Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 75/76 (1920)

Heft: 6

Artikel: Conduite forcée en béton armé des usines hydro-électriques de Rioupéroux

Autor: Waechter, M.A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-36503

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: 11.07.2025

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

INHALT: Conduite forcée en béton armé des Usines hydro-électriques de Rioupéroux. — Umschnürte Betonsäulen mit Steinkernen. — Laufkran mit Lasthebe-Magneten für den Transport von langen Walzeisen. — Idenwettbewerb für die kantonale st. gallische Land- und Hauswirtschaftliche Schule in Flawil. — Miscellanea: Stadtgeometer D. Fehr in Zürich. „Internationale" wissenschaftliche Vereinigungen. Oesterreichische Wasserkraft-Ausnützung und Staatsbahn-Elektrifizierung. Internationale Konkurrenzfahrt für Motorlastwagen und Motor-Omnibusse in Spanien. Schweizerische Naturforschende Gesellschaft. Bund Deutscher Architekten. Elektrifizierung der ersten südamerikanischen Hauptbahn-Linie. Wiederaufbau-Arbeiten in Frankreich. Oersted-Jubiläum. — Nekrologie: Otto Dorer. A. Righi. — Konkurrenzen: Zahnärztliches Institut in Genf. Neubau der Schweizer. Volksbank in Zürich. — Literatur. — Vereinsnachrichten: Schweiz. Ing.- und Arch.-Verein. G. e. P.: Stellenvermittlung.

Band 76. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet. Nr. 6.

Conduite forcée en béton armé des Usines hydro-électriques de Rioupéroux.

Communiqué par M. *A. Waechter*, associé de la maison Perrière & Cie à Paris.

Au cours des années 1918 et 1919, l'entreprise A. Perrière & Cie à Paris a été chargée de l'exécution de nombreux travaux en béton armé faisant partie d'un vaste programme d'ensemble pour l'aménagement d'une chute sur la Romanche à Rioupéroux (Isère) pour le compte des Aciéries et Forges de Firminy. Ce programme a comporté l'équipement d'une puissance totale de 30000 chevaux, dont une partie est utilisée sur place pour fabrication au four électrique d'alliages métalliques divers, d'alcool synthétique et de fer pur par voie électrolytique, et le reste de la force disponible est envoyé sous haute tension sur le réseau Loire et Centre et aux Usines de Firminy.

L'installation de Rioupéroux comporte l'aménagement complet de la chute avec barrages, déversoirs, vannages qui introduisent l'eau dans le canal d'amenée entièrement en béton armé. Ce canal aboutit à une chambre de mise en charge en maçonnerie d'où partent trois conduites forcées de 2,50 *m* de diamètre dont deux en tôle et une en béton armé. Cette dernière vient d'être mise en service à la fin de Décembre 1919 et fait l'objet de la présente étude.

Construction de la conduite.

Les deux conduites forcées en tôle déjà existantes empruntent la rive de la Romanche sur un long parcours pour éviter les nombreux bâtiments et obstacles créés par les installations et aménagements divers des usines qu'elles contournent, mais pour la troisième conduite, le béton armé ayant été adopté, il devint possible d'approprier avantageusement sa forme aux reliefs du terrain et de la faire passer sous tous les obstacles de surface avec une longueur totale en plan relativement réduite. Cette conduite se trouve présenter dans ces conditions de très nombreuses incurvations, tant en plan qu'en élévation, avec de faibles rayons de courbure allant jusqu'à un minimum de 15 m (voir le profil en long, fig. 1). En particulier elle passe sous l'angle d'un grand bâtiment, sous un mur de soutènement de 8 *m* de hauteur et sous plusieurs voies ferrées. La facilité avec laquelle ont pu être satisfaites ces diverses suggestions, présente une application intéressante du béton armé.

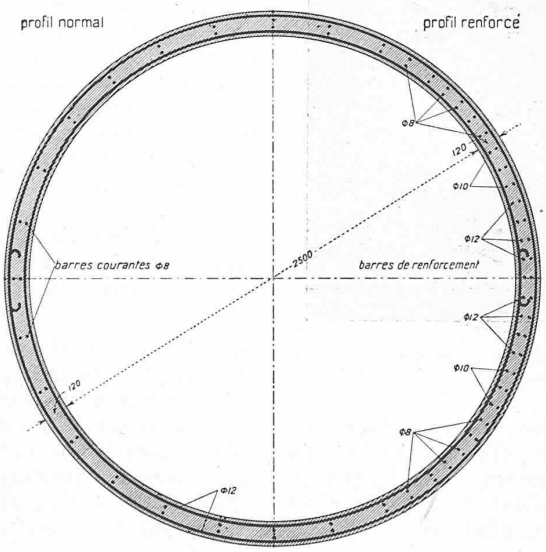

Fig. 2. Coupe en travers, échelle 1:35; à gauche profil normal, à droite profil renforcé pour les courbes.

La conduite présente les caractéristiques suivantes: Diamètre intérieur 2,50 *m*; longueur 611,50 *m*; cote du niveau de l'eau dans la chambre de mise en charge 577,50; cote d'axe de la conduite au départ de la chambre d'eau 568,36; cote d'axe à l'amont de la conduite en béton armé 565,65; pression à l'amont de la conduite en béton armé 11,85 *m*; cote d'axe de la conduite en béton armé (raccordement avec les collecteurs de la Station Centrale) 522,36; pression statique totale à l'aval de la conduite en béton armé 55,14 *m*. Sur tout son parcours, la conduite repose sur un berceau en maçonnerie établi sur le sol naturel (rocher) ou sur remblai. Le niveau supérieur du berceau dépasse de 0,25 l'axe de la conduite sur tout son parcours. La conduite est prolongée à ses extrémités par deux tronçons en tôle qui la raccordent à l'amont avec la chambre d'eau et à l'aval avec les collecteurs de la Station Centrale. Ces raccordements entre les deux types de conduites ont fait l'objet de précautions spéciales: ils ont une longueur de 8 *m* et sont constitués par un enrobement extérieur de la tuyauterie en tôle, par un tuyau en béton qui est solidement agrafé au moyen de cornières rivées et qui servent d'ancrage aux génératrices de l'armature du béton.

Disposition des armatures. La conduite est caractérisée par une double armature de ceintures qui règne sur toute la longueur (fig. 2 et 3). Le diamètre des aciers de ces ceintures varie de 12 à 16 *mm*, les écartements des armatures de 100 à 70 *mm* suivant les pressions. Les génératrice sont un diamètre de 8 *mm* et sont espacées de 30 *mm*.

Il y a lieu de remarquer que contrairement à ce qui a été fait dans différentes conduites forcées de même genre, ces armatures sont à simple recouvrement avec crochets et non soudées. Dans les parties courbes, il a été prévu un renforcement très important formés de ronds de 14 *mm* intercalés entre les génératrices courantes (fig. 2 à droite).

Béton. — L'épaisseur de la conduite varie entre 120 et 160 *mm* et est renforcée dans les coudes. Cette épaisseur atteint 200 *mm* au point le plus chargé sous la voie ferrée et le mur de soutènement. Le béton est à base de ciment 1:2 lent, provenant des Usines Alard & Nicollet à Grenoble. Le dosage moyen est de 500 *kg* par m^3 de béton.

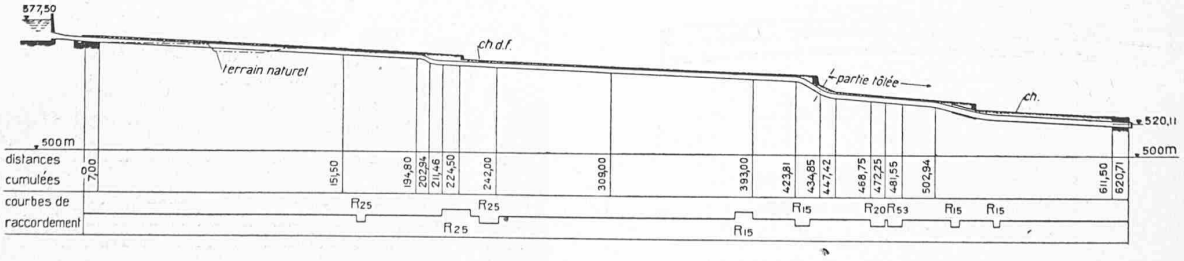

Fig. 1. Profil en long de la conduite en béton armé. Pression statique max. 55,14 *m*. — Echelle des longueurs et des hauteurs 1:4000.

Le moulage a été fait comme dans la plupart des conduites de ce genre avec un moule „Parapluie" déjà employé avec quelques variantes pour la construction des conduites de Champ s. Drac (Isère) de la Société Hydro-Electrique de Fur & Morge, de Pontamafrey (Savoie) de la Société des Produits Chimiques d'Alais, et de la Camargue. Pour les parties en courbe, le moule ne pouvant être employé en raison de sa longueur, ces tronçons ont été exécutés avec boisage ordinaire et sans difficultés anormales.

Conduite forcée en béton armé à Rioupéroux.

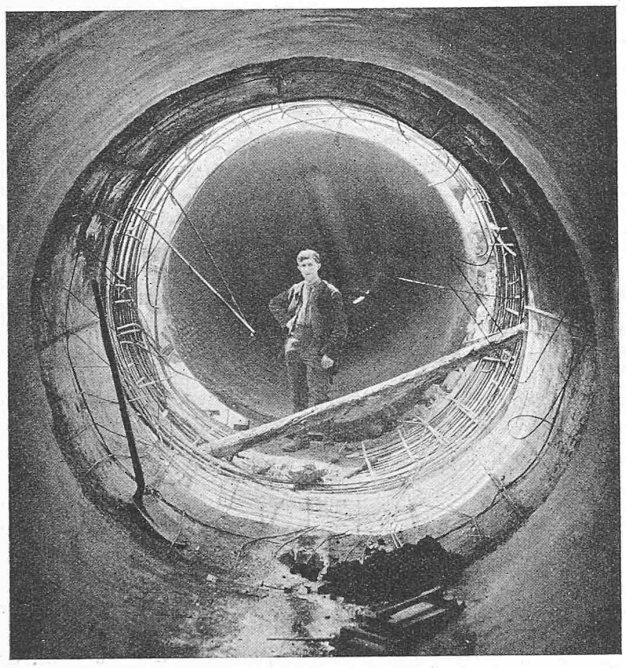

Fig. 4. Vue intérieure de la partie tôlée de la conduite pendant sa construction.

Un enduit de 30 *mm* a été placé sur la surface intérieure et sur toute la longueur de la conduite. Il en résulte que la surface intérieure est parfaitement lisse et que les pertes de charges dues au frottement de l'eau sur les parois se trouvent ainsi notablement diminuées.

Dispositions spéciales pour assurer l'étanchéité. — En raison de la pression élevée supportée par les parties basses de la conduite, il a été nécessaire de prévoir un dispositif spécial d'étanchéité. A cet effet, toutes les parties de la conduite qui supportent une pression statique supérieure à 30 *m* ont été garnies d'un revêtement en tôle de 2 *mm*, placé à l'intérieur des armatures (voir fig. 4 à 6). Ce garnissage ne contribue en rien à la résistance de la conduite et est destiné seulement à assurer son étanchéité. Il est constitué par des éléments à bords tombés et reliés entre eux à la soudure autogène. A l'intérieur de cette carcasse il a été placé un enduit armé d'un treillis métallique.

Ce dispositif de garnissage en tôle a donné les meilleurs résultats lors de ses essais et a été reconnu parfaitement efficace.

Mode de calcul de la conduite.

Le métal employé pour les armatures est de l'acier 1:2 dur, provenant des Aciéries de Firminy et présentant une résistance moyenne de 60 *kg* à la rupture et 10 % d'allongement.

On a admis comme travail maximum des matériaux: 1350 kg/cm^2 pour l'acier 1:2 dur (traction) et 45 kg/cm^2 pour le béton (compression). La pression sur l'axe de la conduite à son origine est de: 11,85 *m* à l'amont et de 55,14 *m* à l'aval.

Pour tenir compte des coups de bélier, les pressions en chaque tranche de conduite envisagée pour le calcul ont été majorées d'un coefficient variable suivant les pressions et atteignant 25 % pour les parties les plus chargées.

Les efforts auxquels la conduite a à résister sont les suivants:

1° Efforts de traction provenant de la pression statique de l'eau majorés de la surpression due aux coups de bélier.

2° Efforts de flexion provenant: a) du poids propre de la conduite; b) du poids de l'eau contenue dans la conduite; c) du poids du remblai au-dessus de la conduite; d) du retrait du ciment; e) de la variation de la température.

Pour le passage sous les divers obstacles: bâtiments, murs de soutènement etc., il a été prévu des renforts partiels et autant que possible des linteaux reportant sur le sol environnant la charge, par chevauchement sur la conduite.

1° *Efforts de traction.* Ces efforts dûs à la pression statique de l'eau et à la surpression des coups de bélier ont été déterminés par la formule courante:

$$T = p \cdot R$$

dans laquelle R désigne le rayon de la conduite = 1,25 *m* et p la pression unitaire, soit:

à l'origine de la conduite en béton armé 11,85 *m* ou 1,2 kg/cm^2 et à l'aval de la conduite 55,14 *m* ou 5,5 kg/cm^2, soit avec majoration de 25 % pour coups de bélier 6,85 kg/cm^2.

Dans ces conditions les efforts maxima et minima de traction sont à l'amont de $12\,000 \times 1{,}25 = 15\,000\ kg/m^2$ et à l'aval de $68\,500 \times 1{,}25 = 85\,625\ kg/m^2$.

En se reportant aux sections des ceintures amont et aval, il suit que les efforts de traction sont sur ces ceintures de 6,4 *kg* à l'amont et de 13,4 *kg* à l'aval.

2° *Efforts de flexion.* Ces efforts sont d'une évaluation assez complexe; ils dépendent de la façon dont la conduite est butée et de la résistance du terrain environnant, de la

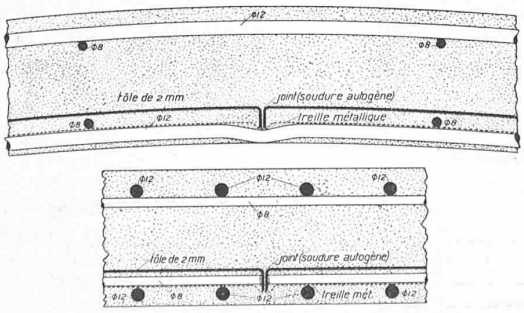

Fig. 5 et 6. Coupe en travers et Coupe en long, échelle 1:6, d'un joint de deux panneaux de la partie tôlée.

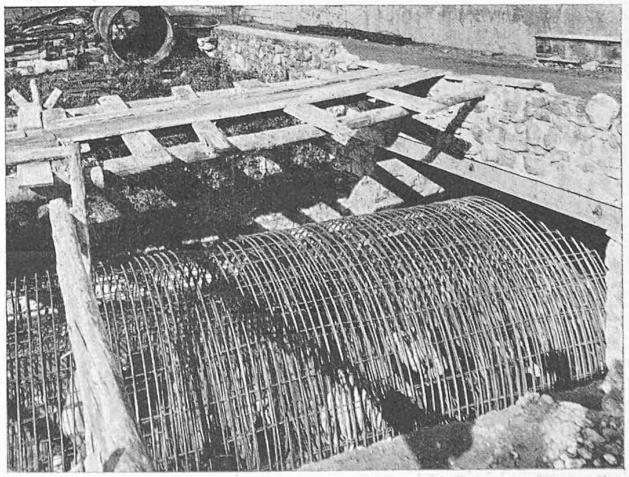

Fig. 3. Armature de la conduite, partie normale.

qualité du ciment employé en ce qui concerne les retraits, et de la mise en œuvre en ce qui concerne la prise. C'est pourquoi on se contente souvent de calculer les conduites de ce genre à la traction et, en faisant la part arbitraire des divers efforts de flexion, d'abaisser le taux de travail de l'acier dans le calcul de la traction. Toutefois, cette méthode ne renseigne pas sur l'épaisseur minimum qu'il convient de donner au parois et qui peut seule être déterminée par l'étude de la flexion.

Les divers moments de flexion ont été calculés avec une certaine part d'appréciation, mais en serrant la question d'aussi près que possible. Le calcul montre ainsi que l'effort unitaire dû aux flexions diverses est à l'amont de 5,6 *kg* et à l'aval de 0,9 *kg/mm²*; les moments les plus importants sont dûs au retrait et aux surcharges de la conduite.

Au total les moments résultants des divers efforts de flexion appliqués varient de 95 à 750 kilogrammètres.

Essais de mise en charge de la conduite.

Après achèvement complet de la construction de la conduite, l'ouvrage fut laissé en attente pendant trois mois environ afin d'obtenir un durcissement aussi complet que possible du ciment. Après expiration de ce délai, il fut procédé aux essais de mise en charge à fin décembre 1919.

Le remplissage a été fait au moyen d'une tuyauterie provisoire en tôle de 300 *mm* de diamètre prenant l'eau au bassin de décantation accolé à la chambre d'eau et l'introduisant dans la conduite à essayer par le trou de visite amont de la conduite en tôle. Dans cette conduite le remplissage a été très lent et doucement progressif. Il a eu lieu en trois phases distinctes de 0 à 2,25 *kg*, de 2,25 à 4,00 *kg* et de 4,00 à 5,00 *kg*, séparées entre elles par un arrêt de 12 heures environ. Lorsque la pression a atteint 5 *kg*, l'eau arrivait au trou d'homme amont.

La conduite a alors été vidée entièrement par le robinet d'évacuation placé sur l'un des collecteurs de la station centrale et a pu être visitée avec détail; puis après obturation du trou d'homme, elle a été de nouveau remplie par sa partie inférieure au moyen des deux autres conduites en tôle grâce au jeu des papillons des collecteurs.

Après ce nouveau remplissage rapide, la conduite a été examinée extérieurement avec le plus grand soin et il n'a été constaté que des suintements dont le colmatage s'est fait au bout de quelques heures. Deux jours après, les suintements avaient complètement disparu.

Depuis le 29 décembre 1919, la conduite assure le service des turbines de la station centrale de la façon la plus régulière et y apporte un appoint de puissance de 10 000 chevaux environ.

Parmi les ouvrages de même genre, la conduite forcée de Rioupéroux mérite une place particulière en raison de son diamètre, de la pression élevée qu'elle supporte et de la souplesse de son tracé. Alors que de tous côtés les usines hydro-électriques prennent un essor considérable, elle constitue une application très intéressante du béton armé, qui offre de plus en plus d'heureuses solutions nouvelles aux multiples problèmes qui soulève la mise en valeur de la houille blanche.

Umschnürte Betonsäulen mit Steinkernen.

Von Dr.-Ing. *Fritz Emperger*, Wien.

(Schluss von Seite 51.)

Vergleichen wir nun einige Baustoffe auf ihre Brauchbarkeit zur Herstellung von druckfesten Kernen dieser Art.

Das Gusseisen hat eine Druckfestigkeit von 5000 bis 10000 *kg/cm²*, im Mittel 7500 *kg/cm²* (Säulenguss).

Gehen wir bei unserer Erwägung von dem in Deutschland vorgeschriebenen Säulenbeton aus, dessen Würfelfestigkeit nach vier Wochen 180, nach sechs Wochen 210 *kg/cm²* betragen soll, und für den eine zulässige Inanspruchnahme von 35 *kg/cm²* erlaubt erscheint. Um die Sicherheit der Säulen zu erhöhen, ohne die zulässige Inanspruchnahme herabzusetzen, hat man sich in der Weise geholfen, einen solchen Beton allgemein vorzuschreiben, obwohl er sich in der Praxis tatsächlich nicht immer vorfindet. Logischer Weise habe ich das in der Verordnung gegebene Verhältnis (fälschlich, der Kürze wegen, „Sicherheit" genannt) zwischen zulässiger Inanspruchnahme und Würfelfestigkeit nach vier Wochen $\frac{180}{35} = 5$, zu welcher Zeit die Ausschalung und auch der sonstige Gebrauch der Säulen gestattet ist, auch für alle übrigen Säulen aus Eisenbeton massgebend angesehen. Demgemäss käme als zulässige Inanspruchnahme für *Flusseisen* $\frac{2400}{5} = 480\ kg/cm^2$, was mit den Vorschriften übereinstimmt, die diese mit $15\,\sigma_b$ zu $422 + 35$ zulassen,

bei *Gusseisen* 5000 bis 10 000 kg/cm^2, $\frac{7500}{5} = 1500\ kg/cm^2$

$$E = 1\,000\,000$$

bei *Stein* 1000 bis 2000 kg/cm^2, $\frac{1500}{5} = 300\ kg/cm^2$

für Granit $E = 300\,000$.

Für *Flusseisen* ist die Armatur mit 3 % beschränkt. Wir sind also in der Lage, die Betonfestigkeit von 35 kg/cm^2 durch Längseisen auf $\sigma = 35 + \frac{3}{100}(480 - 35) = 48{,}3$ kg/cm^2 zu erhöhen. Den Rest bis 70 kg/cm^2 muss die Umschnürung leisten, wie dies eingangs ausführlich dargelegt wurde. Wir können ferner mit Hilfe von Längsarmatur erreichen

bei *Gusseisen* vorgenannter Güte $\sigma = 35 + \frac{p}{100}(1500 - 35)$

bei $p = 5\ \%$ $= 108{,}2\ kg/cm^2$ und

bei $p = 10\ \%$ $= 181{,}5\ kg/cm^2$

bei *Stein* $\sigma = 35 + \frac{p}{100}(300 - 35)$

bei $p = 10\ \%$ $= 61{,}5\ kg/cm^2$

bei $p = 20\ \%$ $= 90{,}6\ kg/cm^2$

Natürlich steht dem Gebrauch von Steinen von noch viel höherer Festigkeit nichts im Wege als die Forderung nach einer hinreichenden stauchungsfähigen Betonhülle. Ihr *Beton muss entweder so weich sein, dass er diese Stauchung selbst besitzt, die die hohe Inanspruchnahme des Kernes erfordert, oder aber er muss diese Fähigkeit durch eine entsprechend starke Umschnürung erhalten.* Ein Stein von 1500 kg/cm^2 ist überall leicht erhältlich. Zu den letztgenannten Ziffern käme noch die Festigkeits-Erhöhung durch die Umschnürungen $+ 45\ f_s/f_b\ 35$, was bei $f_s/f_b = \frac{0{,}65}{100} \backsim 10\ kg/cm^2$ ausmacht.

Wir sehen hieraus, dass 20 % Stein bei sonst gleichen äusseren Abmessungen 5 % Gusseisen, d. i. also ein 4 mal so grosser Steinquerschnitt, dieses zu ersetzen vermag und wollen nunmehr an die Beschreibung der Versuche mit umschnürten Steinen selbst gehen.

Der Zement der Versuche ergab nach 7 Tagen 248, nach 28 Tagen 323, bei gem. Lagerung 367 kg/cm^2 Druckfestigkeit.

Die gleichzeitig mit den Säulenversuchen ausgeführten Würfelproben mit den beiden Betonmischungen ergaben

Beton a) 630 *kg* Zement auf 1 m^3 Sand, Schotter nach 6 Wochen 227 kg/cm^2 gegen 200 kg/cm^2 vorgeschriebener Mindestfestigkeit.

Beton b) 210 *kg* auf 1 m^3 Sand und Schotter 137 kg/cm^2 gegen 100 kg/cm^2 Mindestfestigkeit.

Geprüft wurden je zwei Säulen aus umschnürtem Beton (III und VII, Abb. 2 in letzter Nummer) von 30 *cm* ⌀, Draht 4 *mm* und △ = 40 *mm* Steighöhe und mit zwei mit Steinkernen (IV und VIII, Abb. 3).

Es ist demnach

$$F_s = 25\ \frac{\pi \cdot 29{,}6}{100}\ 0{,}13 = 3{,}00\ cm^2 \text{ od. } 0{,}42\ \%.$$

Um Zement zu sparen, wurden bei diesen Vorversuchen nur je ein Versuch mit und ohne Steinkern ausgeführt und ausserdem die Steine selbst geprüft. Es waren dies besonders druckfeste Klinker, sogenannter Kera-