

Zeitschrift: IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH
Kongressbericht

Band: 2 (1936)

Artikel: Stahldruckrohr des Kraftwerkes "La Bissorte"

Autor: Bouchayer, J.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-2752>

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: 08.01.2026

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

VIIb 2

Stahldruckrohr des Kraftwerkes „La Bissorte“.

Le tuyau d'acier de l'usine hydro-électrique de
„La Bissorte“.

Steel Pressure Pipe for the Hydro-electric Plant „La Bissorte“.

J. Bouchayer,

Administrateur-Délégué des Etablissements Bouchayer et Viallet, Grenoble.

Die stählerne Druckrohrleitung des 100 000 PS-Kraftwerkes „La Bissorte“ ist eine der bemerkenswertesten neuzeitlichen Anlagen dieser Art. Über die allgemeine Anordnung und den Bau der Rohrleitung soll im Folgenden berichtet werden.

Beschreibung der Druckrohrleitung.

Die 3037 m lange Leitung besteht vollkommen aus Stahl, ihr Gesamtgewicht beträgt 3800 t. Sie tritt aus der Talsperre auf Kote 2028 aus und endet in Kote 936. Der Stauspiegel des Staubeckens liegt in Höhe 2082. Rechnet man die Druckstöße ein, so ergeben sich am unteren Rohrteile die beträchtlichen Drücke von 132 kg/cm². Der Durchmesser der Rohrleitung wurde für 7,500 m³/sk berechnet.

Die Leitung besteht aus zwei Hauptteilen: einem Abschnitt mit schwacher Neigung von 1080 m Länge, der ganz in gehauenen Fels eingelassen ist und einem stark geneigten Abschnitt von 1957 m Länge.

Die Rohre des schwach geneigten Teiles haben 1,80 m \varnothing ; sie sind elektrisch geschweißt und am oberen Ende mit Schiebern und Sicherheitsvorrichtungen versehen. Im stärker geneigten Abschnitt sind mit Wassergas geschweißte Rohre von 1,40 m \varnothing angeordnet, im unteren Teil bandagierte Rohre von 1,40 und 1,30 m Durchmesser. Auch hier sind Ventile und Sicherheitsvorrichtungen eingebaut.

Zwischen diesen beiden Hauptabschnitten ist ein Wasserschloß als Stahlrohr von 2,5 m \varnothing und 70 m Höhe eingebaut, das in einem in den Felsen gehauenen Schacht steht.

Der untere Teil der Druckrohrleitung kreuzt vor dem Kraftwerk die Mont-Cenis-Bahn (Frankreich—Italien) und endet dann in einem Verteilrohr mit drei Abzweigungen, deren jede zu einer Turbine mit einer Leistung von 34 700 PS führt.

Die Bauarbeiten waren wegen der starken Neigungen und der Schwere der Rohre, von denen einzelne bis zu 15 t wogen, recht schwierig. Die Rohrleistung wird bestimmt durch HD^2 (H = Fallhöhe, D = mittlerer maßgeblicher Rohr-

Durchmesser). Die Druckrohrleitung von „La Bissorte“ ist wegen der Rekordzahl von $HD^2 = 2360$ beachtenswert. Sie wurde berechnet einerseits um dem Vacuum zu widerstehen, anderseits für einen statischen Druck entsprechend dem höchsten Stauspiegel; im einen Falle erhöht um einen linearen Zuschlag von 15 % infolge der Druckstöße beim Schließen der Turbinen, im andern Fall um eine 55 m höhere Wassersäule infolge der Druckschwankungen. In jedem Punkte wird der höhere Wert angenommen.

Die bei diesem Höchstdruck auftretenden Beanspruchungen betragen:



Fig. 1.

„La Bissorte“,
Gesamtansicht
der Druckleitung.

8 kg/mm² für die Rohrwandungen,
24 kg/mm² für die Bandagen,
2 kg/cm² Bodendruck unter dem tragenden Mauerwerk.

Für die Herstellung der Stahlrohre fand besonders weicher Siemens-Martin-Stahl mit Höchstwerten der Zugfestigkeit von 35 kg/mm² und der Dehnung von 30 % Verwendung. Für die Bandagen wurde Spezial-Siemens-Martin-Stahl mit Mindestwerten für Zugfestigkeit, Elastizitätsgrenze und Dehnung von 90 kg/mm², 60 kg/mm² und 8 % verwendet.

Flache Strecke.

Dieser Teil umfaßt: ein Verankerungs- und Dichtungsstück von einem inneren \varnothing von 1,8 m; Länge 80 m vom Zulaufstollen (Kote 2028,86) bis Apparaten-Kammer (Kote 2028,78), mit einer Neigung von 1 ‰. Die Rohre dieses Abschnittes sind lichtbogengeschweißt und haben 12 mm Wanddicke. Sie wurden

in Stücken von 9 m Länge zur Baustelle gebracht, dort ineinandergeschoben und mittels Lichtbogenschweißung verbunden.

Die Rohre sind völlig in den Stollen einbetoniert, um eine feste und dichte Verankerung zu erreichen. Nach dem Betonieren wurden auf der ganzen Strecke Injektionen durch die Rohrwände ausgeführt.

Eine Leitung (innerer \varnothing 1,8 m) von 1000 m Länge erstreckt sich von der Apparatenkammer (Kote 2028,78) bis zum Kugelschieber am Anfang der starken Steigung auf Kote 2015,36 m. Sie liegt mit einem Gefälle von 13,4‰ ganz im Innern eines Stollens, der genügend weit ist, um Überwachung und Unterhalt zu ermöglichen. Die Leitung ist in lichtbogengeschweißten Rohren von 8—9 mm Wanddicke und 9 m Stücklänge ausgeführt, die an Ort und Stelle durch Nietung verbunden wurden.

Alle 3 m wurden Verstärkungsringe angebracht. Zwei zwischenliegende Fixpunkte gewährleisteten eine gute Lagerung, die durch gemauerte Rohrsockel mit Stahlsattel in Abständen von 9 m ergänzt wird.

Die Leitung enthält keine Dehnungsstücke, obwohl die Krümmer verankert sind, denn die Wärmeschwankungen im Stollen sind gering.

Wasserschloß.

Das Wasserschloß von 2,5 m \varnothing zweigt an der schwach geneigten Strecke ab und ist unmittelbar oberhalb des Übergangspunktes zur stark geneigten Strecke angeordnet. Es besteht aus einem waagerechten Teil im Innern eines Stollens von 62 m Länge, und einem Teil von 65 m in einem senkrechten Schacht.

Die Strecke besteht aus lichtbogengeschweißten Rohren von je 6 m Länge und 8—15 mm Wanddicke, die in der waagerechten Strecke aneinandergenietet, in der senkrechten geschweißt wurden. Die Rohre in der Waagerechten ruhen auf Rohrsockeln. Die senkrechten Rohre wurden zwischen Wand und Fels mit Beton vergossen.

Strecke im starken Gefälle. Sie umfaßt:

1. Einen Abschnitt von 522 m Länge aus wassergasgeschweißtem Rohre von 1,4 m Innendurchmesser, der bis zur Kote 1704 hinabreicht, und in einem waagerechten Stollen, in einem 849‰ geneigten Stollen und schließlich im Freien verläuft.

Dieser Teil enthält ebenfalls keine Dehnungsstücke. Die mit Wassergas geschweißten Rohre haben 11—39 mm dicke Wandungen; sie wurden auf der Baustelle vernietet.

Die Krümmer wurden mit den Rohren durch lose Flanschen und Bolzen verbunden.

Die Festpunkte sind auf die ganze Strecke verteilt und in den Geraden angeordnet, sodaß die Krümmer alle Längsbewegungen mitmachen können, die durch Wärmeschwankungen entstehen.

Zwischen den Festpunkten ruht die Leitung alle 12 m auf Rohrsockeln mit Gleitsätteln.

2. Einen Abschnitt aus *bandagiertem Rohr* von 1,4 m Innen- \varnothing und 152 m Länge, welches bis zur Kote 1632 m geht. Dieses Stück ist offen verlegt. Die Wanddicke der Rohre ist 12 mm, die Bandagen sind 60 mm breit und 22 bis

26 mm dick. Die Rohre wurden auf der Baustelle vernietet. Alle Krümmer sind in Festpunkten verankert und mit den geraden Stücken durch Expansionsmuffen verbunden. Die geraden Stücke sind ebenfalls in Abständen von 19 m verankert. Dazwischen ruht die Leitung alle 6,40 m auf Rohrsockeln mit Gleitsätteln. Zwischen jedem Festpunkt wird die Dehnung der Leitung durch Dehnungsstücke mit geringem Spiel ermöglicht.

3. Ein *bandagiertes Rohrstück mit einem Innen- \varnothing von 1,3 m* mit Muffenstößen und mit einer Länge von 827 m, das bis zur Kote 1120 m geht. Dieses Stück ist abwechselnd in Stollen und im Freien verlegt. Seine Wanddicken betragen 12—20 mm, die Bandagen haben Abmessungen von 60×24 und 80×48 mm. Die Längen der Rohre, ihre Verbindung und Auflagerung entsprechen den vorgenannten Strecken.

4. Ein *bandagiertes Rohrstück mit 1,3 m Innen- \varnothing und von 451 m Länge*, welches bis zum Verteilrohr (Kote 938,70 m) geht und auf einer Rohrbrücke über den Wildbach Bissorte geführt wird und zuletzt die Eisenbahn in einem Stahlschutzrohr unterfährt. Die Wanddicken dieses Rohres betragen 22—24 mm; seine Bandagen haben Abmessungen von 9×48 bis 100×54 mm. Wie bei den vorgenannten Strecken sind die Rohre an den Krümmern und alle 19 m auf den Geraden in Festpunkten gelagert; die Dehnungsfreiheit zwischen den Festpunkten wird durch Gleitmuffen gesichert. In Abständen von 6,40 m sind Rohrsockel mit Gleitsätteln angeordnet.

5. Ein horizontalliegendes Verteilerrohr (Innendurchmesser von 1,3, 1,1 und 0,8 m, 38 m Länge) mit drei Abzweigungen zu den Turbinen. Mit Ausnahme der Abzweigstücke ist es in Mauerwerk eingelassen, das mit dem Fundament des Kraftwerkes eine Einheit bildet. Es besteht aus bandagierten Rohren mit einer Wanddicke von 35 mm, die durch lose Flanschen verbunden sind; die Abzweigstücke bestehen aus Gußstahl.

Herstellung und Montage der Rohre.

Die für die Rohre benutzten Bleche wurden im Walzwerk einer genauen Kontrolle unterzogen. In der Stahlbauwerkstatt wurden sie mit Marken versehen, aus denen alle Einzelheiten über ihre Herstellung hervorgehen; damit war eine genaue Kontrolle bei der Weiterverarbeitung gewährleistet.

Elektrisch geschweißte Rohre.

Die Bearbeitung der Bleche geschah in der üblichen Reihenfolge: Hobeln, Abschrägen der Kanten, Biegen, Schweißen, hydraulische Prüfung, Nachbehandlung und Anstrich. Bei geringer Blechstärke wurde kalt auf senkrechter hydraulischer Presse gebogen. Die Lichtbogenschweißung erfolgte mit umhüllten Elektroden. Die Nähte sind V-Nähte mit Wurzelnachschweißung. Die Längsnähte wurden mit automatischer Schweißmaschine, die Quernähte mit der Hand geschweißt.

Mit Wassergas geschweißte Rohre.

Bei diesen Rohren erfolgten Hobelung, Abschrägen und Biegen wie bei der vorgenannten Art. Die Schweißung geschah mit Wassergas (das Gas entsteht beim Überleiten von Wasserdampf über glühenden Koks). Dieses Gas, das reich an

H und CO ist, reduziert stark beim Brennen. Die Schweißung erfolgt durch Verschmelzung des Blechwerkstoffes ohne fremden Metallzusatz. Die sich überlappenden Blechränder werden durch Brenner bis zur Weißglut erhitzt und durch Hämmerung verschweißt.

Die Schweißung verformt das Rohr, verursacht innere Spannungen und überhitzt den Werkstoff. Daher glüht man die Rohre bei 950° (pyrometrische Kontrollmessungen) aus und nutzt den Vorgang gleichzeitig dazu aus, das rotglühende Rohr in einer Maschine zu runden, was sehr schnell gehen muß, weil die Temperatur nicht unter 500° sinken darf. Hiernach werden die Rohrenden

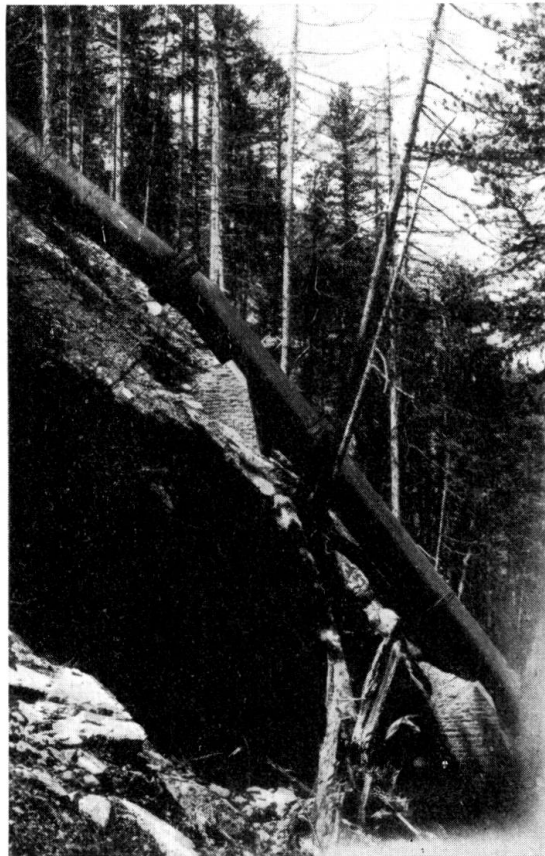


Fig. 2.

Mit Wassergas
geschweißter Teil
der Druckleitung
auf der Kote 1810.

warm in einer Randbearbeitungsmaschine muffenartig geformt, damit sie ineinanderpassen. Schließlich werden die Rohre mit Druckwasser geprüft, nachbehandelt und angestrichen.

Die Längsnähte wurden in einer Wassergasschweißtrasse hergestellt, mit der Rohre bis zu 3 m \varnothing und 6,50 m Länge geschweißt werden können. Die Hämmerung erfolgte mit Preßlufthämmern. Die Quernähte wurden von Hand mit einer Vorrichtung gehämmert. Bei dicken Blechen arbeiteten manchmal bis drei Mann gleichzeitig. Das Nachglühen der Rohre erfolgte in einem Gasofen, in dem Rohre bis zu 3 m Durchmesser und 6,50 m Länge geglüht werden können. Eine ständige Überwachung der Temperatur erfolgt durch selbstschreibende Pyrometer im Büro des Werkmeisters.

Für die Nachrundung benutzte man Biegemaschinen mit vier Zylindern, die die Schweißnaht walzten.

Bandagierte Rohre.

Diese neue Methode wird seit 1925 angewandt. Bei der Herstellung von Geschützrohren wird das Verfahren ständig verwendet. Es soll im Folgenden näher erläutert werden.

Ein Geschützrohr sei aus einem Stück hergestellt, besitze aber zunächst noch nicht die erforderliche Festigkeit, um die beim Schießen auftretenden Beanspruchungen auszuhalten. Die erforderliche Festigkeit erhält das Rohr erst durch die Bandagierung. Das Innere des Rohres wird an eine starke hydraulische Presse angeschlossen und nachdem die Rohrenden dicht verschlossen sind, wird der Druck stetig erhöht bis zu einem bestimmten Betrage, der die Elastizitätsgrenze des Rohres etwas überschreitet, aber erheblich unter der Bruchgrenze liegt. Dieser Druck wird eine ausreichende Zeit lang aufrechterhalten, bis man ihn stetig auf den Luftdruck abfallen läßt.

Das über die Elastizitätsgrenze gedehnte Rohr behält eine bleibende Verformung bei; die Außenzone steht unter Zug, die Innenzone unter Druck. Dieser Vorgang wird Bandagierung oder „Selbst-Umschnürung“ genannt, weil man versucht wird, zu sagen, das Rohr umschnüre sich selbst.

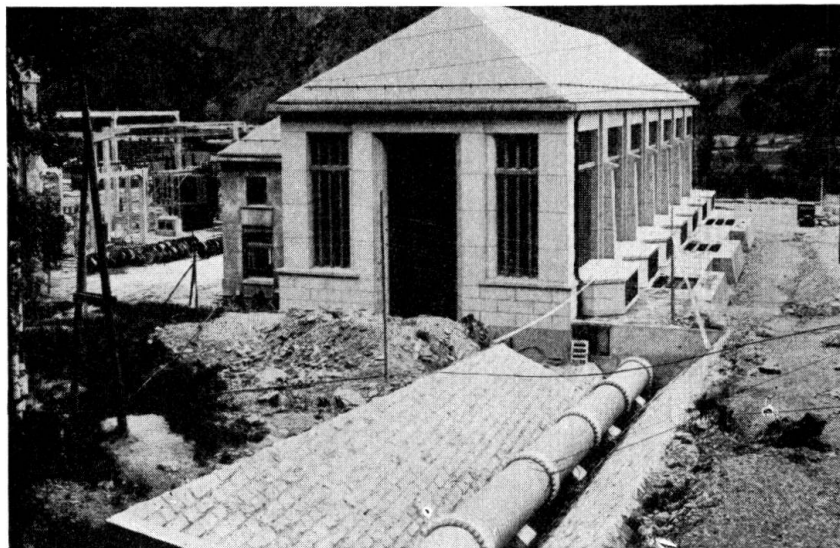


Fig. 3.

Druckleitung am Eintritt in das Maschinenhaus.

Verlassen wir nun die Geschütztechnik und wenden wir uns den Anwendungen dieses Verfahrens für andere Zwecke zu. Es sind zwei wichtige Punkte zu beachten:

I. Die Tatsache, daß das Rohr unter bekanntem Druck eine über die Elastizitätsgrenze hinausgehende Beanspruchung und eine bleibende Verformung, aber ohne Bruch, erlitt, gibt ihm die Fähigkeit, den gleichen Druck erneut aufzunehmen, ohne daß eine nochmalige bleibende Verformung eintritt. Die Elastizitätsgrenze ist also heraufgesetzt worden, d. h. es liegt eine Änderung der mechanischen Eigenschaften vor.

Durch eine derartige Behandlung eines Rohres kann die Elastizitätsgrenze des

Rohrwerkstoffes um ein Drittel des ursprünglichen Wertes erhöht und seine Zugfestigkeit um 8% gesteigert werden.

Das Verfahren bietet also die Möglichkeit, ein Stahlrohr aus einem neuen Werkstoff zu fertigen, dessen Eigenschaften man vorher den erwarteten Beanspruchungen anpassen kann.

II. Das Verfahren weist noch eine sehr interessante Besonderheit auf: der erzeugte Vorspannungsdruck stellt gleichzeitig die schärfste und genaueste Festigkeitsprüfung dar, da die Betriebsbeanspruchung um einen genau bestimmten Mehrwert überschritten wird.

Das Erzeugnis wird also gleichzeitig gefertigt und geprüft, ein Vorgang, der besonders wirtschaftlich ist und wirkliche wissenschaftliche Garantien für die Festigkeit des Rohres bietet.

Die Betriebsbedingungen für Druckleitungen gleichen zwar nicht denen für Geschützrohre, aber das angestrebte Ziel bleibt das gleiche: man will für die vorliegenden Betriebsbedingungen einen Bestwert des Verhältnisses der Festigkeit zum Gewicht unter wissenschaftlich einwandfreier Kontrolle erzielen.

Ein bandagiertes Rohr für Druckleitungen besteht aus einem inneren geschweißten Stahlrohr, dessen Wanddicke ein Bruchteil der Wanddicke eines gewöhnlichen Rohres gleicher Festigkeit ist, sowie aus Verstärkungsringen, die in gleichen Abständen auf der Außenseite aufgebracht werden.

Die Mantelringe haben Rechteckquerschnitt, sind nahtlos gewalzt und aus einem Stahl gefertigt, dessen Elastizitätsgrenze weit höher als die des Rohrwerkstoffes ist, eine wichtige Vorbedingung für das Bandagierungsverfahren. Der Außendurchmesser der Rohre ist etwas geringer als der Innendurchmesser der Verstärkungsringe, die also kalt aufgezogen werden können.

Die Enden des Rohres werden nun dicht verschlossen und das Innere des Rohres mit einer starken hydraulischen Presse verbunden. Der Druck wird stetig gesteigert, bis wenigstens das Doppelte des höchstmöglichen Betriebsdruckes erreicht ist (statischer Druck + Überdruck).

Dieser Höchstdruck wird Bandagierungsdruck genannt.

Der Bandagierungsdruck wird eine Minute lang aufrechterhalten und dann auf den Betriebsdruck abgesenkt. Dann werden Rohr und Ringe gehämmert und durchgeprüft, insbesondere daraufhin, ob die Wandung die Verformung gut überstand. Man steigert dann den Druck wieder bis zum Bandagierungsdruck und erhält diesen mindestens fünf Minuten lang aufrecht. Auf diese Art und Weise sind gleichzeitig die Bandagierung und die Druckprobe vollzogen.

Diesem Überblick sind noch einige Erläuterungen des Herstellungsganges anzuschließen:

1. Unter dem steigenden Druck dehnt sich die Rohrwand und preßt sich an die Ringe. Während der Druck steigt, sucht das Rohr die Mantelringe zu weiten, die nun unter Spannung stehen.

Nach dem endgültigen Druckabfall hat die Rohrwand ihre Elastizitätsgrenze überschritten und zeigt eine dauernde Verformung. Es wurde eine neue Elastizitätsgrenze geschaffen, die höher als die frühere ist. Andererseits erleiden die Mantelringe dank ihrer eigenen Materialfestigkeit nur eine elastische Verformung; auf die Außenwand des Rohres wird ein ebensolcher Druck ausgeübt wie es bei heiß aufgezogenen Ringen der Fall wäre.

2. Ein derart bandagiertes Rohr hat bei gleicher Betriebssicherheit ein halb so großes Gewicht als ein gewöhnlich geschweißtes Rohr.

3. Ein besonderer Vorteil des Verfahrens ist die Möglichkeit, während des ganzen Herstellungsganges mittels geeigneter Apparate das Verhalten des Werkstoffes zu überwachen und die theoretischen Bedingungen genau zu erfüllen.

4. Die Herstellungsart bietet in sich selbst alle erforderlichen und hinreichenden Kontrollmöglichkeiten. Ein nach diesem Verfahren hergestelltes Rohr hat eine Festigkeit, die mindestens dem doppelten Wert des Betriebsdruckes entspricht. Die Druckproben nach dem Einbau können auf die Dichtigkeit der Verbindungsstellen beschränkt werden.

5. Die bandagierten Rohre entsprechen ungeschweißten Rohren, d. h. sie sind sehr widerstandsfähig. Infolgedessen ist ihre Verwendung für Druckrohrleitungen viel günstiger, da ihr Durchmesser größer als der für ungeschweißte Rohre sein kann. In manchen Fällen würden gewöhnliche, geschweißte Rohre keine ausreichende Festigkeit besitzen oder sie würden übertriebene Wanddicken erfordern, die ein zu großes Gewicht zur Folge hätten oder könnten gar nicht hergestellt werden.

Neben der Bandagierung wird gleichzeitig eine hydraulische Druckprüfung für mindestens doppelt so hohe Drücke erzielt, wie sie im Betrieb erwartet werden können (d. h. statischer Druck + Überdruck).

Die für die Herstellung der Rohre wichtigste Maschine ist die hydraulische Presse für hohe Drücke, wie sie für Druckleitungen, wie die an der Bissorte, erforderlich sind.

Die Kontrolle der Materialbeanspruchungen wird folgendermaßen durchgeführt.

Vor dem Pressen wird auf den Mantelringen eine Anzahl von Zugmessern befestigt, die man über die ganze Rohrlänge gleichmäßig verteilt. Während des Vorganges registriert man zuerst den erforderlichen Druck zur Erreichung der Berührung zwischen Rohr und Ringen, dann die Spannungszustände der Ringe unter den wachsenden Drücken bis zum Bandagierungsdruck, und unter dem bis zum Betriebsdruck abnehmenden Druck, sodann unter dem erneut bis zum Bandagierungsdruck gesteigerten und nachher wieder auf den Betriebsdruck abgelassenen Druck; endlich wird der Druck abgelassen, um das Maß der Umschnürung zu prüfen. Während des Vorganges vermag man den Innendruck rechtzeitig einzuregeln, um die theoretischen Spannungen zu erreichen.

Die bei der Herstellung und den Prüfungen gemachten Feststellungen zeigten befriedigende Übereinstimmung der errechneten und gemessenen Beanspruchungen und erlaubten, die wichtige Spanne zwischen der Elastizitätsgrenze der Ringe und ihrer Maximalspannung beim größten Preßdruck nachzuprüfen.

Die bandagierte Rohrwandung besteht allgemein entweder aus besonders weichem Stahl:

| | |
|--------------------------------------|---------------------------|
| Zugfestigkeit | $\geq 34 \text{ kg/mm}^2$ |
| Elastizitätsgrenze | $\geq 19 \text{ kg/mm}^2$ |
| Dehnung | $\geq 30 \%$ |
| Kerbzähigkeit (Mesnager-Wert) \geq | 7 kg m/cm^2 |
| Zulässige Höchstbeanspruchung | 8 kg/mm^2 |

oder aus Spezialstahl mit hoher Elastizitätsgrenze:

| | |
|-------------------------------|----------------------------|
| Zugfestigkeit | $\geq 54 \text{ kg/mm}^2$ |
| Elastizitätsgrenze | $\geq 36 \text{ kg/mm}^2$ |
| Dehnung | $\geq 20 \%$ |
| Kerbzähigkeit (Mesnager-Wert) | $\geq 7 \text{ kg m/cm}^2$ |
| Zulässige Höchstbeanspruchung | 12 kg/mm^2 |

Im ersten Fall sind die Mantelringe aus kohlenstoffreichem Stahl:

| | |
|-------------------------------|----------------------------|
| Zugfestigkeit | $\geq 90 \text{ kg/cm}^2$ |
| Elastizitätsgrenze | $\geq 60 \text{ kg/cm}^2$ |
| Dehnung | $\geq 8 \%$ |
| Kerbzähigkeit (Mesnager-Wert) | $\geq 4 \text{ kg m/cm}^2$ |
| Zulässige Höchstbeanspruchung | 24 kg/mm^2 |

Im zweiten Fall, wird ein Spezialstahl gewählt:

| | |
|-------------------------------|----------------------------|
| Zugfestigkeit | $\geq 115 \text{ kg/mm}^2$ |
| Elastizitätsgrenze | $\geq 95 \text{ kg/mm}^2$ |
| Dehnung | $\geq 6 \%$ |
| Kerbzähigkeit (Mesnager-Wert) | $\geq 5 \text{ kg m/cm}^2$ |
| Zulässige Höchstbeanspruchung | 36 kg/mm^2 |

Die mittlere Beanspruchung eines bandagierten Rohres in Bezug auf Wand- und Ringquerschnitt beträgt 16 kg/mm^2 im ersten Fall, 24 kg/mm^2 im zweiten. Ein solches Rohr ist halb so schwer wie ein gewöhnliches Rohr für die Höchstbelastungen von 8 und 12 kg/mm^2 .

Die Verwendung bandagierter Rohre ist nicht allein auf Druckleitungen großer Fallhöhe beschränkt, sondern Versuche haben gezeigt, daß man sie vorteilhaft und wirtschaftlich bei Höchstdrücken über 320 m verwenden kann. Ihr Verwendungsbereich ist in manchen Fällen sehr weit, besonders wenn die Sicherheitsfrage wichtig wird.

Neben der Wirtschaftlichkeit bei der Verlegung haben bandagierte Rohre wegen der großen Sicherheit für Wasserkraftwerke besondere Bedeutung.

Diese Rohrleitung vermag nämlich wegen der großen Elastizität in radialer Richtung infolge des Innendruckes die Druckstöße abzuschwächen, so daß das Material weniger beansprucht wird. Die Druckstöße sind eine Funktion der Geschwindigkeit der Wellenfortpflanzung, und nehmen mit den letzteren ab. Die Geschwindigkeit ist bei Stahlrohren:

$$a = \frac{9,900}{\sqrt{48,3 + 0,5 \frac{D}{e}}} \quad \text{oder} \quad \frac{D}{e} = \frac{2 R}{p}, \quad \text{d. h.} \quad a = \frac{9,900}{\sqrt{48,3 + \frac{R}{p}}}$$

z. B. Innendruck $p = 1000 \text{ m Wasser}$, also 1 kg/mm^2

Beanspruchung $R = 8 \text{ kg/mm}^2$ für gewöhnliche Rohre,

$R = 16 \text{ kg/mm}^2$ für bandagierte Rohre.

Im ersten Fall ist $a = 1320 \text{ m}$, im zweiten Fall $a = 1230 \text{ m}$.

Die Rohre, die den größten Teil der Druckleitung an der Bissorte ausmachen, sind mit wassergasgeschweißten Rohren hergestellt. Um größtmögliche Gleichmäßigkeit bei der Bandagierung zu erzielen, wurde vorsichtshalber Wert darauf gelegt, Bleche aus dem gleichen Produktionsgang zu nehmen.

Während der Bandagierung wurden Ringe und Schweißstellen stark gehämmert. Ferner wurden bei einer Anzahl Rohre Messungen vom Luftdruck bis zum Bandagierungsdruck und umgekehrt mittels der Huggenberger-Dehnungsmesser ausgeführt. Man konnte somit die errechneten Beanspruchungen mit den wirklichen vergleichen.

Rohre von 1,3 m \varnothing , die den größten Druck auszuhalten haben, wurden mit einem Druck von 264 kg/cm² geprüft.

Bei der Bandagierung wurden auf die Rohrenden starke Ringe aufgesetzt, um genau gerundete Körper zu erhalten, so daß die fertigen Rohre keiner Nachbe-

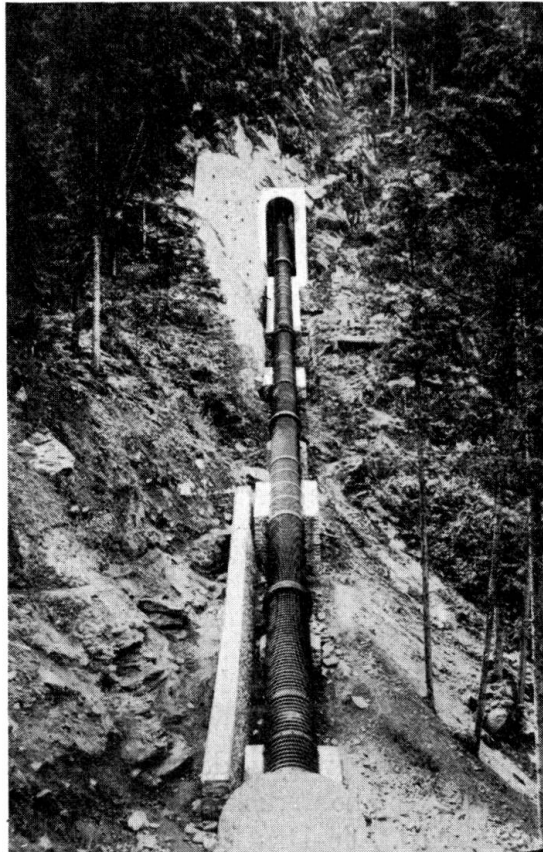


Fig. 4.

Teil der Druckleitung beim Eintritt in den Stollen auf der Kote 1220.

handlung der Ringe und Muffen an den Enden bedürfen. Die Ringe wurden auf eine Anzahl Rohre elektrisch festgeschweißt; zusätzliche Druckprüfungen zeigten Dichtigkeit und Festigkeit dieser Schweißstellen.

Anstrich in der Werkstatt.

Vor der Versendung wurden alle Rohre gebürstet, gereinigt, sowie innen und außen heiß geteert.

Zur Teerung wurden die Rohre mit großen Gasbrennern auf 80° erhitzt, dann in einen Teerbehälter getaucht, dessen Inhalt die gleiche Temperatur besaß. Nach dem Abtropfen besaßen die Rohre eine fest haftende Teerschuttschicht.

Überwachung.

Die Überwachung der Herstellung geschah durch einen ständigen Kontrolldienst des Konstrukteurs, der besonders bei der Entnahme der Proben, den

Prüfungen der Schweißstellen, den Druckversuchen und Maßkontrollen in Tätigkeit tritt; andererseits wird ab und zu auch durch die Betriebsleitung kontrolliert. Jedes Rohr wird gestempelt und protokolliert, besonders betreffs der hydraulischen Druckversuche.

Druckversuche.

Der hydraulische Druckversuch ist bei der Herstellung der bandagierten Rohre von größter Bedeutung. Für Druckrohrleitungen stellt er die wichtigste Kontrolle dar.

Alle Leitungsrohre der „Bissorte“ sind auf den doppelten im Betrieb vorkommenden Höchstdruck (statischer Druck + Überdruck) geprüft.

Man benutzte hierzu eine Druckpresse von 3500 t. Mit dieser Presse können Rohre bis zu 3 m \varnothing und 13 m Länge geprüft werden.

Bei den bandagierten Rohren stellt die Bandagierung gleichzeitig die Prüfung dar. Bei den elektrisch oder mit Wassergas geschweißten Rohren wurde der Druck zuerst für eine Minute doppelt so hoch gehalten wie der höchste Betriebsdruck, dann wurde er abgesenkt, währenddessen die Schweißstellen stark gehämmert wurden; schließlich steigerte man den Druck auf den Versuchswert und hielt diesen Druck 5 Minuten lang aufrecht. Nach Fertigstellung wurden die Rohre nach Bedarf mit Lastkraftwagen zur Baustelle geschafft.

Montage.

Die Montage, besonders die Beförderung der Rohre, war wegen des ungünstigen Geländes, des starken Gefälles und der großen Gewichte der Einheiten recht schwierig. Man ging hierbei folgendermaßen vor:

Alle Einheiten zwischen Höhe 1030 und 2015 wurden mittels Luftseilbahn befördert. Für jedes Stollenstück in diesem Abschnitt wurde eine besondere Vorrichtung für das Herablassen der Rohre aufgestellt.

Zwischen Höhe 945 und 1030 wurden die Einheiten auf einer schiefen Ebene befördert.

Der Einbau des folgenden talseitigen Stückes bot wegen der geringen Neigung und des leichten Zuganges keine besonderen Schwierigkeiten.

Der Arbeitsplan wurde bestimmt durch

- die Leistungsfähigkeit der Luftseilbahn,
- die Notwendigkeit, Montage und Bauarbeiten gleichzeitig vorzunehmen,
- die Unmöglichkeit, die Arbeitsgruppen mit Rücksicht auf mögliche Unfälle zu erweitern.

Die Montage wurde in zwei Hauptabschnitten durchgeführt. Während des ersten verlegte man die Leitung zwischen Höhe 1030 und 1650, sowie das Stück von der Zentrale bis zum dritten Fixpunkt; im zweiten Teil den Anschluß an die schwachgeneigte Strecke und an die drei Turbinen. Man hatte vier Baustrrecken, arbeitete aber nur auf zweien gleichzeitig. Die andern dienten als Aushilfsplätze für den Fall, daß die Arbeiten auf den ersten verzögert oder verhindert wurden. Diese Methode drängte sich besonders dann auf, wenn Monteure und Maurer in einem Stollen abwechselnd arbeiten mußten.

Bereits bei Beginn der Montage wurde ein Druckversuch bei dem ersten Leitungsdrang erforderlich, um die Dichtigkeit der ersten Baustellen-Nietungen zu prüfen, die einen normalen Arbeitsdruck von 100 kg/cm^2 auszuhalten hatten.

Ein zweiter, wohl wichtigerer Versuch wurde nach Einbau aller bandagierten Rohre (einschließlich Verteilrohr) vorgenommen, also zwischen Höhe 936,70 und 1715. Diese Versuche sollten das Verhalten der Dichtungen der Verbindungen und die Stabilität der Leitung und der Abstützungen unter Höchstdruck zeigen. Nach der Füllung der Leitung wurde der Druck mittels einer Elektropumpe erreicht, die im Generatorenraum stand und unmittelbar auf das Verteilrohr wirkte. Zwei Druckmesser waren an jedem Ende der Leitung angebracht.

Am ersten Tage wurde der Druck auf 115 kg/cm^2 am Verteilrohr gesteigert, am zweiten Tag auf 124 kg/cm^2 und am dritten auf 132 kg/cm^2 . Zu diesem Zeitpunkt zeigte der obere Druckmesser 54 kg/cm^2 .

Im Verhältnis zum statischen Druck waren die Überdrücke bei diesem Versuch 15 % am Verteilrohr, 50 % am oberen Ende.

Diese, besonders für die oberen Teile harte Prüfung ergab keine Beanstandung. Alle Verbindungen waren dicht, die Abstützungen waren gegenüber beträchtlichen Beanspruchungen unbedingt standfest.

Gleich nach Beendigung der Verlegung wurde die Leitung mit einem bituminösen Anstrich versehen.

Im Innern wurden die in der Werkstatt hergestellten Anstriche, die durch die Montage gelitten hatten, ausgebessert; außen wurde an den Teilen, die der Luft ausgesetzt waren, ein einfacher, an den Teilen, die in den Stollen lagen, ein doppelter Anstrich vorgenommen.

Der dem Generatorenraum benachbarte untere Teil wurde außen noch mit einem Aluminiumanstrich versehen.

Die Druckleitung wurde im Oktober 1934 fertiggestellt und im Mai 1935 vom Kraftwerk in Betrieb genommen. Seitdem arbeitet sie zufriedenstellend und mit regelmäßiger Leistung.

Zusammenfassung.

Das Kraftwerk von Bissorte mit 3 Turbinen von 34 700 PS ($7,5 \text{ m}^3$ mit 1150 m Gefälle) wird durch eine einzige Druckleitung mit Durchmessern von 1,800 m (oberer Teil) bis zu 1,300 m (unterer Teil) und einer Länge von 3037 m gespiesen. Ihr Gewicht ist 3800 t.

Dank der bandagierten Rohre System *G. Ferrand* brauchte eine einzige Leitung erstellt zu werden. In ihrem untersten Teil arbeitet sie im normalen Betrieb unter einem größten Druck von 132 kg/cm^2 .

Die bandagierten Rohre setzen sich aus dem Kreisrohr und den Bandagen zusammen, deren innerer Durchmesser wenig größer als der äußere des Rohres ist. Die Bandagen wurden nicht warm auf das Rohr aufgezogen, was die Möglichkeit

der Anwendung von Stahl hoher Festigkeit ausgeschlossen hätte. Der Zusammenschluß wurde vielmehr kalt durch innere Anwendung eines sogenannten Bandagierungsdruckes hergestellt. Diese bleibende Verformung verschlechtert die Eigenschaften des Rohres nicht, sondern gibt ihm im Gegenteil neue; der Bandagierungsdruck stellt zu gleicher Zeit eine strenge Festigkeitsprüfung dar, da er mindestens dem doppelten Arbeitsdruck entspricht.

Die Prüfung der Stahlbeanspruchung läßt sich leicht vornehmen und die Wasserschläge werden mit diesem Rohrtyp merklich vermindert, der wegen Verwendung hochwertigen Stahles kleine Anlagekosten erfordert.

Leere Seite
Blank page
Page vide