

Kleine Wasserkraft-Elektrizitätswerke, besonders deren selbsttätige Regulierungsarten.

Don Ing. C. Reindl, Landshut.

Sonderabdruck aus „Zeitschrift für das gesamte Turbinenwesen“, 1911, Heft 10—24.
Verlag von R. Oldenbourg in München und Berlin.



Druck von R. Oldenbourg in München.

Inhaltsübersicht.

	Seite
Vorbemerkung. Wesen der kleinen Anlagen	1
I. Fassung und Zuleitung des Wassers	2
Gasrohre; Stahl- und Schmiedeisen-Muffenrohre. Sicherheitsvorkehrungen gegen Luft- und Wasserschläge und atmosphärische Ladungen.	
II. Turbinenanlage	5
Regulierung durch Beeinflussung der Turbinen.	
Allgemeine Anordnung; Einbauarten; Anforderungen an die Regulierung.	
1. Bremsregler	7
a) Mechanische Bremsregler.	
b) Elektrische Bremsregler. Nutzbremmung	10
2. Füllungsregler.	
a) Mechanische indirekte Regelung	15
b) Hydraulische indirekte Regelung; hydraulische direkte Regelung. Zusammenbau mit der Turbine; Schwimmerregler zur Konstanthaltung des Gefälles	15
c) Direkte Regelung, besonders für Freistrahlturbinen; Luftregler	21
d) Beispiele kleinerer Anlagen und besonderer Anordnungen; Ejektoren zur Hochwasserausnutzung; Standschächte; Spiralturbinen in Niederfällen; Schwimmerregler; Hochgefälle-Anlagen	23
III. Elektrische Anlage.	
Regelung durch Beeinflussung der Generatoren.	
a) Erregerstrom - Regler, Drehzahl der Turbine besonders reguliert. Solenoidregler; Motorregler; Tirrillregler; Thuryregler; Thury-Schnellregler	30
Gleichstromgenerator mit reglerloser Turbine	37
b) Asynchrone unbediente Wechselstrom-Anlagen	37
c) Regelung durch Batterie bei Gleichstrom; Turbine und Dynamo reglerlos oder Zusatzdynamo mit Thuryregler	43
d) Allgemeine Gesichtspunkte; Normal-schaltungen; Überspannungsschutz	46



Kleine Wasserkraft-Elektrizitätswerke, besonders deren selbsttätige Regulierungsarten.

Von Ing. C. Reindl, Landshut.

Während in den größeren, besonders den öffentlichen Gewässern, eine weitgehende Zentralisierung der Kraft-erzeugung in Großanlagen eingetreten ist, und das oft mit vollem Recht, fordert andererseits das stets steigende Bedürfnis nach Elektrizität mehr und mehr auch zur Heranziehung der unzähligen kleinen und kleinsten Wasserläufe, hauptsächlich in den damit reich gesegneten Gebirgsländern, heraus; sei es für rein private Zwecke zur Versorgung größerer Anwesen, Anstalten, oder für engere Interessengemeinschaften, einzelne Orte oder Gemeinden.

Die Vorteile, welche ein bequemer und billiger Bezug elektrischer Energie in jeder Hinsicht bietet, brauchen nicht erst erörtert zu werden, und hierin bedeuten die kleinen Anlagen, die meist den Vorzug billigster Ausbaumöglichkeit wegen der günstigen hydrographischen Verhältnisse¹⁾ besitzen oder im Nebenbetrieb von größeren privaten oder kommunalen Anstalten, Mühlen, Sägen u. dgl. geführt werden, einen nicht zu unterschätzenden Faktor für die Leistungsfähigkeit und den Wohlstand auch der kleineren Bevölkerung und der kleineren Gewerbetreibenden. Gerade in den Kleinanlagen mit ihren, bei richtiger Ausführung äußerst geringen Betriebsauslagen ist verhältnismäßig die ausgedehnteste Verwertung von Motoren für kleingewerbliche und landwirtschaftliche Zwecke und Heizkörpern aller Art zu finden.

Um solche niedrige²⁾ Selbstkosten des Stromes zu ermöglichen, die vielfach noch unter den tarifmäßigen Strompreisen der größeren Werke bleiben (besonders für Motoren und Heizkörper mit geringer Benutzungsdauer, gegenüber den Pauschaltarifen), sind neben geringen Anlagekosten³⁾ in erster Linie geringste Auslagen für Instandhaltung und Bedienung die Hauptanfordernisse, derart, daß die Betriebskosten möglichst nur aus Verzinsung und Tilgung des Anlagekapitals bestehen. Letz-

teres ist das Kriterium der „unbedienten Anlagen“: eine derart einfache, zuverlässige und automatisch wirkende Einrichtung, daß entweder gar keine Bedienung nötig ist, die ganze manuelle Tätigkeit sich also auf Anlassen und Abstellen und gelegentliches Nachsehen der Schmierung oder Reinigen des Kollektors durch eine hierauf „dressierte“ Person beschränkt, oder — bei größeren Anlagen — keine ständige geschulte Bedienung vorhanden ist. Bei Wechselstromanlagen mit Hochspannungsbetrieb z. B. kann eine mit der Elektrotechnik etwas näher vertraute Person doch nicht gut entbehrt werden; deshalb fällt die Anlage aber noch nicht aus dem Bereich der unbedienten Betriebe, wenn noch keine ständige Aufsicht vorhanden ist.

Dazu muß die Wahl der Einrichtung so getroffen sein, daß Reparaturen und Instandhaltungsarbeiten, die Fachkenntnis erfordern, nur in seltenen Fällen vorzunehmen sind, wie etwa Auseinanderbau einzelner Teile u. dgl.

Ein großer Vorzug in dieser Richtung liegt an sich schon in der Wasserturbine, im Vergleich zu anderen Antriebsmotoren; sogar zu den vielfach erstellten unbedienten Anlagen mit Explosionsmotoren, besonders Benzinmotoren, die allerdings nur für kleine Leistungen in Frage kommen. Wenn auch die Ausbildung der Schalteinrichtung, die alle Manipulationen zum Anlassen, Laden der Batterie und Abstellen zwangsläufig durch den gleichen Handgriff ausführen läßt, zu höchster Vollkommenheit gediehen ist, so ist doch nicht zu verkennen, daß ein schnellaufender Explosionsmotor mit seinen Steuerungsteilen, Zündung usw. unvergleichlich mehr Störungsmöglichkeiten in sich enthält als eine Turbine, vor welchen dann die Kenntnisse der „ungeschulten Bedienung“ haltmachen, und daß das Wohlergehen einer Akkumulatorenbatterie von ihrer Wartung nicht unabhängig ist. Das sind aber Umstände, welche die Erzeugungskosten recht unangenehm und wider alle Kostenvoranschläge beeinflussen können.

So vielfach die Zahl der Vorbilder und Erfahrungen an bewährten Großanlagen in der Literatur ist, so wenig — sozusagen von oben herab betrachtet — findet man über Kleinanlagen und die zur Erreichung der genannten Bedingungen vorhandenen Mittel und Wege.

¹⁾ Es sei bemerkt, daß hier vorwiegend von den Verhältnissen in den Gebirgsgegenden die Rede ist, denn dort findet sich die weitaus überwiegende Zahl von kleinen ausbauwürdigen Wasserkraften.

²⁾ Als vielleicht niedrigster Krafttarif dürfte der Preis von Kr. 20.-- pro PS und Jahr des Werkes Malsersheide gelten (Witz, Z. d. Österr. Ing.-u. Arch.-V. 1906).

³⁾ Oftmals dient z. B. die Turbinenleitung gleichzeitig für Nutz- oder Trinkwasser oder Feuerlöschrichtungen, oder es ist eine an sich für andere Zwecke nötige Maschinenanlage nur zur elektrischen Anlage zu ergänzen, so daß ein bestimmter Teil der Anlagekosten nicht auf das Konto „Elektrizitätswerk“ fällt.

Im folgenden soll nun versucht werden, dieses Gebiet etwas näher im Zusammenhang darzustellen. Demgemäß ist zunächst die Fassung und Zuleitung des Betriebswassers kurz zu streifen, bei letzterem besonders der gerade bei kleineren Rohrdimensionen und oft bedeutenden Längen jetzt wichtige Wettbewerb zwischen Guß- und Stahl-Muffenrohren. Nächst der Maschinenanlage, die möglichst einfach und billig ausfallen soll, tritt dann als hauptsächlichster Punkt, besonders für „unbediente Anlagen“, die automatische Regulierung auf. Sie muß unter Ausschaltung womöglich jeder Nachhilfe von Hand eine bestimmte Generatorspannung einhalten, die entweder konstant bleiben oder zur Deckung des mit der Belastung wachsenden Spannungsabfalles in einer längeren Fernleitung zunehmen soll, so daß die Spannung am Verbrauchsort konstant bleibt. Ein Konstanthalten der Tourenzahl der Antriebsturbine ist im allgemeinen nicht hierin eingeschlossen und bildet eine spezielle Forderung bei Wechselstrombetrieben. Das gebräuchlichste Mittel ist allerdings Regelung der Turbine auf gleichbleibende Drehzahl und separate Regelung der Dynamo auf die gewünschte Spannung, es läßt sich aber auch Turbine und Dynamo gemeinsam auf gleichbleibende Spannung und Drehzahl mit nur einem Apparat regeln, oder es läßt sich konstante Spannung durch Beeinflussung nur der Turbine oder nur der Dynamo allein erzielen; letztere beiden Fälle lassen die Drehzahl unbeeinflusst und nicht konstant, sind also nur für Gleichstromerzeugung anzuwenden. Zunächst sollen alle auf die Turbine einwirkenden Regelungsarten, also die ersteren drei Gruppen, besprochen werden und im Anschluß daran auch einige interessante Turbinenanlagen gezeigt werden; die auf die Generatoren wirkenden Regelungsarten und einige besondere Ausführungen des elektrischen Teiles von unbedienten Anlagen sollen sich anschließen.

Über Turbinenregler einerseits und elektrische Reguliervorrichtungen andererseits liegen ja in der Fachliteratur beider Gebiete vorzügliche Spezialwerke vor; des Verfassers Ziel war es hier, ein geschlossenes Bild über die Regulierungsfrage den Spezialisten beider Gebiete vorzuführen zu versuchen und zu zeigen, was sie auch von der anderen Seite erwarten und wie sie gegebenen Falles mit ihr zusammen eine Vereinfachung schaffen können.

Hierzu hat der Verfasser allseits die zuvorkommendste Unterstützung gefunden durch Überlassung von Zeichnungen und Informationen in weitestem Umfang. Eine Aufzählung der Firmen, die jeweils in der Arbeit an betr. Stelle genannt sind, mag hier unterbleiben; ebenso wie ihnen sei auch Herrn Oberingenieur Siegmund in Prag für das überlassene interessante Material und Herrn Professor Dr. Teichmüller in Karlsruhe für die Genehmigung, eine Anlage aus dem Lehrgang der Schaltungsschemata zu entnehmen, wie auch dem Verlag für sein Entgegenkommen, der beste Dank ausgesprochen.

I. Fassung und Zuleitung des Wassers.

Die Fassung des Betriebswassers findet besonders bei Hochfällen und den damit zusammenhängenden geringen Wassermengen und günstigen örtlichen Verhältnissen bei kleineren Anlagen meist keine großen Schwierigkeiten. Nicht selten bietet sich die Gelegenheit, den Wasserlauf an der Quelle selbst fassen zu können, wobei die Leitung dann gleichzeitig auch für Trinkwasser zu brauchen ist. Ein eigentliches Einlaufbauwerk mit Rechen und Schützen erübrigt sich dann; der Entwurf eines solchen einfachen Einlaufes ist in

Fig. 1 dargestellt. Holz ist für solche Zwecke ein sehr empfehlenswerter Baustoff; bei genügender Haltbarkeit (Lärchenholz) sichert er leichten Bau durch die in derartigen Bauten meist sehr geschickten einheimischen Arbeitskräfte und ev. leichte Reparaturen. Dem Kasten, der einer Quelle direkt vorgesetzt ist, wird durch kurze Flügelmauern aus Beton das Wasser zugeführt, statt eines hier nötigen Rechens ist ein engmaschiges Sieb angebracht, welches von dem auf allen Seiten überströmenden Wasser selbst von allenfallsigem Laub und

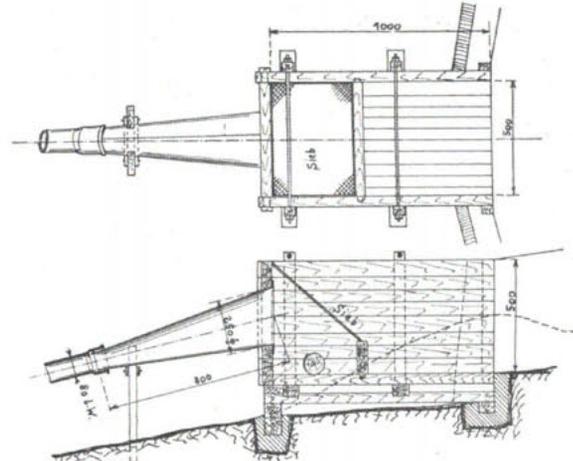


Fig. 1. Kleine Quellenfassung (für rd. 6 l/sek.)

Nadeln gereinigt wird. Als Leerlauf und zum gelegentlichen Spülen ist nur ein mit Holzpfropfen verschlossenes Loch an der Sohle vorgesehen. Der große Konus am Rohreinlauf war wegen des früher sehr störenden Einsaugens von Luft in die Leitung gewählt. Gerade bei hohen Wassergeschwindigkeiten ist sehr darauf zu achten, daß die Geschwindigkeitshöhe $(1 + \zeta) \frac{c^2}{2g}$

$= (1 + \zeta) \frac{Q^2}{f^2 2g}$ kleiner bleibt als die über der Rohrmündung stehende Wasserhöhe. Fehler in dieser Hinsicht verursachen neben geräuschvollem, schnarrendem Lauf der Turbine auch stete Vibrationen in der Tourenzahl und plötzliches Abfallen der Leistung von einer bestimmten Belastung, bzw. der genannten kritischen Wassergeschwindigkeit an; die Schuld wird dann wohl zunächst in der Turbine gesucht. Wenn möglich, verdient eine solche Quellenfassung — sogar mit Hilfe eines Stollens — den Vorzug im Betriebe, selbst wenn eine Verlängerung der Rohrleitung eintritt; alle Unzulänglichkeiten durch Trübung des Wassers infolge von Witterungseinflüssen bleiben dadurch ferngehalten. Klärbecken u. dgl. müssen eben wegen der Platz- und Kostenfrage meist zu klein gehalten werden, so daß sie nur einen mangelhaften Schutz bieten. Die Ausführung der Wasserbauten wird sich übrigens stets nach den verschiedenen besonderen Verhältnissen, nach der üblichen Bauweise und ähnlichen örtlichen Rücksichten richten, so daß Allgemeines nicht aufgestellt werden kann. Nur eine auch ins kleine übertragbare hübsche Einrichtung zur selbsttätigen Reinigung des Feinrechens, wie sie Verfasser am (auch sonst interessanten) Wasserfang der Papierfabrik Wattens fand, sei noch skizziert. (Fig. 2.) Das obere Ende des Feinrechens *a* bildet einen Überfall in die Rinne *b*, die durch Kanal *c* entwässert wird. Das den Grobrechen noch passierende Laub und

⁴⁾ f = Rohrquerschnitt; ζ = Koeffizient des Eintrittsverlustes, bei schlechten Einlaufformen bis zu 0,50.

Schwemmsel wird durch die starke Strömung in Richtung der Pfeile mitgenommen und der Rechen stets frei gehalten. Für Gebirgsbäche, die schweres Geschiebe führen, empfehlen Rüsck-Ganahl seit langem horizontal liegende Grundrechen aus Winkeleisen, die sich gleichfalls selbst frei halten.

Der Rohrleitung ist in kleineren Anlagen besondere Aufmerksamkeit aus dem Grunde zuzuwenden, weil sie wegen ihrer oft bedeutenden Länge die Kosten der gesamten übrigen Einrichtungen kleinerer Anlagen nicht selten wesentlich übertrifft und ein Fehler kaum wieder gut zu machen ist.

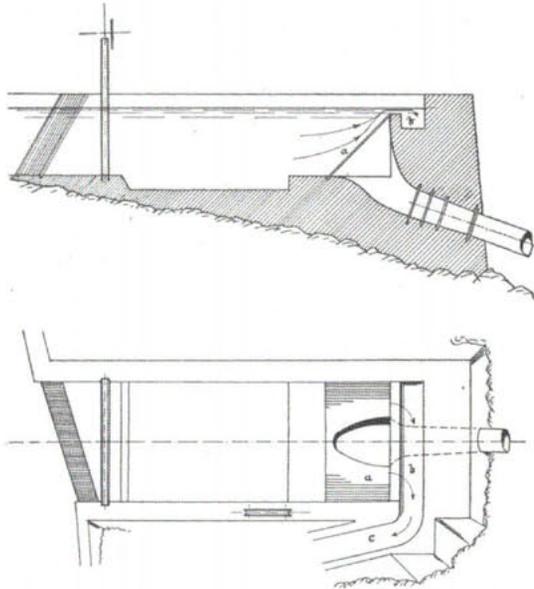


Fig. 2. Einlauf mit selbsttätiger Rechenreinigung.

Im allgemeinen wird man die Wassergeschwindigkeit nicht gering wählen mit Rücksicht auf die Kosten und weil meist ein Gefällsverlust weniger ins Gewicht fällt; besonders die Verwendung einer Brems- oder Ablenkerregulierung mit konstantem Wasserdurchfluß ist hierfür günstig.

Die Systemfrage, ob Muffen- oder Flanschenrohr zur Verwendung kommen soll, ist bei den Anlagen der betrachteten Art stets zugunsten der Muffenrohre zu entscheiden. Sie gestatten eine gewisse Freiheit und Ungenauigkeit, also Billigkeit in der Trassierung und erfordern keine so gewissenhafte Montage, da sie eine bequeme Beweglichkeit in den Muffen besitzen und Paßstücke erübrigen. Allmähliche Neigungs- und Richtungswechsel lassen sich vielfach ohne Formstücke ausführen, und auch die fertig verlegten Leitungen besitzen noch eine besonders bei Änderungen u. dgl. angenehme Schmiegsamkeit, wenn die Bleivergüsse hernach nochmals nachgestemmt werden. Eine 80 mm-Muffenleitung z. B. konnte nach Freilegung auf rd. 25 m Länge seitlich um etwa 1 m verzogen werden, ohne Schaden zu nehmen. Auch Ausdehnungsvorrichtungen lassen sich bei Muffenleitungen entbehren, da die Muffen selbst als solche wirken.

Die engere Wahl ist nunmehr auf Guß- und Stahl-, bzw. Schmiedeeisen-Muffenrohre beschränkt. Gußrohre waren für Drücke bis 10 Atm. und kleinere bis mittlere Durchmesser sozusagen das übliche Material; selbst mit normalen glatten Muffen halten sie ganz erhebliche Druckstöße aus. An einer solchen Leitung (deren Verlegung durch ungeübte Arbeiter erfolgt war) konnten

Druckstöße bis zu rd. 20 Atm.³⁾ beobachtet werden, ohne daß eine Muffe der 700 m langen Leitung undicht geworden wäre.

Für erheblich höhere Betriebsdrücke als 10 Atm. erhalten die verstärkten Gußrohre bald ganz unhandliche Gewichte, besonders wenn schwierige Transportverhältnisse, wie sehr oft an Gebirgswassern, vorliegen.

Trotz der sorgfältigen Ausbildung, welche man den Spezialmuffen für hohe Drücke hat angeeignet lassen (vgl. z. B. Koehn, Ausbau der Wasserkräfte, S. 915 und Taf. 58), und welche auch in jeder Beziehung genügt, ist dies mit ein Hauptgrund für die Einführung der ver-

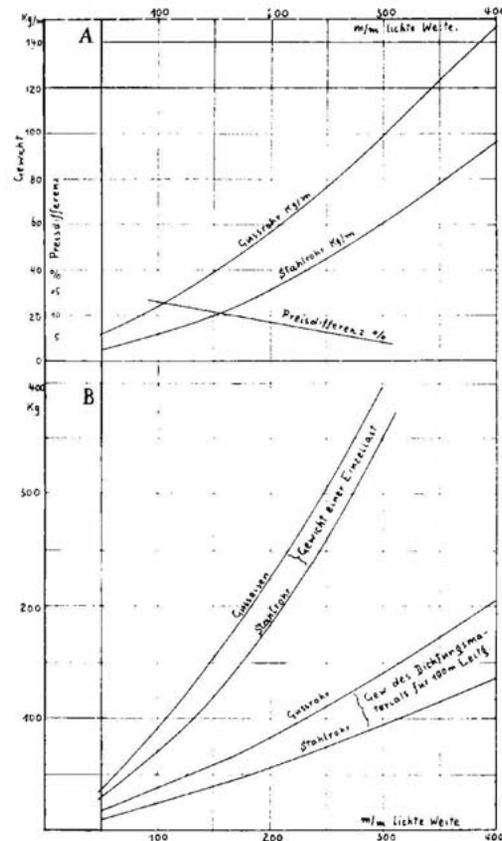


Fig. 3. Vergleich zwischen Guß- und Stahlmuffenrohren.
Kurven A: Gewichte f. d. lfd. m Rohrlänge una Preisdifferenz fertiger Leitungen zugunsten der Stahlrohre.
Kurve B: Gewichte der Einzelasten und des Dichtungsmaterials für 100 m Leitungslänge.

schiedenen nahtlosen oder bei größeren Durchmessern geschweißten Stahl- u. Schmiedeeisen-Muffenrohre.

Was allein die Gewichtersparnis ausmacht, zeigt in Fig. 3 A die Gegenüberstellung der Gewichte f. d. laufenden Meter Leitungslänge (ohne Dichtungsmaterial) von normalen Guß- und Blechrohren (wie die Schmiedeeisen- und Stahlrohre zusammenfassend manchmal genannt werden). Letztere sind Mittelwerte aus den Angaben der Hahnschen Werke A.-G., Thyssen & Co., Mülheim, und der Mannesmannrohre (letztere nach Uhlands Kalender). Die Kurvenwerte sind stellenweise unerheblich gegen die wahren Werte auf- oder abgerundet, sie würden sonst wegen der Abstufung der Wandstärken Sprünge zeigen; die Röhren verschiedener Herkunft weichen wenig im Gewicht voneinander ab.

³⁾ Der Zeiger des bis 15 Atm. geteilten Manometers hatte sich jenseits der Skala so fest in das Gehäuse verklemmt, daß er von Hand freigemacht werden mußte.

Dazu ist noch zu bedenken, daß die Schmiedeeisen- und Stahlrohre, je nach Material, für bedeutend höhere Betriebsdrücke verwendbar sind als die normalen Gußrohre (10 Atm.); bei den listenmäßigen Wandstärken von rund der Hälfte der Gußrohre in den größeren Durchmessern sind sie noch für etwa 25 Atm., also mehr als das Doppelte der Gußrohre, zulässig.

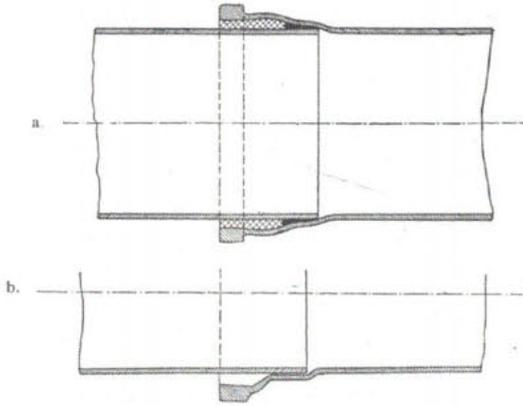


Fig. 4. Hochdruckmuffen der Hahn'schen Werke A.-G.

Mehr noch als die Frachtersparnis durch das trotz höheren Betriebsdruckes um rd. 110% (bei 100 mm Durchm.) bis 50% (bei 400 mm Durchm.) geringere Gewicht des Rohrmaterials kann in vielen Fällen die Erleichterung des Transportes zur Verwendungsstelle ausmachen, der in schwierigen Örtlichkeiten oft in Ladungen von nur einigen hundert Kilogramm bewältigt werden muß. Dazu tritt noch die Ersparnis an Dichtungsmaterial (Fig. 3 B) von 70 bis 50% wegen der wesentlich größeren Baulängen von 5 bis 7 m und pro-

rohr ein. Die angegebene Kurve ist zufolge der Preisschwankungen als ungefährender Mittelwert aufzufassen, sie gilt für fertig verlegte Leitungen mit Ausschluß von Bahnfracht, die nochmals zugunsten der Stahlrohre die Kurve verschieben würde.

Die Rohre der Hahn'schen Werke A.-G., Berlin, werden in Durchmessern bis zu 100 mm nahtlos, darüber im Walzverfahren überlappt geschweißt aus bestem S. M.-Flußstahl eigener Produktion hergestellt und sind bei 400 mm l. W. noch für rd. 25 Atm. Betriebsdruck bei normaler Wandstärke verwendbar. Das verhältnismäßig weiche Material bietet neben geringerer Rostgefahr noch den Vorteil, sich an der Baustelle leicht bearbeiten zu lassen. Die Schweißnaht ist, wie das Aufreißen von Rohren im vollen Blech bei Druckproben zeigt, ebenso wie die Verbindungsstelle zweier Stücke zu einer Doppellänge, völlig unbedenklich.

Zwei Hochdruckmuffen der Hahn'schen Werke zeigt Fig. 4; Muffe *b* ist besonders für sehr hohe Drücke geeignet. Das Spitzende des Rohres wird durch Schlagen mit einem Holzhammer in den zylindrischen Teil der nächsten Muffe etwas eingetrieben und dadurch auch eine metallische Dichtung erzielt. Gegenüber komplizierten Innenprofilen, wie bei manchen Spezialmuffen von Gußleitungen, ist hier ein sicheres Vergießen und Verstemmen gewährleistet bei größter Widerstandsfähigkeit der Dichtung. Eine derartige Muffenverbindung eines 225 mm-Rohres wurde z. B. erst bei 136 Atm. undicht, während zu ihrer Zerstörung 200 Atm. nötig waren. Eine andere bewegliche Muffenverbindung der Firma, Konstruktion der A.-G. Ferrum in Zawodzie, O.-S., bei welcher statt des Bleivergusses nur ein Hanfstrick mittels Klemmringes festgezogen wird — die Ausführung erinnert an eine Stopfbüchse —, ist bereits mehrfach (Z.f.g. Turbw. 1910, S. 348, „Rohrleitungen“ [Ges. f. Hochdruckrohrleitungen], S. 106) abgebildet; sie besitzt besonders den Vorzug großer Beweglichkeit.⁹⁾

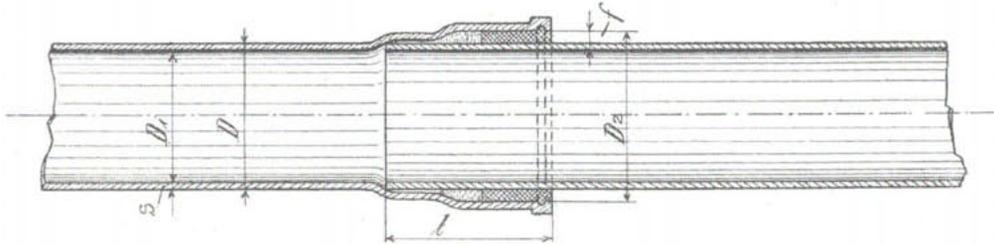


Fig. 5. Hochdruckmuffe mit Innenrinne (Gebr. Thyssen, Mühlheim).

portional damit Einsparung der Arbeitskosten für die Dichtung. Trotz dieser vergrößerten Längen ist aber immer noch eine erhebliche Verringerung der Einzelkosten, d. h. des Gewichtes eines Rohrstückes, vorhanden (20 bis 15%), die beim Einbau der Rohre sehr erwünscht wegen ihrer größeren Handlichkeit sein kann. Bei Anwendung von Doppellängen (10 bis 14 m) sinken die Dichtungsarbeiten und damit auch die schwachen Stellen der Leitung nochmals auf die Hälfte, dagegen sind die Einzellasten dann wieder schwerer als bei Gußrohren und vor allem wegen ihrer Länge etwas sperrig, so daß deren Verwendung in schwierigem Gelände wenigstens zu überlegen ist. Der verhältnismäßig geringe Materialaufwand für die Rohre, die Verringerung der Transport- und Verlegungskosten bringt es mit sich, daß derartige betriebsfertig hergestellte Leitungen (vgl. Fig. 3 A) bei kleineren Rohrweiten nicht unerheblich billiger zu stehen kommen als Gußleitungen. Für Weiten etwa um 400 bis 500 mm kann die Preisdifferenz verschwinden, bei weiteren Rohren tritt sie wieder zugunsten der Stahl-

Die zu den Röhren gehörigen Formstücke in allen bei Gußrohren üblichen Fassons werden gleichfalls aus weichem Flußstahl hergestellt.

Die Röhren von Thyssen & Co., Mühlheim a. d. R., aus Schmiedeeisen oder Stahl gewalzt und bei größeren Durchmessern (über 125 mm) überlappt geschweißt, besitzen konische Muffen nach Fig. 5 mit Innenrinne, die hydraulisch aus dem Rohr herausgepreßt wird und gleichfalls eine wirksame Verstärkung des Muffenendes bietet. Alle Formstücke werden in denselben Materialien wie die Röhren geliefert.

Nach dem Überblick über einige gangbare Konstruktionen dieser Röhren, die sich rasch eingeführt haben, bleibt noch ein besonderer Vorzug vor den Gußrohren zu erwähnen: ihre jenen gegenüber verschwindende Bruchgefahr.

⁹⁾ Diese Verbindung ist nach Z. d. V. D. I. 1910, S. 960 bereits bei 1750 mm Durchm. unter 26 Atm. Druck (Anlage Bodio, Schweiz) im Betrieb. Ausdehnungsstücke werden hierbei nicht verwendet.