

Zeitschrift: Die Eisenbahn = Le chemin de fer
Herausgeber: A. Waldner
Band: 12/13 (1880)
Heft: 21

Artikel: Beitrag zur Bogentheorie
Autor: Goebel, J.B.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-8639>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 30.01.2025

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

INHALT: Beitrag zur Bogentheorie. Von Dr. J. B. Goebel, Ing. der Süddeutschen Brückenbau-Aktiengesellschaft. — Appareil dragueur centrifuge de Ball. Par M. Max Lyon, Ingénieur à Paris. (Avec 5 dessins.) — Ueber die Vergebung der Locomotiven für die Gotthardbahn. — Revue: Eisenbahnwägel bei Courl; Ueber die Eisenbahnen in ihrem Verhältniss zur Staatswissenschaft; Le chemin de fer souterrain de New-York. — Literatur: Handbuch des gesamten Strassenbaues in Städten, von Richard Krüger; Die electrischen Telegraphen, das Telephon und Mikrophon von Dr. F. Binder; Grundrissvorbilder von Gebäuden aller Art von Ludwig Klagen. — Necrologie: † Ludwig Scheu. — Vereinsnachrichten: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Delegirten-Versammlung in Bern den 14. November.

Beitrag zur Bogentheorie.¹⁾

Von Dr. J. B. Goebel, Ing. der Süddeutschen Brückenbau-Aktiengesellschaft.

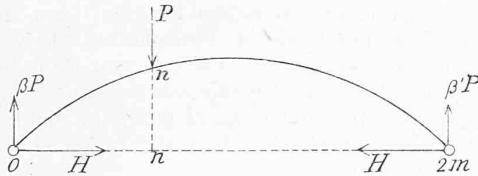
13. Im Anschluss an die *allgemein* gültigen Entwicklungen des vorigen Aufsatzes soll hier zunächst gezeigt werden, wie auch bei Bogen mit Auflagergelenken — unter den früheren Voraussetzungen — die Widerlagerreactionen in sehr einfacher Weise bestimmt werden können.

Die Richtungslinien der letzteren müssen in diesem Falle durch die Auflagerpunkte gehen.

Bei *Vertical*actionen kann man sich die Widerlagerreactionen immer zusammengesetzt denken aus verticalen Componenten, welche die nämlichen sind, wie die Auflagerreactionen eines einfachen geraden Balkens von derselben Spannweite und Belastung und aus Componenten (von entgegengesetzten Intensitäten), deren gemeinsame Richtungslinie die Auflagersehne ist.

In unserem Falle — und überhaupt bei *gleicher Höhe* der Auflagerpunkte — sind also die letzteren Componenten die *Horizontal*componenten der Widerlagerreactionen.

Fig. 6



Wirkt (Fig. 6) auf den Bogen im Theilpunkt *n* eine Verticalkraft *P*, so entstehen für die beiden Endpunkte 0 und *2m* Widerlagerreactionen, deren Verticalcomponenten beziehlich gleich $\beta'P$ und βP sind, wenn, wie üblich, die Verhältnisse $\frac{n}{2m}$ und $\frac{2m-n}{2m}$ gleich β und β' resp. gesetzt werden. Die noch unbekanntenen Horizontalcomponenten sollen mit *H* bezeichnet werden.

Wir bestimmen nun die *Lagenänderung* der beiden Bogenenden gegen einander, welche unter dem *alleinigen* Einflusse des Systems der Verticalkräfte erfolgen würde. Beziehen wir die Bewegungen der Endquerschnitte etwa auf den (unbeweglich gedachten) Querschnitt *n*, so kommen offenbar als Rotationen, welche die Endquerschnitte 0 und *2m* in die neuen Lagen überzuführen haben, die Rotationen $\beta'P(0,n)0$ und $\beta P(n,2m)2m$ resp. in Betracht. Die erste der beiden Rotationen ist von positiver, die zweite ist von negativer Amplitude. Soll, wie früher, die Bewegung des Endquerschnitts *2m* auf den Endquerschnitt 0 bezogen werden, so ist die Rotation $\beta P(n,2m)2m$ des Endquerschnitts *2m* mit einer Rotation zusammzusetzen, welche der (dem Endquerschnitt 0 eigenthümlichen) Rotation $\beta'P(0,n)0$ *entgegengesetzt* ist: Die letztere soll mit $-\beta'P(0,n)0$ bezeichnet werden. Es ergibt sich also die Rotation, welche nunmehr die relative *Lagenänderung* repräsentirt, als Resultirende zweier Drehungen von negativen Amplituden.

Ein analoges *Raisonnement* gilt hinsichtlich der Horizontalkräfte *H*. Auch diese bedingen für sich *allein* eine Rotation ϱ des Endquerschnitts *2m* — bezüglich des unbeweglich gedachten Endquerschnitts 0 —, deren Momentancentrum, auch ohne dass die Intensität der Horizontalkräfte *H* bekannt ist, als gegeben angesehen werden darf (Gleich. 14).

Schliesslich kommt noch jene *Lagenänderung* des Endquerschnitts *2m* — dem Endquerschnitt 0 gegenüber — in Be-

tracht, welche als Folge der um die beiden Gelenkpunkte möglichen Drehungen der Bogenenden erscheint. Das Momentancentrum der Rotation ϱ' , welche diese *Lagenänderung* darstellt, liegt natürlich auf der Auflagersehne.

Die vier Elementarrotationen $-\beta'P(0,n)0$, $\beta P(n,2m)2m$ ϱ und ϱ' müssen sich offenbar neutralisiren. Daraus folgt z. B., dass die Summe der Momente der drei ersteren bezüglich der Auflagersehne gleich Null sein muss. Diese Bedingung liefert eine Gleichung zur Bestimmung des Horizontalchubs *H*.

Mittelt der Gleichungen (5) und (6a) leitet man leicht ab, dass die Abscisse (§4) des Momentancentrums $(n-1,n)0$ aus der Formel erhalten werden kann

$$(24) \quad x_{(n-1,n)0} = \lambda \left[2n - 1 + \frac{1}{6(2n-1)} \right].$$

Die Ordinate desselben Momentancentrums berechnet sich hiernach als

$$(25) \quad y_{(n-1,n)0} = \frac{1}{2}(y_n + y_{n-1}) + \frac{y_n - y_{n-1}}{6(2n-1)}.$$

Bei negativ drehender Verticalkraft *P* haben wir nach Gleichung (5) die Amplitude

$$(26) \quad \Delta \delta P_{(n-1,n)0} = -\frac{\mu \lambda^2 P}{2} (2n-1).$$

Das Moment der Rotation $P(n-1,n)0$ bezüglich der *x*-Axe ist also

$$(27) \quad \mathfrak{M}_{P(n-1,n)0} = -\frac{\mu \lambda^2 P}{12} \left[3(2n-1)(y_n + y_{n-1}) + y_n - y_{n-1} \right].$$

Hieraus ergibt sich das Moment der Rotation $P(0,n)0$ — bezüglich der *x*-Axe —

$$(28) \quad \mathfrak{M}_{P(0,n)0} = \sum_{i=1}^{i=n} \mathfrak{M}_{P(i-1,i)0} = -\frac{\mu \lambda^2 P}{12} \left[y_n + 3 \sum_{i=1}^{i=n} (2i-1)(y_{i-1} + y_i) \right].$$

Mit \mathfrak{M} bezeichnen wir das Moment der Rotation $-\beta'P(0,n)0$, mit \mathfrak{M}' das Moment der Rotation $\beta P(n,2m)2m$ — hinsichtlich der *x*-Axe. Gleichung (28) liefert ohne Weiteres

$$\mathfrak{M} = -\frac{\mu \beta' \lambda^2 P}{12} \left[y_n + 3 \sum_{i=1}^{i=n} (2i-1)(y_{i-1} + y_i) \right].$$

und analog, mit Hinsicht auf die Symmetrie des Bogens, ergibt sich

$$\mathfrak{M}' = -\frac{\mu \beta \lambda^2 P}{12} \left[y_n + 3 \sum_{i=1}^{i=2m-n} (2i-1)(y_{i-1} + y_i) \right].$$

Wir setzen

$$(29) \quad \sum_{i=1}^{i=n} (2i-1)(y_{i-1} + y_i) = b_n \quad \text{und} \\ \sum_{i=1}^{i=2m-n} (2i-1)(y_{i-1} + y_i) = b_{2m-n}.$$

Dann wird, da $\beta + \beta' = 1$,

$$\mathfrak{M} + \mathfrak{M}' = -\frac{\mu \lambda^2 P}{12} \left[y_n + 3(\beta' b_n + \beta b_{2m-n}) \right].$$

In Folge der Symmetrie des Bogens existiren zwischen den Zahlen b_n und b_{2m-n} mehrfache Beziehungen. Denken wir b_n als die kleinere der beiden Zahlen — *n* also kleiner als *m* — und wird z. B. die Summe

$$(30) \quad (y_n + y_{n+1}) + (y_{n+1} + y_{n+2}) + \dots + (y_{m-1} + y_m) = z_n$$

gesetzt (*n* kann höchstens gleich *m* - 1 sein), so findet sich

$$b_{2m-n} = b_n + 4mz_n$$

Unter Berücksichtigung dieser Gleichung, sowie der Relation $n = 2\beta m$ ergibt sich demnach mit Bezug auf eine Belastung *P* im Punkte *n* der linken Bogenhälfte

$$\mathfrak{M} + \mathfrak{M}' = -\frac{\mu \lambda^2 P}{12} \left[y_n + 3(b_n + 2nz_n) \right].$$

Das Moment \mathfrak{M}'' der Rotation ϱ bezüglich der *x*-Axe erhält man (§8) aus der Gleichung

$$\mathfrak{M}'' = \frac{\mu \lambda H a}{2}, \quad \text{wenn hierin}$$

$$(31) \quad a = \sum_{i=1}^{i=m} \left[(y_{i-1} + y_i)^2 + \frac{1}{3}(y_{i-1} - y_i)^2 \right].$$

Die Bedingung $\mathfrak{M} + \mathfrak{M}' + \mathfrak{M}'' = 0$ liefert nunmehr die Relation

$$(32) \quad H = \frac{\lambda P}{6a} \left[y_n + 3(b_n + 2nz_n) \right].$$

¹⁾ Als Fortsetzung des in den Nrn. 12—15 erschienenen Aufsatzes.

Wegen der Symmetrie der Lastpunkte brauchen selbstredend die Intensitäten H nur für Belastungen der einen (linken) Bogenhälfte gerechnet zu werden.

Die totalen Widerlagerreactionen ergeben sich z. B. hinsichtlich des Bogenendpunktes $2m$ durch Zusammensetzung der einzelnen Horizontalkräfte H mit den zugehörigen Verticalcomponenten βP .

Wir wollen die practische Verwendung der Formel (32) an einem Beispiel darlegen. Absichtlich wählen wir als Trägeraxe ein einem *Parabelbogen* von der Spannweite $l=10$ und dem Pfeil $f=1$ eingeschriebenes, zehneitiges Polygon. Die Ordinaten y_n der Polygon-Eckpunkte ergeben sich demnach aus der Gleichung

$$y_n = \frac{1}{25} (10 - n)^2$$

wenn hierin $n=1$ bis 5 gesetzt wird.

Mittelst Gleichung (31) bestimmt man, wie bereits früher besprochen, den constanten Factor a . Es wird in unserm Falle $a=10,49$.

Der Gang der Rechnung zur Ermittlung der Horizontalcomponenten H wird aus der folgenden Tabelle ersichtlich sein.

n	y_n	$y_{n-1} + y_n$	$(2n-1)(y_{n-1} + y_n)$	b_n	z_n^2	$2nz_n$	$y_n + 3(b_n + 2nz_n)$	H	H'
1	0,36	0,36	0,36	0,36	6,24	12,48	38,88	0,618	0,613
2	0,64	1,00	3,00	3,36	5,24	20,96	73,60	1,170	1,160
3	0,84	1,48	7,40	10,76	3,76	22,56	100,80	1,603	1,588
4	0,96	1,80	12,60	23,36	1,96	15,68	118,08	1,877	1,860
5	1,00	1,96	17,64	41,00	0,00	0,00	124,00	1,972	1,953

Es erweist sich hiernach Gleichung (32) für die Zahlen-Durchrechnung sehr geeignet. Bis zu den Zahlen

$$y_n + 3(b_n + 2nz_n),$$

welche schon Proportionalzahlen der gesuchten Intensitäten H darstellen, kann die Tabelle sozusagen gerade hingeschrieben werden.

Diese Verhältnisszahlen sind, wenn etwa $P=1$ angenommen wird (da $\lambda=1$), noch mit $\frac{1}{6a}=0,0159$ zu multipliciren. Die resultirenden Intensitäten sind in der Tabelle mit H bezeichnet.

Die Annahme, dass unsere Polygonaxe mit einiger Annäherung auch als Parabelbogen betrachtet werden kann, gestattet uns, die Werthe von H , welche sich ergeben, wenn eine Polygonbeziehungsweise eine Curven-Schwerpunktsaxe den Rechnungen zu Grunde gelegt wird, zu vergleichen.

Man findet den Horizontalschub H' für einen symmetrischen Parabelbogen mit zwei Gelenken aus der Formel

$$H' = \frac{5P}{8\beta^3} x(l-x)(l^2 + lx - x^2), \quad 2)$$

wenn hierin x den Abstand der Belastung P von einem der Gelenkpunkte bedeutet. Durch Einsetzen der bezüglichen Werthe erhält man die Zahlen H' der obigen Tabelle.

Die Differenzen zwischen den Zahlen H und H' sind so gering (ca. 1 0/0), dass für practische Rechnungen die Werthe H statt der Werthe H' schon recht wohl zulässig wären. Bedenkt man aber, dass, wenn es sich bei einer Berechnung wirklich darum handeln sollte, an Stelle irgend eines Curvenzuges ein Polygon zu setzen, man nicht, wie es hier der Einfachheit halber geschehen, gerade das *eingeschriebene* Vieleck, sondern ein Polygon wählen wird, bei welchem für jede der einzelnen Seiten die mittlere Abweichung von dem entsprechenden Curvenstück ungefähr die kleinste wird, so erkennt man, dass z. B.

2) Zur Bestimmung der Zahlen z_n geht man in der Columnne $y_{n-1} + y_n$ zweckmässig von unten nach oben vor.

3) Vgl. z. B. Weyrauch „Theorie der elastischen Bogenträger“ S. 59.

in unserm Falle — ohne dass die Zahl der Polygonseiten erhöht zu werden brauchte — die Werthe H mit den Werthen H' fast zu vollkommener Uebereinstimmung gebracht werden könnten.

14. Bei einer unendlich kleinen Temperaturänderung $d\tau$ würden, wenn keine Kräfte entgegenwirkten, unendlich kleine horizontale Translationen der beiden Bogenenden stattfinden. Die horizontale Verschiebung dl des einen Bogenendes dem andern gegenüber ist

$$dl = \alpha l d\tau,$$

wenn hierin α den Ausdehnungscoefficienten, l die Spannweite des Bogens bedeutet und $d\tau$ in Graden ausgedrückt wird.

a) *Bogen mit festen Auflagern.* Wir schreiben, wie bei den früheren Entwicklungen, die Translation dl dem (beweglichen) Ende $2m$ zu. Die Richtungslinie der Widerlagerreaction, welche einer Horizontaltranslation entspricht, ist von vorneherein bekannt: dem unendlich fernen Punkt der Verticalen (als Momentancentrum) entspricht im Polarsystem $(0, 2m)$ die horizontale Polaraxe (§ 7). Es bleibt also nur noch die Intensität der betreffenden Widerlagerreaction zu bestimmen.

Denken wir z. B. eine positive, d. h. eine durch *Ausdehnung* des Bogens verursachte Translation dl des Bogenendes $2m$, so hätte jene Widerlagerreaction die Translation $-dl$ desselben Bogenendes zu bewirken. Wir zerlegen die Translation $-dl$ nach zwei Rotationen, deren eine den Mittelpunkt S und deren andere einen der beiden zu S auf der verticalen Polaraxe im Abstände z_v symmetrisch gelegenen Punkte U (§ 11) zum Momentancentrum hat. Für solche zwei Rotationen müssen bzw. die Amplituden $\mp \frac{dl}{z_v}$ oder $\pm \frac{dl}{z_v}$ gedacht werden (§ 8), je nach-

dem der Punkt S und der obere oder der Punkt S und der untere der beiden Punkte U gewählt werden. Eine Rotation vom Momentancentrum S kann nur durch ein Kräftepaar, eine Rotation, welche einen der beiden Punkte U zum Momentancentrum hat, kann nur durch eine Horizontalkraft hervorgebracht werden, welche durch den andern Punkt U geht. Diese Horizontalkraft hat, wie man leicht erkennt, in jedem Falle mit der gesuchten, durch S gehenden Horizontalkraft H gleiche (durch den Sinn „von rechts nach links“ characterisirte) Intensität. Nach § 8 besteht die Gleichung

$$2 \mu \lambda m H z_v = \frac{dl}{z_v}$$

oder, wenn hierin $2 \lambda m = l$, $dl = \alpha l d\tau$ gesetzt wird,

$$H = \frac{\alpha d\tau}{\mu z_v^2}$$

Endliche Temperaturdifferenzen haben auch endliche Hebungen oder Senkungen eines auf den Widerlagern fest aufstehenden Bogens zur Folge. Der Werth z_v^2 wird variiren. Immerhin ist dies nur in so geringem Maasse der Fall, dass auch für eine endliche Temperaturänderung von τ Graden gesetzt werden kann

$$(33) \quad H = \frac{\alpha \tau}{\mu z_v^2}$$

wenn hierin etwa der für die Aufstellungstemperatur sich ergebende mittlere Werth von z_v^2 eingeführt wird.

Für einen Parabelbogen vom Pfeil f ist $z_v^2 = \frac{4}{45} f^2$ und es geht Gleichung (33) in die bekannte Formel über

$$H = \frac{45 \alpha \tau}{4 \mu f^2}$$

b) *Bogen mit Gelenkauflagern.* Die Horizontaltranslation $-dl$ kann hier *nur* zerlegt werden nach der Rotation φ , welche der in der Auflagersehne wirkenden Horizontalkraft entspricht und nach den beiden Rotationen, welche die Auflager-Gelenkpunkte als Momentancentra haben. Sofort erkennt man, dass der erstgenannten Rotationscomponente die Amplitude $\frac{dl}{y_\varphi}$ zugeschrieben werden muss.

Der durch eine Temperaturänderung $d\tau$ hervorgerufene Horizontalschub wird demnach (§ 8)

$$H = \frac{dl}{\mu y_{\sigma} y_{\rho}} = \frac{a d \tau}{\mu y_{\sigma} y_{\rho}}$$

Auch hier kann für eine endliche Temperaturänderung von τ Graden gesetzt werden

$$(34) \quad H = \frac{a \tau}{\mu y_{\sigma} y_{\rho}}$$

oder auch, da [Gleich. (14) und (31)] $y_{\sigma} y_{\rho} = \frac{a}{4m}$,

$$(34a) \quad H = \frac{4 m a \tau}{\mu a}$$

Für einen Parabelbogen vom Pfeil f ist $y_{\sigma} = \frac{2}{3} f$,

$y_{\rho} = \frac{4}{5} f$, daher nach Gleich. (34)

$$H = \frac{15 a \tau}{8 \mu f^2}$$

Appareil dragueur centrifuge de Ball.

Par M. Max Lyon, Ingénieur à Paris.

(Avec 5 dessins.)

Cet appareil a figuré à l'Exposition de 1878, et est appelé à rendre de grands services pour les excavations en sables et cailloux de faibles dimensions. Il a été employé avec succès au draguage des sables et galets des ports de Lowestoft et de Poole (Angleterre), au canal d'eau de mer des salins de la Méditerranée à Fos, à l'enlèvement des sables du port de Smyrne et enfin à l'amélioration du chenal navigable de la Loire. Son usage est encore peu connu. Il peut servir soit comme pompe drague, soit comme auxiliaire des dragues ordinaires.

Depuis un certain nombre d'années, de nombreux essais de draguages au moyen de pompes centrifuges ont été tentés avec plus ou moins de succès. Dans la plupart des cas, ce système a dû être écarté, soit à cause de l'usure rapide des pompes, soit à cause d'engorgements presque instantanés dans les tuyaux apportant de nombreux et importants arrêts dans la marche du travail. Mr. Ball a fait disparaître l'inconvénient de l'usure des pompes; il a rendu presque impossible les chances d'engorgements dans les conduites et a trouvé le moyen d'amorcer facilement les pompes dragues sans les avoir placées en contrebas du niveau de l'eau.

Fig. 1

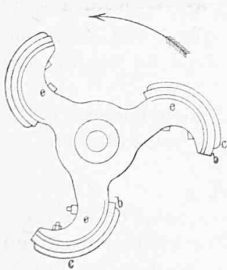
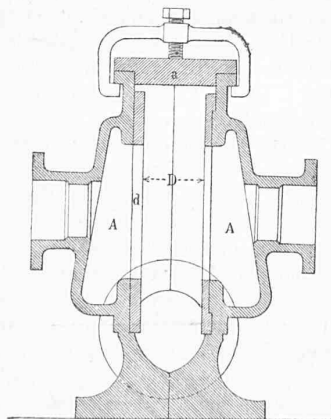


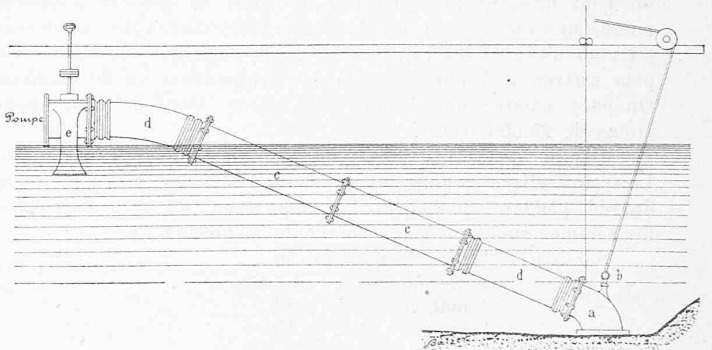
Fig. 2



Les figures 1 et 2 donnent le corps de la pompe formée de deux coquilles AA; le regard a sert à la visite de la pompe et à l'accès du rouet propulseur. Chaque coquille ou demi corps est munie d'un disque annulaire d, en acier appliqué par serrage à chaud sans boulons. Le rouet propulseur est formé d'un moyen sur lequel sont fixées les ailettes e. Sur chacune de ces

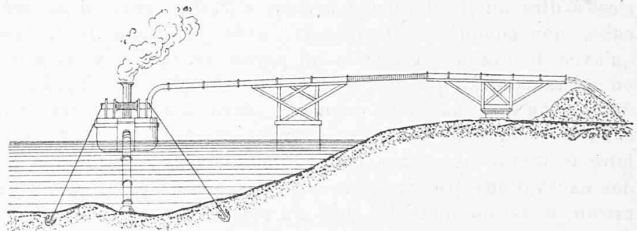
ailettes se trouvent des plaques de caoutchouc b dont la largeur excède environ d'un centimètre l'écartement D des disques en acier, qui forment par conséquent avec les ailettes un joint efficace qui empêche l'interposition des sables et des graviers entre les parties frottantes des surfaces mobiles et des surfaces fixes. Les plaques en caoutchouc b, auxquelles on pourrait aussi substituer plus économiquement de simples bandes, sont maintenues par des contreplaques métalliques c à angles arrondis, fixées par des boulons dont les têtes sont noyées et dont les écrous sont goupillés.

Fig. 3



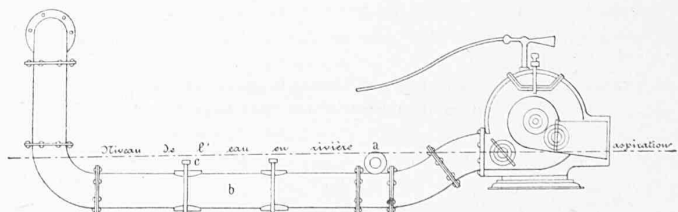
Le tuyau d'aspiration (fig. 3) est terminé par une crépine dont la forme et la section varient suivant la nature spéciale des déblais à extraire. La règle fixée sur la crépine doit indiquer constamment au dragueur à quelle profondeur il travaille; les tuyaux c sont en fonte et leur nombre est variable; les tuyaux de raccordement d sont en caoutchouc. La soupape régulatrice c (fig. 3), placée près de la pompe, a pour but l'admettre dans la conduite de l'aspiration la quantité d'eau nécessaire pour prévenir les engorgements. Pour empêcher la pompe de se désamorcer pendant un temps d'arrêt, on infléchit du côté

Fig. 4



du refoulement (fig. 4) le tuyau par deux coudes de manière à passer au dessous du niveau de l'eau; enfin le robinet a doit amener de l'eau si la pompe se trouve désamorcée et si l'amorçage par l'éjecteur est devenue nécessaire. Les regards c, et divers manomètres et indicateurs du vide complètent l'appareil principal.

Fig. 5



La figure 5 montre une des multiples installations qu'on peut faire pour transporter directement les déblais à terre. Il suffit d'amener l'extrémité de la conduite de refoulement là où le dépôt doit s'effectuer en soutenant le tuyau au moyen d'un ou de plusieurs flotteurs, ou bien en employant des poutres armées comme aux anciennes dragues du canal de Suez. On