleitung innen zuerst mit Oelmennige und

dann mit einem Bitumenlack gestrichen worden; es trat nur dort etwas Rost auf, wo der Anstrich mechanisch beschädigt worden war.

Fünfundzwanzig seit 1910 in Betrieb gekommene Werke haben Druckleitungen, die beim Bau *Teer- oder Bitumenanstriche* erhalten hatten. In den meisten Fällen war ein dünnflüssiger Bitumen-Lack kalt ein- bis dreimal aufgepinselt oder gespritzt worden; in einigen Fällen war der Rostschutzüberzug, Teer oder Teerasphalt, warm durch Tauchen oder Spritzen aufgebracht worden. Bei zwei Werken (32a, 32b) wurde der Innenanstrich der Druckrohre nach 10 Betriebsjahren erneuert; die Rohre wurden sorgfältig entrostet und dann mit drei Bitumenanstrichen versehen (siehe auch Abschnitt D). Ein weiteres Werk (38) nahm nach verhältnismässig kurzer Betriebszeit teilweise Erneuerungen des Innenanstriches vor; im übrigen sind die Rohrinnenanstriche (die grösstenteils über zehn Jahre alt sind) bis zum Zeitpunkt der Berichterstattung nicht erneuert worden, weil sie noch in gutem Zustande waren oder weil die Rohre innen keine, unbedeutende oder erst mässige Verrostungen aufwiesen.

Ueber die Frage, ob *Schutzüberzüge des Rohrinnern* überhaupt nützlich sind, gehen die Ansichten der Werke auseinander. Ein Werk (16), dessen Druckleitungen innen nicht gestrichen sind, verneint die Nützlichkeit; es betrachtet den natürlichen Kalkansatz als Rostschutz; weitere Werke (17, 21, 22, 24) sind mit gewissen Vorbehalten ähnlicher Ansicht. Die weitaus grösste Zahl der Werke hält aber Schutzüberzüge für nützlich; verschiedene Werke, und besonders diejenigen, deren Druckleitungen verhältnismässig stark rosteten, bezeichnen sie als notwendig und unerlässlich. Eine Gesellschaft (32) macht in diesem Zusammenhange auf die oft sehr knappen Rostzuschläge aufmerksam. Als Zweck der Innenüberzüge werden Rostschutz und glatte Oberfläche angegeben. Zwei Gesellschaften (1...7 und 34...37) weisen besonders auf die Wichtigkeit des Rostschutzes vor der Inbetriebnahme hin; die erste schreibt, die Neigung zum Rosten scheine im Betrieb geringer zu sein; andere Werke messen dem Rostschutz im Betriebe grösere Bedeutung bei. Die Ueberzüge sollen die Rohre in erster Linie vor Schwächung durch Rostfrass schützen; es soll auch vermieden werden, dass Rostgebilde die Rohre rauh machen.

Der Rostschutzüberzug sollte so fest sein, dass er den mechanischen Beanspruchungen während des Betriebes und bei Revisionen widersteht. Eine Gesellschaft (1...7) erwähnt, dass bei Begehungungen keine genagelten Schuhe getragen werden sollten.

Nach Ansicht der Werke, die den Rostschutz für nötig halten und die über lange Erfahrungen verfügen, kann auf einige Dauer der Zweck sowohl mit Bitumen- und Teeranstrichen als auch mit Mennige erreicht werden; die Metallisierung scheint besonders wegen der Kosten und der zeitraubenden Arbeit wenig Aussicht zu haben, in grösserem Maßstabe praktisch angewendet werden zu können. — Bei Mennige ist eine verhältnismässig lange Trockenzeit Bedingung; steht eine solche nicht zur Ver-

fügung, so sind die erstgenannten Anstriche geeigneter. In den neuesten Werken, wo man bestrebt war, die Erfahrungen auszunutzen, wurden Bitumenlacke verwendet; es wurden drei dünne (7) oder je ein dünner und ein dickerer Bitumenanstrich aufgespritzt (34).

Betreffend die Reinigung, die dem Anstrich vorzugehen muss, ist auf das unter C, Aussenanstriche, Gesagte zu verweisen. Bei den in den letzten Jahren erstellten Druckleitungen ist der Reinigung besondere Aufmerksamkeit geschenkt worden; die Druckrohre wurden mit Sandstrahl behandelt. Die Kosten für die Sandstrahlreinigung und den Anstrich betragen ungefähr 5 Fr./m². — Von den fünf Werken (1, 8, 15, 32a, 32b), die den Innenanstrich von Druckleitungen erneuerten, entrosteten drei (1, 8, 15) mit Sandstrahl. Die zwei andern Werke entfernten den Rost mechanisch von Hand und mit einem chemischen Mittel; die Entrostung und der dreimalige Bitumenanstrich kosteten zusammen ungefähr 5 Fr./m².

Keines der berichtenden Werke verfügt über Erfahrungen an *Druckleitungen aus Spezialmaterial* (wie Armco-Eisen oder gekupfertem Stahl), von dem eventuell eine grössere Rostbeständigkeit erwartet werden könnte.

F. Schlussfolgerungen

Aus den Mitteilungen der Kraftwerke und aus eigenen Erfahrungen zieht der Berichterstatter folgende Schlüsse:

Es haben wohl zahlreiche Kraftwerke auf die Umfrage geantwortet und uns ausführlich über ihre Beobachtungen und Erfahrungen berichtet; trotzdem kann unser Bericht wohl nicht als vollständige Darstellung aller in der Schweiz gemachten Erfahrungen betrachtet werden. — Bei der Beurteilung des Zustandes der Druckleitungen ist offenbar, bei allem Streben nach Objektivität, nicht von allen berichtenden Werken der gleiche Maßstab angewendet worden; dieser Umstand musste auch den vorliegenden Bericht beeinflussen.

Je kleiner die Rohrwandstärke und je knapper der Rostzuschlag ist, umso mehr muss der Rostfrass möglichst vermieden werden.

Als

äussere Schutzüberzüge

haben sich bewährt und können empfohlen werden:

für Rohre im Freien: Mennige als Grundanstrich, Eisenglimmerfarbe als Deckanstrich; Bitumenlacke direkt auf Eisen, eventuell auf Teergrundierung,

für Rohre in feuchten Räumen: Bitumenanstriche, Teeranstriche, Natriumbichromat-Zementanstriche,

für Rohre in der Erde: Bitumenanstriche, Teeranstriche, eventuell dazu Juteumwicklungen.

Die Haltbarkeit der Rohranstriche hängt besonders von der Güte der Anstrichstoffe, von der Vorbereitung des Untergrundes, von der Ausführung der Anstriche und von der Beanspruchung der Anstriche ab.

Leider verbürgt der gleiche Name von Anstrichstoffen nicht immer für gleiche Güte. Aus diesem Grunde können sich unter Umständen gleich bezeichnete Anstrichstoffe unter gleichen Verhältnissen verschieden verhalten.

Wohl häufiger röhrt die verschiedene Haltbarkeit von verschiedenen ausgeführten Anstricharbeiten her. Vorbedingung für einen haltbaren Rostschutzanstrich ist ein sauberer, rostfreier, staubfreier und trockener Untergrund. Die Walzhaut ist ein sehr unzuverlässiger Rostschutz; die Entfernung der Walzhaut erhöht im allgemeinen die Haltbarkeit des Anstriches. Die Anwendung des Sandstrahles zur Reinigung ist teuer, scheint aber doch im allgemeinen wirtschaftlich zu sein. — Der Anstrich kann mit dem Pinsel oder mit der Spritzpistole erfolgen. — Das Schwitzen der Rohre während der Anstricharbeiten und des Trocknens der Anstriche muss vermieden werden. Womöglich müssen die Rohre während dieser Zeit leer gehalten werden. Wenn dies mit Rücksicht auf den Betrieb nicht möglich ist, müssen die Anstricharbeiten in eine Jahreszeit verlegt werden, da die Rohre gewöhnlich nicht schwitzen; allerdings können auch dann durch Witterungsumschläge Störungen eintreten. Man ist vom Wetter weniger abhängig, wenn man rascher trocknende Anstriche anwendet, statt Oelfarben Bitumenlacke. Auch Chlorkautschuk- oder Kunstharslacke können in Betracht kommen; längere praktische Erfahrungen mit solchen Farben als Druckleitungsanstriche liegen aber noch nicht vor.

Der fertige Farüberzug muss eine genügende Dicke haben, damit er für lange Zeit vollkommen dicht ist. Poren sind bei Bitumenlacken besonders schädlich. Auf die im Laufe der Zeit eintretenden Veränderungen und Abnutzungen der Anstriche ist Rücksicht zu nehmen. Alle schwarzen Bitumenlacke sind mehr oder weniger lichtempfindlich; besonders bei starker Sonnenbestrahlung kreiden sie. Durch Zusatz von Aluminiumpulver oder feinen Asbestfasern, die auch die Stoßbeständigkeit des Anstriches erhöhen, kann der Verkreidung entgegengewirkt werden. Verwendet man Farben ohne solche Zusätze, so müssen die Anstriche entsprechend dicker gemacht oder häufiger neu überstrichen werden. Bei dicken Farbschichten ist auch eine mässige Aderbildung nicht nachteilig.

Es ist zu vermeiden, dass im Betriebe besondere Beanspruchungen (z. B. durch Tropfwasser) die Schutzüberzüge an gewissen Stellen vorzeitig zerstören.

Bei der Kontrolle des Zustandes der Anstriche sind gerade die weniger leicht zugänglichen Rohre besonders sorgfältig zu prüfen.

Schlechte Stellen des Anstriches sind rechtzeitig auszubessern, bevor stärkere Verrostungen entstanden sind. — Es scheint in der Regel wirtschaftlicher zu sein, die Anstriche der freiliegenden Rohre fortlaufend gründlich zu unterhalten als nur grobe Mängel zu beheben und dafür nach gewissen Zeitabschnitten allgemein Rost und Anstrich zu entfernen und von Grund auf neue Anstriche aufzutragen.

Besonders sorgfältig soll der Rostschutz derjenigen Rohre und Rohrstellen sein, die nach der Montage nicht mehr ohne weiteres zugänglich sind. — Es ist vorteilhaft, die Rohrlager derart auszubilden, dass der Unterhalt jederzeit gut möglich ist. (Ringstützen statt Sättel). — Dicht einbetonierte Rohre sind praktisch vor Verrostung geschützt; es genügt das übliche Verfahren: Reinigung und Zementmilchanstrich vor dem Einbetonieren. — Rohre, die in einem Betonbett liegen, müssen gegen die Feuchtigkeit geschützt werden. Es ist vorsichtig, sie in gleicher Weise wie in der Erde liegende Rohre zu behandeln. — Ganz oder teilweise in der Erde liegende Rohre müssen Anstriche erhalten, die der Feuchtigkeit und eventuellen chemischen Wirkungen widerstehen. Mit imprägnierten Juteumhüllungen über dem Rohranstrich kann ein dichter Ueberzug und ein mechanischer Schutz erreicht werden. Alle unvollkommenen Stellen des Rostschutzüberzuges sind vor dem Eindecken der Rohre sorgfältig auszubessern. Es kann unter Umständen vorteilhaft sein, die Rohre statt mit Aushubmaterial der betreffenden Stelle mit ausgesuchtem Material zu umgeben, das Stahl weniger gefährdet.

Die Bedeutung der *innern Schutzüberzüge* ist bei den verschiedenen Werken sehr verschieden gross, offenbar besonders wegen des verschiedenen Wassers und der verschiedenen Stahloberfläche. In weitaus den meisten Fällen sind innere Schutzüberzüge nützlich; sie schützen die Rohre vor Rostfrass und vermeiden, dass Rostgebilde die Rohre rauh machen und damit zusätzliche Gefällsverluste erzeugen. Die meisten der berichtenden Werke messen den zusätzlichen Gefällsverlusten, die Rost- und Kalkansatz bei ihren Druckleitungen verursacht, keine Bedeutung bei. Wahrscheinlich sind diese Verluste aber in verschiedenen Fällen grösser als angenommen wird; dies ist aus genauen Messungen in einem Werke zu schliessen. — Es sind bis jetzt nur bei wenigen Werken die Innenanstriche erneuert worden; zweifellos wäre in zahlreicheren Fällen ein Neuanstrich ausgeführt worden, wenn die Druckleitungen dazu nicht für längere Zeit hätten ausser Betrieb gesetzt werden müssen.

Bei der Entscheidung betreffend einen Neuanstrich wird man nach den Gesichtspunkten Sicherheit und Wirtschaftlichkeit urteilen, d. h. man wird in Betracht ziehen:

die Festigkeit der Rohre, ihre Dichtheit, den zeitlichen Fortschritt der Rostanfressungen, die Rauigkeit der Rohre, den Gefällsverlust, den möglichen Energiegewinn durch Reinigung und Neuanstrich, die Zeitdauer und die Kosten der Arbeiten je nach der Ausführungsart und je nach dem Zustand der Rohre.

Als innere Schutzüberzüge haben sich im allgemeinen bewährt:

Mennige mit langer Trockendauer und Bitumen- und Teeranstriche.

Wenn keine lange Trockenzeit möglich ist, ist Mennige nicht zu empfehlen. — Betreffend die Vorbereitung des Untergrundes für den Anstrich und den Anstrich selbst, ist auf das bei Aussenanstrichen Gesagte zu verweisen.

Es sind uns keine praktischen Erfahrungen bekannt geworden über die Metallisierung von Druckleitungen zum äussern oder innern Rostschutz und über Druckleitungsrohre aus Spezialmaterial von grösserer Rostbeständigkeit. — In den letzten Jahren wurde an bedeutenden andern Objekten die Spritzverzinkung für den Freiluft- und für den Unterwasser-Rostschutz angewendet. Es wäre zu prüfen, ob die Spritzverzinkung trotz des hohen Preises und der langen Arbeitsdauer auch bei Druckleitungen wirtschaftlich sein könnte, zum mindesten in gewissen Fällen, wo ohnehin gesandstrahlt werden muss. — Nach den Versuchen verschiedener Experimentatoren zeigten Armco-Eisen und gekupferter Stahl bei Lagerung im Wasser im allgemeinen keine kleineren Gewichtsverluste durch Abrostung als gewöhnlicher Stahl; auch die Art der Verrostung schien nicht günstiger zu sein. Der gekupfererte Stahl hat die für den Druckleitungsbau unerwünschte Eigenschaft, weniger gut schweissbar zu sein. Das Armco-Eisen hat den Nachteil, weniger fest zu sein. Beide Materialien sind zudem teurer als gewöhnlicher Stahl. Nichtrostender Stahl wird wegen des hohen Preises nur in ganz seltenen Ausnahmefällen in Betracht kommen. Es ist daher zu erwarten, dass der bisher für Druckleitungen verwendete Flussstahl nicht so bald durch ein anderes Material verdrängt wird, und dass der Rostschutz auch bei den zukünftigen Druckleitungen von Bedeutung sein wird.

Zum Schluss möchten wir allen Gesellschaften danken, deren Erfahrungen wir in den vorliegenden Bericht aufnehmen durften.

Verzeichnis der Kraftwerke und Firmen:

- 1 Massaboden.
- 2 Ritom.
- 3 Amsteg.
- 4 Barberine.
- 5 Vernayaz.
- 6 Trient.
- 1...6 Schweizerische Bundesbahnen, Bern.
- 7 Etzel, Etzelwerk A.-G., Pfäffikon.
- 8 Montcherand, Compagnie Vaudoise des Forces Motrices des Lacs de Joux et de l'Orbe.
- 9 Schlappin.
- 10 Klosters.
- 11 Küblis.
- 9...11 A.-G. Bündner Kraftwerke, Klosters.
- 12 Pontebrolla, Società Elettrica Sopracenerina, Locarno.
- 13 Gordola Verzasca, Officina Elettrica Comunale, Lugano.
- 14 Kaiserstuhl.
- 15 Unteraa.
- 14 und 15 Centralschweizerische Kraftwerke, Luzern.
- 16 Engelberg, Elektrizitätswerk Luzern-Engelberg A.-G., Luzern.
- 18 Chanet, Ville de Neuchâtel.
- 19 Siebnen.
- 20 Rempen.
- 19 und 20 A.-G. Kraftwerke Wäggital, Siebnen.
- 21 Sernf.
- 22 Niederenbach.
- 21 und 22 Kraftwerke Sernf-Niederenbach A.-G., St. Gallen.
- 23 Kubel, St.-Gallisch-Appenzellische Kraftwerke A.-G., St. Gallen.
- 24 La Goule, Société des Forces Electriques de la Goule, St-Imier.
- 25 Waldhalde, Elektrizitätswerke des Kantons Zürich.
- 26 Albula, Elektrizitätswerk der Stadt Zürich.
- 28 Spiez.
- 29 Kallnach.
- 30 Kandergrund.
- 28...30 Bernische Kraftwerke A.-G., Bern.
- 31 Handeck, Kraftwerke Oberhasli A.-G., Innertkirchen.
- 32 —
- 33 Lötsch, Nordostschweizerische Kraftwerke A.-G., Baden.
- 34 Dixence.
- 35 Champsec.
- 36 Fully.
- 37 Martigny.
- 34...37 S. A. l'Energie de l'Ouest-Suisse, Lausanne.
- 40 Thusis, Rhätische Werke für Elektrizität, Thusis.

Elektrische Welle in Reihenschaltung

Von Karl Paul Kovács, Budapest

621.316.718.5

Die elektrische Welle wird angewendet, wenn zwei oder mehrere Maschinenglieder oder Triebwerke mit gleicher Drehzahl oder gleichbleibendem Drehzahlverhältnis, d. h. im Gleichlauf, zusammenarbeiten müssen und die räumliche Trennung der Triebwerke oder ein zwischen ihnen liegendes Hindernis die Anordnung einer mechanischen Verbindungs-welle unwirtschaftlich macht oder verbietet. Als Uebertragungsglieder der elektrischen Welle dienen Drehstrom-Asynchronmotoren mit Schleifringläufer.

Entsprechend der Anwendung unterscheidet man die «Ausgleichswelle» und die «Arbeitswelle». Die Ausgleichswelle dient zur Aufrechterhaltung des Gleichlaufes zweier Triebwerke; sie hat lediglich Leistung zu übertragen, wenn der Gleichlauf der beiden Triebwerke infolge ungleicher Belastung gestört wird. Wie bei der mechanischen Ausgleichswelle wird jedes einzelne Triebwerk durch je einen Motor angetrieben, der die gesamte Belastung dieses Triebwerks übernimmt. Jeder Triebwerksmotor ist ausserdem mit einer Drehstrom-Asynchronmaschine mit Schleifringläufer mechanisch starr gekuppelt; diese Maschinen heissen Wellen- oder Gleichlaufmaschinen. Die Statores aller Wellenmaschinen (und meist auch der Antriebsmotoren) sind an ein gemeinsames Netz angeschlossen (Parallelschaltung); ihre Läufer

La transmission électrique est utilisée lorsque deux ou plusieurs éléments de machines ou dispositifs d'entraînement doivent fonctionner ensemble et à la même vitesse ou au même rapport des vitesses, et que la distance ou un obstacle qui les séparent rendraient peu économique ou interdiraient l'emploi d'une transmission mécanique. Les organes de la transmission électrique sont des moteurs triphasés asynchrones à bagues.

On distingue la transmission de compensation de la transmission de travail. La première sert à maintenir le synchronisme des deux dispositifs d'entraînement; elle doit uniquement transmettre la puissance lorsque le synchronisme est troublé par suite d'un déséquilibre de la charge. Comme dans le cas d'une transmission mécanique, chaque dispositif est entraîné par un moteur qui en supporte toute la charge. D'autre part, chacun de ces moteurs est relié rigidement à un moteur triphasé asynchrone à bagues. Les stators de tous ces moteurs asynchrones sont branchés en parallèle sur un réseau commun (de même que, généralement, les moteurs de commande), et leurs induits sont connectés en concordance de phase. Lorsque les dispositifs d'entraînement sont en synchronisme, les moteurs asynchrones ne consomment