

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 66 (1948)  
**Heft:** 5

**Artikel:** Die maschinelle Reinigung von Rohrleitungen  
**Autor:** Rüfenacht, F.G.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-56658>

### **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:** 03.02.2026

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

## Die maschinelle Reinigung von Rohrleitungen

Von Ing. F. G. RUFENACHT, Zürich

DK 627.844.00467

### 1. Allgemeines

Beim Entwurf und beim Bau von Wasserkraftanlagen bemüht man sich, alle Teile, die mit dem Wasser in Berührung kommen, so zu gestalten, dass die an sich unvermeidlichen Druckverluste infolge Reibung möglichst gering werden. Auch die Industrie hat von jeher ihr Augenmerk darauf gerichtet, die Rauigkeit im Leitungsinnern durch Verwendung geeigneter Materialien und Schutzanstriche möglichst klein zu halten. Nun zeigt die Praxis, dass sich bei allen wasserführenden Leitungen nach kürzerer oder längerer Betriebszeit im Rohrinnern Rost oder Kalk ansetzt. Hierüber berichtete grundlegend Ing. Dr. H. Oertli, Bern<sup>1)</sup>, gestützt auf die Ergebnisse einer Umfrage der Bernischen Kraftwerke A.-G. bei den schweizerischen Kraftwerken, die Druckleitungen besitzen. Aus den eingegangenen Antworten, die 40 Kraftwerke betreffen, seien nachstehend die Mitteilungen über das Rosten und den Rostschutz der inneren Oberfläche der Druckleitungen zusammengefasst, um die Bedeutung dieser Erscheinungen zu zeigen.

### 2. Feststellungen über Veränderungen der inneren Rohroberfläche

Hierüber liegen Beobachtungen an den Druckleitungen von 37 Kraftwerken vor, die folgendes Bild ergeben: Fünf ältere Werke, die vor 24 bis 44 Jahren in Betrieb gesetzt worden waren, melden, dass ihre Druckleitungen innen keinen Rost aufweisen. Der Menniganstrich und eine Kalkschicht bilden zusammen den Rostschutz. Sieben neuere Werke berichten, dass ihre Druckleitungen (Inbetriebsetzungen von 1910 bis 1930) nicht oder nur unbedeutend angerostet sind. Als Gründe für dieses günstige Verhalten werden angegeben: Haltbarkeit des Schutzüberzuges, Qualität des Wassers und Schutzwirkung des Kalkansatzes.

Bei den übrigen Werken sind die meisten Druckleitungen innen mehr oder weniger dicht mit Rostwarzen besetzt; diese Rostwarzen verteilen sich bei manchen Leitungen ungefähr gleichmässig über die ganze Länge, bei andern nur auf bestimmte Abschnitte. Sie waren ein bis mehrere Millimeter hoch, in verschiedenen Fällen bis 10 mm und mehr, die entsprechenden Anfrassungen im Eisen erreichten einige Zehntelmillimeter bis zu 2 mm Tiefe, in vereinzelten Fällen bis 5 mm und mehr. Eine gefährliche Schwächung durch Rostanfrassungen wurde nirgends festgestellt; hingegen kamen in einem Fall durch Rostlochfrass Undichtheiten vor, und in verschiedenen Fällen gaben die Rostanfrassungen Anlass zu Reparaturen durch elektrische Schweissung sowie zu vollständiger Reinigung der Druckleitungen und zur Erneuerung des Rostschutzes.

Allgemein stärkere Rostbildung wird von den Werken zurückgeführt auf die Beschaffenheit des Wassers, die Blechqualität, rauhe blätterige Walzoberfläche, mangelhafte Anstriche und besonders Poren im Anstrich. Das weniger günstige Verhalten einzelner Abschnitte in der gleichen Druckleitung wird erklärt durch verschiedene Blechqualität, weniger gute Rostschutzüberzüge, stärkere mechanische Beanspruchungen des Rostschutzüberzuges und in einem Falle durch Schlammablagerungen. Acht Werke melden bis zu 20 mm dicke Kalkschichten im Innern ihrer Druckleitungen, bei drei Werken haben die Druckleitungen ausserdem innen Rostwarzen, in drei Fällen scheint der innere Kalküberzug der Rohre das Weiterrosten zu verhindern, in andern Fällen war dessen Schutzwirkung zweifelhaft.

Aus den Mitteilungen der Kraftwerke und aus eigenen Erfahrungen zieht H. Oertli folgende Schlüsse: Die Bedeutung der inneren Schutzüberzüge ist bei den verschiedenen Werken sehr unterschiedlich, offenbar besonders wegen des verschiedenen Verhaltens des Wassers und der verschiedenen Beschaffenheit der Blechoberfläche. In den weitaus meisten Fällen sind innere Schutzüberzüge nützlich, sie schützen vor Rostfrass und verhindern das Entstehen von Rost-

gebilden, die die Rohre rau machen und dadurch zusätzlich Druckverluste erzeugen.

Die meisten Werke bezeichnen den Druckverlust, der dem Rost, dem Kalkansatz und der Verschmutzung zuzuschreiben ist, entweder als unbekannt, oder als unbedeutend. Wahrscheinlich sind diese Verluste aber in verschiedenen Fällen grösser als angenommen wird, wie aus genauen Messungen bei einem Werk zu schliessen ist.

### 3. Druckverluste infolge Rost- und Kalkansatz

Das von H. Oertli hier berührte Problem der Messung und Berechnung der Druckverluste in Rohrleitungen ist schon mehr als 100 Jahre alt. Zahlreiche empirische Formeln wurden aufgestellt, bevor es vor bald 20 Jahren Nikuradse gelang, in Laboratoriumsversuchen mit künstlich rau gemachten Rohrleitungen diese Fragen weitgehend abzuklären. Für die Berechnung des Druckabfalls in Rohrleitungen, die infolge Verrostungen und Kalkablagerungen oft eine sehr unregelmässige Rauigkeit aufweisen, haben die Untersuchungen der Versuchsanstalt für Wasserbau an der E. T. H., bzw. der von ihr geleiteten Druckverlust-Kommission des S. I. A. (wie von H. Oertli s. Zt. bereits erwähnt) an Druckleitungen schweizerischer Kraftwerke die erforderlichen Unterlagen geschaffen<sup>2)</sup>.

Für moderne geschweisste Rohrleitungen ist die Berechnung der Druckverluste, solange die Wandungen glatt bleiben, mit genügender Sicherheit möglich. Mit zunehmendem Alter wächst aber infolge Rostbildung oder Kalkablagerungen auch der Fliesswiderstand. Druckleitungen älterer Kraftwerke haben heute z. T. einen Zustand der Verrostung oder Kalkablagerung erreicht, der eine Revision als sehr wünschenswert erscheinen lässt. Es mag deshalb angezeigt sein, einige grundsätzliche Betrachtungen über die Grössenordnung des durch eine Revision erzielbaren Rückgewinnes anzustellen.

In Bild 1 sind die Druckverluste  $H_v$  in m pro 100 m Leitungslänge für verschiedene Rohrdurchmesser in Abhängigkeit der Wassergeschwindigkeit dargestellt, wie sie sich aus der allgemeinen Formel

$$H_v = \lambda \frac{100}{D} \frac{v^2}{2g}$$

ergeben. Darin bezeichnen  $D$  den Innendurchmesser der Leitung in m,  $v$  die Wassergeschwindigkeit in m/s,  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  die Erdbeschleunigung und  $\lambda$  den Rauigkeitskoeffizienten.

Den Berechnungen wurden die von E. Hoeck an geschweissten Rohrleitungen festgestellten  $\lambda$ -Werte zu Grunde gelegt, wobei eine neue, vollständig glatte, eine frisch revidierte und eine verrostete Leitung betrachtet wurden. Für die letztgenannte ist der Druckabfall vom Grad der Verrostung abhängig. Für die Berechnungen wurde eine Rauigkeit angenommen, wie sie die Druckverlust-Kommission in der Leitung Cavaglia vor deren Revision festgestellt hat. Es handelte sich dort um einen unregelmässig über die Wandungen verteilten Belag von Rostwarzen, die einzeln eine Höhe von 6 bis 8 mm erreichten, und im Mittel eine Distanz von 20 bis 30 mm voneinander aufwiesen. Nach Hoecks Berechnungen ergaben diese Warzen den gleichen Fliesswiderstand wie eine zusammenhängende Rostschicht, Warze an Warze, von 3,2 mm Höhe. Diese Warzen stellen also einen starken, aber durchaus noch nicht extrem hohen Verrostungsgrad dar.

Aus Bild 1 geht hervor, dass der Druckverlust infolge des Fliesswiderstandes speziell bei kleinen Rohrdurchmessern und bei höheren Geschwindigkeiten, wie sie bei Vollast der Turbinen auftreten können, wesentliche Beträge erreicht. Er ist beim betrachteten Grad der Verrostung annähernd dreimal so gross wie bei einer neuen glatten Leitung. Weiter ist ersichtlich, dass eine sorgfältig durchgeführte Revision mit Neuansstrich der Leitung die Druckverluste bis nahe an die der Leitung im neuen Zustand herabsetzt.

Aus den Verlusten für die verrostete und die revidierte Leitung ergibt sich als Differenz der Druckrückgewinn, der durch eine Revision erzielt werden kann. Er ist in Bild 2 für verschiedene Durchmesser zwischen 250 und 1500 mm in Abhängigkeit der Wassergeschwindigkeit dargestellt. Aus Bild 2 kann der durch eine Revision erreichbare Gewinn für eine Leitung mit entsprechend rauhen Wandungen leicht berechnet

<sup>1)</sup> Siehe «Bulletin des SEV» 1942, Nr. 16: 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'Énergie électrique (UIPD).

<sup>2)</sup> E. Hoeck: Druckverluste in Druckleitungen grosser Kraftwerke. «Mitteilungen aus der Versuchsanstalt für Wasserbau an der E. T. H.», Nr. 3, Zürich 1943, Verlag A.-G. Gebr. Leemann & Co.

werden. Wenn man voraussetzt, dass sich die durch Rohrkrümmer verursachten Verluste durch die Revision nicht verändern, ergibt sich die Verringerung des Druckverlustes für die ganze Leitung durch Multiplikation der Kurvenwerte mit der abgewinkelten Länge der Rohrleitung (diese gemessen in Hektometern). Bei verschiedenen Durchmessern der Teilstücke, wie dies bei Druckleitungen meist vorkommt, sind die Gewinne der einzelnen Abschnitte getrennt zu berechnen und dann zu addieren.

Die durch eine Revision erzielbaren Gewinne sind schon beim angenommenen Verrostungsgrad von 3,2 mm sehr hoch. Die Berechnungen werden durch die Messungen der Druckverlust-Kommission bestätigt. Aus den von ihr publizierten Werten einiger Leitungen ergeben sich z. B. die Druckrückgewinne nach Tabelle 1.

Für Ackersand berechnete Hoeck für die ganze Leitung bei Maximalbelastung einen Druckgewinn von über 40 m. Der Erfolg einer Revision ist besonders gross bei kleinen Durchmessern; der Gewinn steigt naturgemäss mit der Zunahme der Wassergeschwindigkeit sehr stark, wie dies in Bild 2 deutlich zum Ausdruck kommt, weshalb der Gewinn z. B. bei der Leitung von Ackersand trotz der geringen mittleren Rauigkeit von nur 1,2 mm Höhe sehr beträchtlich ausfiel.

In Bild 3 sind die Druckgewinne für eine Leitung von 800 mm Durchmesser bei verschiedenen Rauigkeiten  $s$  und für verschiedene Wassergeschwindigkeiten dargestellt. Wie man sieht, steigt der durch eine Revision erzielbare Druckrückgewinn bei kleinen Rauigkeiten mit wachsender Verrostung oder Verkalkung rascher an als bei stark entwickelter Rauigkeit. Daraus ist einerseits zu schliessen, dass auch bei Leitungen, die weniger stark verrostet sind, als es die Leitung von Cavaglia vor ihrer Revision war, die Reinigung eine ins Gewicht fallende Abnahme des Druckverlustes zur Folge haben kann. Andererseits zeigen die Kurven, dass bei einer Revision nicht nur auf die gründliche Reinigung der Rohrleitung, sondern auch auf einen einwandfreien Anstrich der Wandungen geachtet werden muss, um das rasche Wiederansteigen der Verluste zu verhindern. Bei der Berechnung der durch die Revision erzielbaren Leistungsgewinne ist ferner zu berücksichtigen, dass sowohl der Druck, als auch die maximal mögliche Wassermenge grösser werden.

Die bisherigen Erfahrungen an frisch revidierten Leitungen sind noch nicht gross. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen aber, dass die Druckverluste bei stark verrosteten Leitungen durch die Revision auf 40 bis 50 % ihres Wertes reduziert werden können. Bei den von der Druckverlust-Kommission des S. I. A. untersuchten Leitungen erreichten die Gewinne bei maximaler Belastung 3 bis 7 % des Nettogefälles.

Die Verluste werden natürlich noch viel grösser, wenn der Rost- oder Kalkansatz so zunimmt, dass der Querschnitt der Leitung wesentlich verkleinert wird. Aus Bild 4 ist ersichtlich, dass in einer ursprünglich sauberen Leitung von 500 mm Durchmesser ein Kalkbelag von 25 mm bereits eine Verminderung der Durchflussmenge auf 82 %, ein Belag von 50 mm eine solche auf 64 % der ursprünglichen Menge bewirkt, wobei die Verluste infolge grösserer Rauigkeit noch nicht berücksichtigt sind.

Aus den Arbeiten von Oertli und Hoeck geht eindeutig hervor, dass die meisten Druckleitungen nach gewisser Betriebszeit Druckverluste infolge von Rost- oder Kalkansatz aufweisen, die viel grösser sind, als allgemein angenommen wird. Sie erreichen fast immer eine derartige Höhe, dass sich eine periodische Reinigung rechtfertigt.

Reinigung und Neuanstrich von Druck-

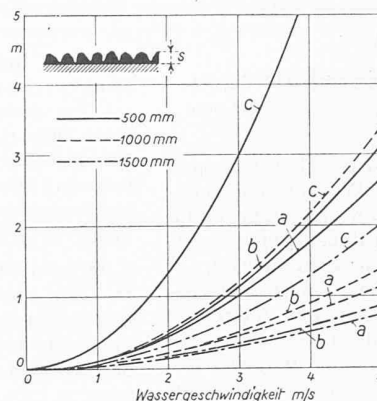


Bild 1. Druckverlust in m pro 100 m Leitungslänge für neue (Kurve a), frisch revidierte (b) und verrostete (c) Leitungen von verschiedenen Durchmessern

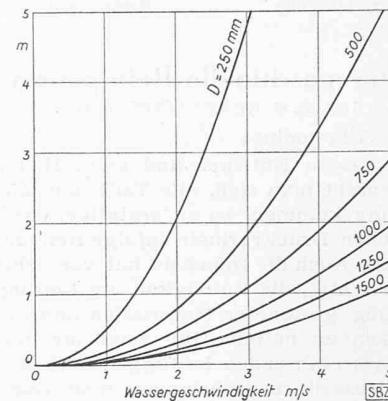


Bild 2. Druckgewinn in m pro 100 m Leitungslänge, erzielbar durch Reinigen der Rohrwandung, die mit einer zusammenhängenden Rostschicht von 3,2 mm Höhe belegt ist

Tabelle 1. Gemessene Druckrückgewinne

Leitung		Cavaglia		Ackersand	
Durchmesser	mm	1150		800	
zusammenhäng. Rostschicht	mm	3,2		1,2	
Wassergeschwindigkeit	m/s	4,0 <sup>a)</sup>	2,1 <sup>b)</sup>	6,0 <sup>a)</sup>	3,2 <sup>b)</sup>
Druckrückgewinn pro 100 m Leitungslänge	m	1,11	0,30	2,52	0,65

a) Vollast, b) ungefähr Halblast

leitungen sind erst von wenigen Werken durchgeführt worden. Nach Oertli wäre dies zweifellos häufiger geschehen, wenn die Grösse der Druckverluste allgemein bekannt wäre, und wenn die Druckleitungen dazu nicht für längere Zeit hätten ausser Betrieb gesetzt werden müssen. Hinzu kommt, dass die bis heute allgemein üblichen Methoden des Sandstrahlens oder Reinigens von Hand im verlegten Rohr unter ungünstigen und gesundheitschädlichen Arbeitsbedingungen ausgeführt werden müssen, da eine Demontage der Rohre meist aus Zeitgründen nicht möglich ist. Leitungen mit kleinerem Durchmesser (Wasser, Kanalisation, Industrieanlagen usw.) können bei fortgeschrittener Verkalkung oder Verrostung auf diese Art meist überhaupt nicht gereinigt werden, da sie fast immer fest verlegt sind (in Beton, unter Stras-

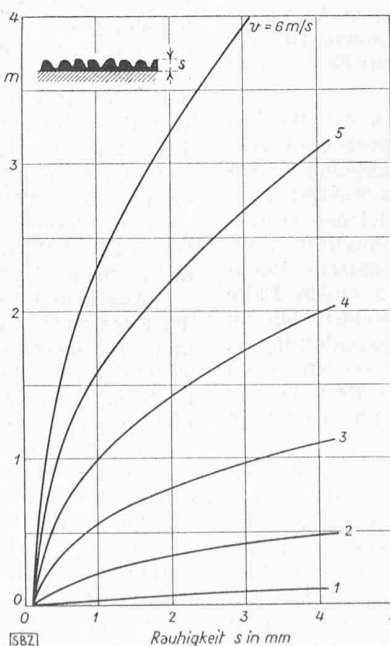


Bild 3. Druckgewinn in m pro 100 m Leitungslänge, erzielbar durch Reinigen verschieden stark verrosteter Wasserleitungen von 800 mm l. W. bei verschiedenen Wassergeschwindigkeiten

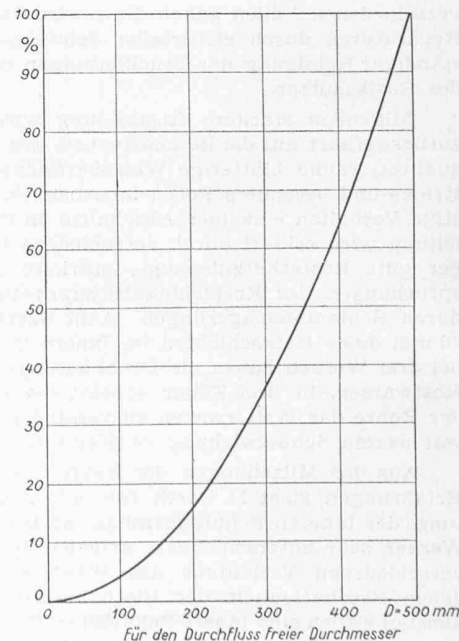


Bild 4. Verringerung der durch eine Leitung von 500 mm l. W. durchlaufenden Wassermenge in % infolge Abnahme des freien Durchmessers durch Ablagerungen im Rohrrinnern



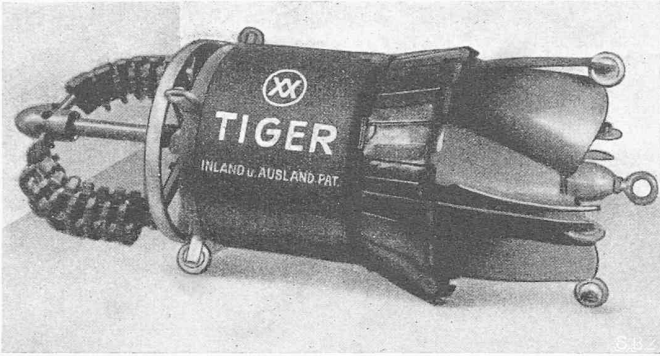


Bild 5. Rohrreinigungsmaschine mit Wasserantrieb für starken Kalk- oder Rostbelag, gebaut von P. von Arx, Sissach

sen oder unter Gebäuden), und eine Ausserbetriebsetzung für längere Zeit unmöglich ist.

#### 4. Vorrichtungen zur mechanischen Reinigung von Rohrleitungen

Die oben angegebenen Gründe führten die Firma P. von Arx, Maschinenfabrik, Sissach, im Jahre 1945 dazu, besondere Maschinen für die mechanische Reinigung von Rohrleitungen zu entwickeln, die die Durchführung der Arbeit an Ort und Stelle gestatten; sie können für Rohre von 100 bis 2000 mm Durchmesser verwendet werden.

##### a) Rohrreinigungsmaschine mit hydraulischem Antrieb

Bild 5 zeigt eine derartige Maschine mit Wasserantrieb für das Entfernen von starken inneren Belägen (Rost, Kalk, Gips, Sand usw.). Die Maschine hat ein zylindrisches Gehäuse, in dessen Innerem sich eine Wasserturbine befindet. Sobald sie im Rohr eingesetzt ist und Wasser erhält, öffnet sich hinten eine Jalousie gegen die Rohrwand. Hierdurch erhält das Leitrad sofort den gesamten Wasserdruck. Die Turbine wird wahlweise durch zwei bis vier Düsen beaufschlagt. Auf der nach vorn verlängerten Hauptwelle ist ein Stahlkranz aufgesetzt, auf dem sich zwei gebogene Träger befinden, die mit starren und beweglichen Fräsern besetzt sind. Diese Fräser wirken bei der Rotation sowohl nach vorn als auch seitlich und fräsen den Belag ab. Die Fräsvorrichtung lässt sich genau einstellen, wodurch eine Verletzung der Rohrwand vermieden wird. Die Maschine läuft auf abgefederten Rollen, die gleichzeitig zur Zentrierung dienen (Bild 6). Der Vorschub

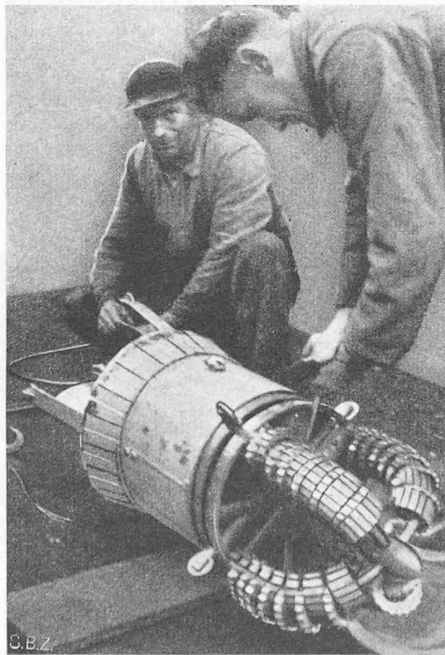


Bild 6. Bereitstellen der Maschine Bild 5 im Wasserschloss einer Druckleitung: Zentrieren und Einstellen der Fräsvorrichtung auf den Rohrdurchmesser

glatte Rohr, oben die 120 mm dicke Kalkschicht vor der Reinigung

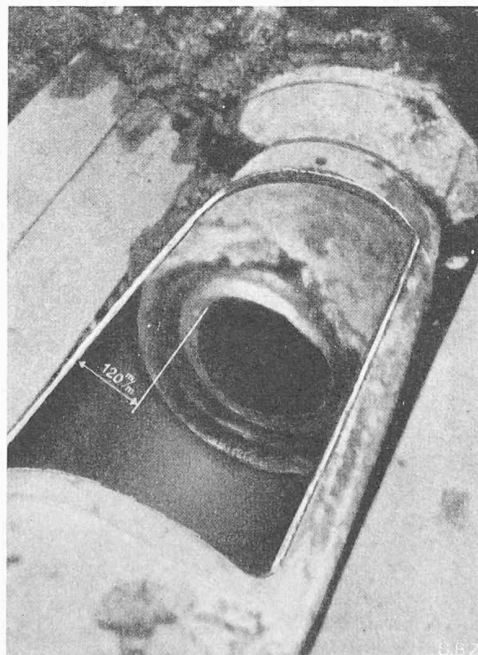


Bild 7. Rohrleitung des Elektrizitätswerkes Schwarzsee (Kt. Fryburg), von ursprünglich 450 mm l. W., mit Öffnung zum Entfernen des weggefrästen Materials. Unten das gereinigte glatte Rohr, oben die 120 mm dicke Kalkschicht vor der Reinigung

des an einem Stahlseil aufgehängten Aggregates erfolgt durch den Druck des Betriebswassers und wird durch eine Abwindvorrichtung selbsttätig geregelt. Automatische Kupplungen verhindern das Festfressen der Fräser. Die gedrungene Bauart der Maschine erlaubt ein Durchfahren von Bogen bis zu 45°. Der ganze Apparat ist sehr kräftig konstruiert, wobei besonderes Gewicht darauf gelegt wurde, dass die Maschine auch bei Veränderungen des Rohrdurchmessers in der Leitung absolut zuverlässig arbeitet. Der abgeschlagene Belag wird durch das Betriebswasser nach vorn weggeschwemmt und am Ende der Leitung abgelassen.

Ueber die Leistungsfähigkeit dieser Maschine orientieren die folgenden zwei Beispiele:

##### 1) Entkalkung der Wasserleitung des Elektrizitätswerkes Schwarzsee, Kt. Fryburg

Die 104 m lange Leitung von 450 mm Innendurchmesser aus genietetem Stahlblech von 4 mm Dicke war mit einer sehr harten Kalkschicht bis zu 120 mm Dicke (Bild 7, oberer Teil) belegt. Sie wurde in 20 Tagen vollkommen gereinigt (Bild 7, unterer Teil). Die entfernte Kalkmenge wog 33,8 t. Nach Mitteilung des Werkes vermochte die Druckleitung nach erfolgter Reinigung eine dreimal grössere Wassermenge zu bewältigen.

##### 2) Entkalkung der Werkleitung der Firma F. Reinhardt, Erlenbach, Simmental

Länge der Leitung 520 m; Durchmesser der Rohre, oben 450 mm, unten 250 mm: Material, oben Schleuderbeton, unten Gusseisen; Belag, ziemlich harte Kalkschicht, bis zu 60 mm dick; Druck vor der Turbine vor der Reinigung 55 m, nachher 76 m = ursprünglicher Betriebsdruck. Die Leitung wurde in zwölf Tagen vollkommen gereinigt, die entfernte Kalkmenge betrug 23,4 t.

##### b) Reinigungsmaschine mit elektrischem Antrieb

Ein zweiter Maschinentyp ist für die Entrostung und Entkalkung von Hochdruckleitungen entwickelt worden, Bild 8. Hier ist neben der Reinigung die zusätzliche Forderung zu erfüllen, dass die gesäuberte Oberfläche blank und frei von Rückständen ist, um den Fließwiderstand möglichst klein zu halten und um eine genügende Haftfestigkeit des Schutzanstriches zu erzielen. Damit der Anstrich unmittelbar nach der Reinigung aufgebracht werden kann, müssen die Rohre absolut trocken sein, weshalb statt Wasser ein elektrischer Antrieb verwendet wird. Gleichzeitig wird so die Bildung von Flugrost vermieden.

Die Maschine besteht aus zwei massiven quer angeordneten Rundstücken, zwischen denen auf Stahlrohren Rundfräser und Stahlbürsten montiert sind. Je vier Stahlrohre sind zu einer Garnitur zusammengefasst. Auf der Aussenseite ist der Antriebsmotor samt Stufenschaltung exzentrisch angeflanscht. Der Antrieb im Innern erfolgt über Zahnräder, die die einzelnen Garnituren in verschiedenen Richtungen drehen, so dass die zu reinigende Oberfläche von allen Seiten bearbeitet wird. Auf diese Weise ist es möglich, auch die inneren Kanten bei Ueberlappungen, Stößen, Nieten usw. absolut einwandfrei zu säubern.

Auch bei dieser Maschine sind alle Teile sehr kräftig dimensioniert und wo nötig mit staubdichten Kugellagern ausgerüstet, um höchste Betriebssicherheit zu gewährleisten. Die Fräser-Garnituren sind ebenfalls mit automatischen Kupplungen versehen, die ein Hängenbleiben verunmöglichen. Sie sind so angeordnet, dass das Auswechseln der Radfräser und Bürsten in kurzer Zeit möglich ist. Die Ausladung wird durch Feineinstellung derart reguliert, dass die höchste Arbeitsleistung ohne Verletzen der Rohrwand erzielt wird. Dabei ist die

Konstruktion so ausgeführt, dass sich die Maschine bei Durchmesseränderungen (Verjüngung der Leitung) selbsttätig einstellt. Acht Räderpaare zentrieren die Maschine automatisch im Rohr. Um das gleichzeitige Arbeiten von mehreren Maschinen zu ermöglichen, ist die zentrische Hauptwelle hohl, so dass die Maschinen an der gleichen Welle hintereinander gekuppelt werden können. Auch hier wird der Vorschub automatisch reguliert. Die geringe Baulänge ermöglicht das Durchfahren von Bogen bis zu  $45^\circ$  (Bild 9).

Mit einer solchen Maschine wurde die Robbia-Leitung der Kraftwerke Brusio A.-G., Poschiavo, gereinigt. Ihre Hauptdaten sind: Länge 1544 m; Durchmesser (von oben nach unten) 850, 800, 750, 700 mm; Material, teilweise geschweisstes, teilweise genietetes Stahlblech mit starken Ueberlappungen; Befund, sehr dichte Rostwarzen von 10 bis 20 mm Höhe, vereinzelt noch mehr, dazwischen vereinzelter Rostfrass (Bild 10). Druckverlust bei voller Belastung vor der Reinigung 12,1 %. Die Leitung wurde in 65 Tagen gereinigt und eine glatte und blanke Oberfläche erreicht (Bild 11). Der Druckrückgewinn beträgt nach Mitteilung des Werkes bei voller Belastung rd. 6 % des Nettogefälles, d. h. der durch das Verrosten der Leitung entstandene Druckverlust wurde praktisch zurückgewonnen.

Zum Anbringen des Schutzanstriches, der bei der Robbia-Leitung noch von Hand ausgeführt wurde, ist ein dritter Maschinentyp entwickelt worden, so dass nunmehr auch diese Arbeit maschinell ausgeführt werden kann.

#### 5. Zur Wahl des Maschinentyps

Die Wahl des zu verwendenden Maschinentyps hängt weitgehend von der Dicke und den physikalischen Eigenschaften des Belages ab. Für harte Beläge eignen sich schnelllaufende Maschinen, die in zwei oder drei Arbeitsgängen schichtweise fräsen. Man kann auch mehrere Maschinen hintereinander hängen. Hierbei werden die wasserangetriebenen Maschinen in den Fällen vorgezogen, wo die abgefrästen Belagsmengen so gross sind, dass sie vom Betriebswasser weggeführt werden müssen, ohne das Rohr zu verstopfen. Mitbestimmend sind ausserdem Länge und Gefälle der Leitung und die Art der Verlegung über oder im Boden, sowie die Anordnung der Schieber, Expansionen, Mannlöcher usw.

Bei Leitungen, die nur kurzfristig unterbrochen werden können (Wasserversorgungen, Kanalisationen, Industrieanlagen usw.), kann die Arbeitszeit den jeweiligen Betriebsbedingungen weitgehend angepasst werden, so dass auch in diesen Fällen eine Reinigung durchgeführt werden kann. So können solche Leitungen z. B. für die unbedingt nötige Wasserversorgung der Konsumenten während der Reinigungszeit täglich für einige Stunden freigegeben werden.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass es heute möglich ist, jede Rohrleitung von 100 bis 2000 mm Durchmesser maschinell zu reinigen und damit den durch Verrostung oder Inkrustierungen jeder Art verursachten Druckverlust oder Rückgang der Durchflussmenge weitgehend zurückzugewinnen. Bedenkt man die Kosten, die z. B. beim Bau von Hochdruck-Wasserkraftwerken für die Verminderung der Druckverluste der Gesamtanlage und für die Erhöhung ihres Wir-

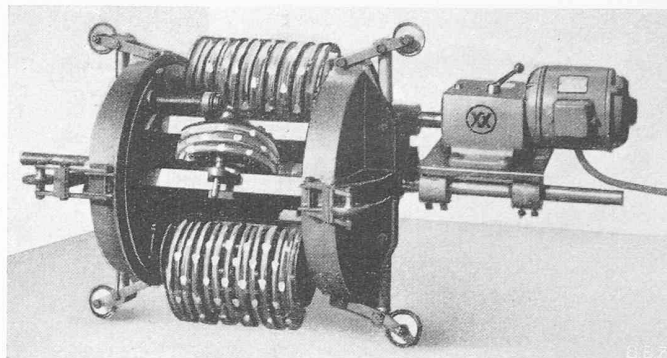


Bild 8. Entrostungsmaschine mit elektrischem Antrieb, besonders geeignet für die Reinigung grosser Druckrohre

kungsgrades aufgewendet werden, dann sollte die periodische Revision der Druckleitungen heute im Rahmen der Aufwendungen für Unterhalt und Verbesserungen den gebührenden Platz finden.

Ebenso wichtig ist die maschinelle Reinigung für Leitungen von kleinen Durchmessern, bei denen die bis heute angewendeten Methoden versagten. Es wird jetzt in vielen Fällen möglich sein, teure Anlagen, die bisher mangels geeigneter Reinigungsmöglichkeiten nur noch beschränkt betriebsfähig waren, wieder zur vollen Leistungsfähigkeit zurückzuführen.

## Der Ausbau der Wasserkräfte in den Hohen Tauern

DK 621.311.21(436)

Von Obering. H. F. KOCHER, Zell am See (Salzburg)

(Schluss von Seite 52)

### 5. Anlage-, Jahres- und Gestehungskosten

In Tabelle 5 sind die Anlagekosten, die Jahreskosten und die Energie-Gestehungskosten für die einzelnen Kraftwerkgruppen des in Ausführung begriffenen Entwurfes 1939/41 zusammengestellt. Vergleichsweise sind auch die entsprechenden Kosten für den Entwurf 1938 angegeben. Die Kosten der Kraftwerkstufe Bruck-Golling, für welche die Projektunterlagen nicht ausreichend vorliegen, sind dabei nicht berücksichtigt. Nachdem die Kosten dieser Stufe bei beiden Entwürfen ziemlich gleich sein dürften, wird der Kostenvergleich dadurch nicht oder nur unwesentlich beeinflusst.

a) Anlagekosten. Die Ermittlung der Baukosten erfolgte auf Grund der beim Bau der Kapruner-Hauptstufe abgeschlossenen Vertrags- und Einheitspreise, d. h. der Vorkriegsperiode 1939. Dabei sind die Aufwendungen für die baulichen Teile und die maschinelle Ausrüstung an Hand der Entwurfsunterlagen berechnet, während die Kosten für die Nebenarbeiten zur Erschliessung der Baustellen (Bahn- und Strassenbauten, Baustromversorgung, Barackenlager für Belegschaft, Magazin- und Werkstättenbauten usw.) entsprechend den örtlichen Verhältnissen ermittelt wurden. Die all-

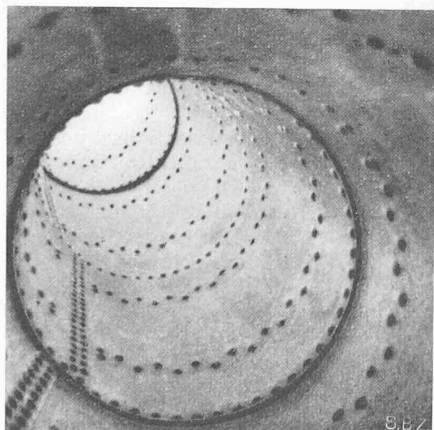


Bild 9. Bogenstück von 800 mm I. W. nach erfolgter Entrostung und Oberflächenbehandlung

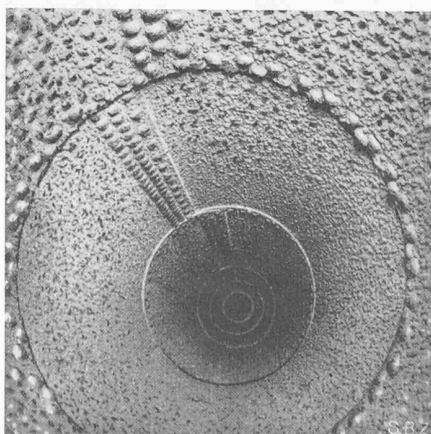


Bild 10. Zustand vor der Reinigung; dichte Rostwarzen von 20 mm Höhe und mehr

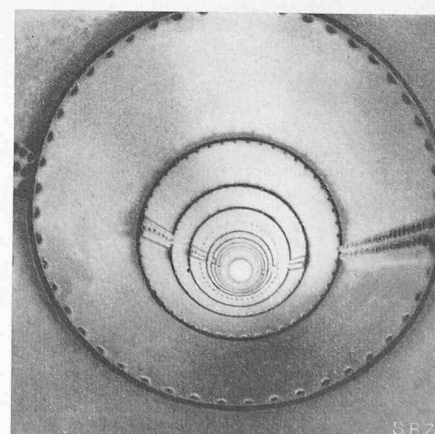


Bild 11. Zustand nach der Reinigung. Das Rohr mit Nieten und Ueberlappungen ist vollkommen glatt

Robbialeitung der Kraftwerke Brusio A.-G., Poschiavo