Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 67/68 (1916)
Heft: 10

Artikel: Die Schleusen des Panama-Kanals
Autor: [s.n.]
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-32971

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: 09.08.2025

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

INHALT: Die Schleusen des Panama-Kanals. — Einige Eigenschaften der Kettenlinie. — Einfamilienhaus bei Küsnacht. — Einfamilien-Tektonhaus am Zürichberg. — Zur Erhaltung der Obergrund-Allee in Luzern. — Neue Westinghouse-Drehstrom-Lokomotiven der italienischen Staatsbahnen. — Miscellanea: Lokomotivbeleuchtung mittels Turbogeneratoren. Elektrisches Schweissen von Metalldrähten durch Schlag. Frachtdampfer mit Selbstentladevorrichtungen. Transformator für 1 000 000 Volt Spannung. Deutscher Beton-Verein. Internationaler Ingenieurkongress in San Francisco 1915. Normen des S. I. A. Schweizer. Baumeister-Verband. — Konkurrenzen: Kollegienhaus der Universität Basel. — Literatur: Erfahrungsmaterial über das Unbrauchbarwerden der Drahtseile. Schwellung und Schwindung von Zement und Zementmörteln in Wasser und Luft. Die Herstellung von Artillerie-Munition. Versuche zum Vergleich der Würfelfestigkeit des Betons zu der im Bauwerk erzielten Festigkeit. — Vereinsnachrichten: Zürcher Ingenieur- und Architekten-Verein. — G. e. P.: Stellenvermittlung.

Band 67. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet. Nr. 10.

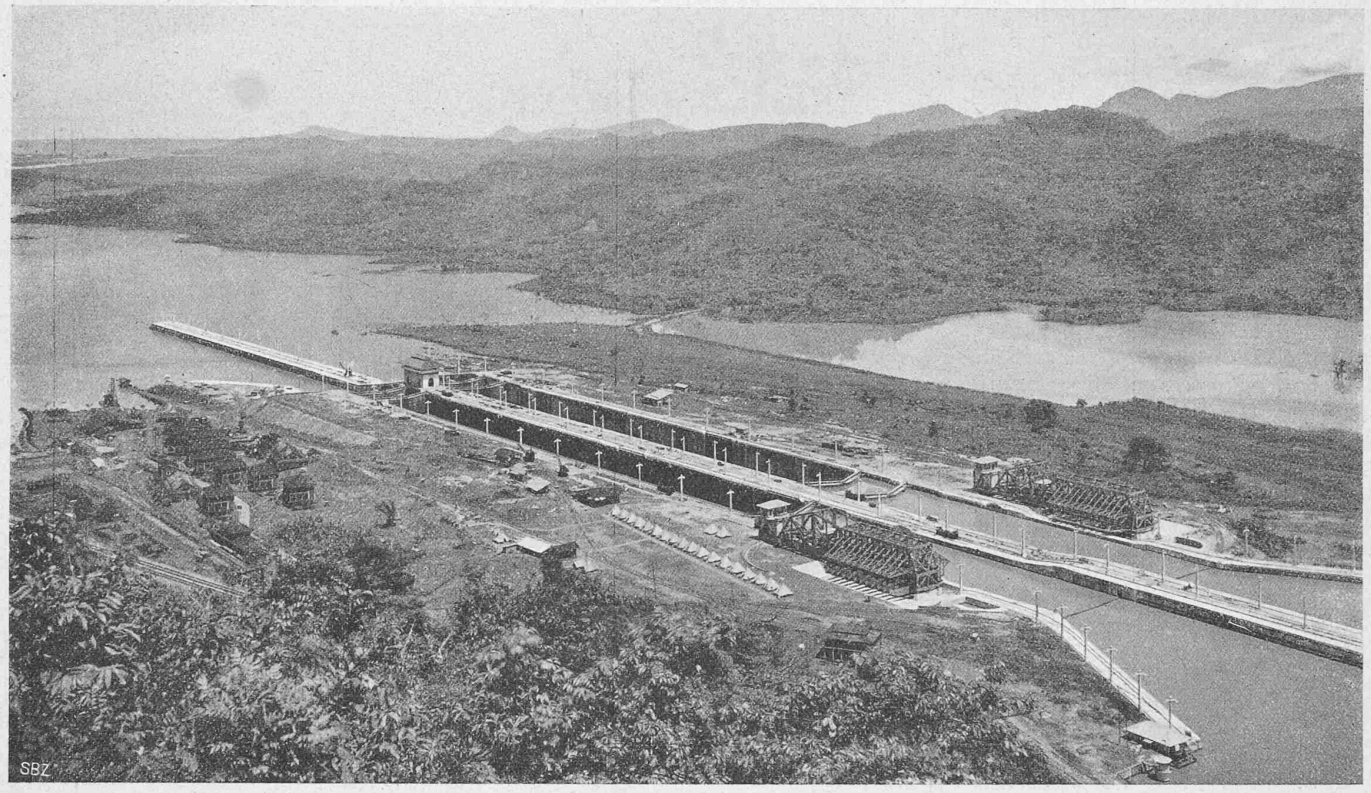

Abb. 1. Blick in südlicher Richtung auf die einstufige Schleuse von Pedro Miguel oberhalb des Miraflores-Sees.

Die Schleusen des Panama-Kanals.

Es liegt nicht in unsrer Absicht, den Lesern der „Schweizer. Bauzeitung" hier eine eingehende Beschreibung des Panama-Kanals zu bieten. Nach allem, was wir über den Bau dieses Werkes schon berichtet haben, können wir uns heute darauf beschränken, in Bezug auf die Führung des Kanal-Tracé und den Bauvorgang im allgemeinen auf frühere Publikationen zu verweisen. So finden unsere Leser in Band XLI, Nr. 1 bis 4 vom Januar 1903, eine durch zahlreiche Abbildungen ergänzte Mitteilung über die geschichtliche Entwicklung des Werkes und die bis zum Jahre 1903 durchgeführten Arbeiten. Dort ist auch, auf Seite 18, Lageplan und Längenprofil des von der französischen Gesellschaft nachträglich angenommenen Schleusenkanals[1]) beigegeben, während eine Uebersichtskarte und ein Längenprofil des Kanals, wie er von den Amerikanern vollendet worden ist, auf Seite 204 von Band LIII zu finden ist[2]). Der Zweck dieses Aufsatzes ist vielmehr, von einigen der interessantesten Bauwerke des Panama-Kanals, über die hier noch nicht berichtet worden ist, von den Schleusen und ihren Einrichtungen, eine kurze Beschreibung zu geben, wobei wir Gesagtes nur soweit wiederholen werden, als es zum Verständnis des Folgenden notwendig ist. Wir benützen dazu, für den textlichen Teil und die Zeichnungen, die im Laufe der letzten Jahre in „Engineering" erschienene, nach den offiziellen Berichten bearbeitete Artikelserie über die Bauwerke des Panama-Kanals, zum Teil auch den im Mai 1915 in der „Z. d. V. D. I." erschienenen Aufsatz. Die hier wiedergegebenen Ansichten sind nach offiziellen Photographien der Kanalkommission hergestellt, die uns in freundlicher Weise von Herrn Professor K. E. Hilgard zur Verfügung gestellt worden sind.

Der infolge der eigentümlichen, S-ähnlichen Form des Isthmus von Panama nicht, wie anzunehmen wäre, zwischen dem Atlantischen und dem Stillen Ozean in ost-westlicher, sondern in südwest-nordöstlicher Richtung verlaufende Kanal zerfällt in drei Abteilungen: die bei Colon mit einer in der Limon-Bucht ausgebaggerten Rinne beginnende und bis Gatun führende „Atlantische Division" mit 12,4 *km* Länge und der Wasserspiegelhöhe des Atlantischen Ozeans, die „Zentrale Division", von den Gatun-Schleusen bis zu den Pedro Miguel-Schleusen, mit 51,2 *km* Länge und der Wasserspiegelhöhe des Gatun-Stausees, d. h. normal 25,925 *m*, und schliesslich die 17,7 *km* lange „Pazifische Division", umfassend eine zwischen den Pedro Miguel- und den Miraflores-Schleusen rund 2 *km* lange Haltung mit Wasserspiegelhöhe in 16,7 *m* ü. M. (Miraflores-Stausee) und eine als 9 *km* lange, in der Panamabucht ausgebaggerte Rinne endigende Haltung in Wasserspiegelhöhe des Stillen Ozeans. Der jeweilige Höhenunterschied wird bei Gatun mittels einer dreistufigen, bei Pedro Miguel mittels einer einstufigen, bei Miraflores mittels einer zweistufigen Zwillingsschleuse überwunden. Vor den Pedro Miguel-Schleusen führt der Kanal durch den vielgenannten Culebra-Einschnitt, für den auf dem Nord-Ost-Ufer der Golden Hill bis 141 *m*, auf dem Süd-West-Ufer der Contractors Hill bis 103 *m* über Kanalsohle angeschnitten werden mussten. Die gesamte Kanallänge beträgt 81,3 *km*, die Länge zwischen beiden Küsten rund 67 *km* (die Luft-

[1]) Siehe ebenfalls in Band VIII, Nr. 9 vom 28. August 1886, Lageplan und Längenprofil des ursprünglich vorgesehenen Meeresniveau-Kanals sowie der Schleusenkanal-Variante mit Zentralsee.

[2]) Das dort gegebene Profil entspricht genau der Ausführung, während die Karte durch den Miraflores-See, zwischen den gleichnamigen und den Pedro Miguel-Schleusen, zu ergänzen ist.

linie zwischen den entsprechenden Küstenpunkten misst rund 55 *km*).

Die Sohlenbreite der Fahrwasserrinne ist am grössten auf etwa 25 *km* Länge südöstlich von Gatun, wo sie 305 *m* beträgt, um gegen den Culebra-Einschnitt zu bis zu 91,5 *m* stufenweise abzunehmen. An den übrigen Stellen, mit Ausnahme der Schleusen, misst sie 152,5 *m*. Die geringste Fahrwassertiefe ist auf 12,2 *m* festgesetzt; bei der Ausfahrt in der Panama-Bucht kann sie jedoch bei Ebbe bis auf 10,5 *m* sinken. In der Scheitelhaltung beträgt die Tiefe bei 25,92 *m* mittlerem Wasserstande 13,7 *m*.

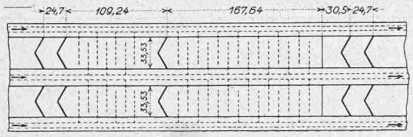

Abb. 3. Schema einer Schleusenstufe. 1:7500.

Die *Schleusen* sind, wie schon angedeutet, alle als Zwillingsschleusen ausgeführt, sodass Schiffe, unabhängig voneinander, in beiden Richtungen durchgelassen werden können. Abgesehen von dem Vorteil, den die Doppelschleusen durch die Möglichkeit der Aufrechterhaltung des Verkehrs im Falle der Beschädigung der einen Kammer bieten, wird durch diese Anordnung eine Verdoppelung der durch die Schleusen ohnehin begrenzten Leistungsfähigkeit des Kanals erzielt, wobei sich durch die Möglichkeit, die Nebenschleuse jeweilen als Sparkammer zu benutzen, vermeiden lässt, dass auch der Wasserverbrauch auf das Doppelte steigt. Der mittlere Hub beträgt bei der dreistufigen Gatun-Schleusentreppe normal 8,64 *m*, maximal 8,95 *m*. Bei der Pedro Miguel-Schleuse ist der Hub normal 9,25, maximal 9,85 *m*. Die beiden Stufen der Miraflores-Schleusen weisen einen mittleren Hub von 8,85 *m* auf, der in den unteren Kammern, bei tiefster Ebbe, bis auf etwa 11,9 *m* zunehmen kann. Die grösste nutzbare Länge jeder Schleuse, gemessen vom oberen Stemmtor bis zu der vor dem unteren Tor gespannten Pufferkette, beträgt 305 *m*, deren nutzbare Breite 33,5 *m*. Mit Rücksicht darauf, dass etwa 95 % aller auf den Meeren verkehrenden Schiffe weniger als 180 *m* Länge haben, sind jedoch zu einer möglichst weitgehenden Verringerung des Wasserverbrauches

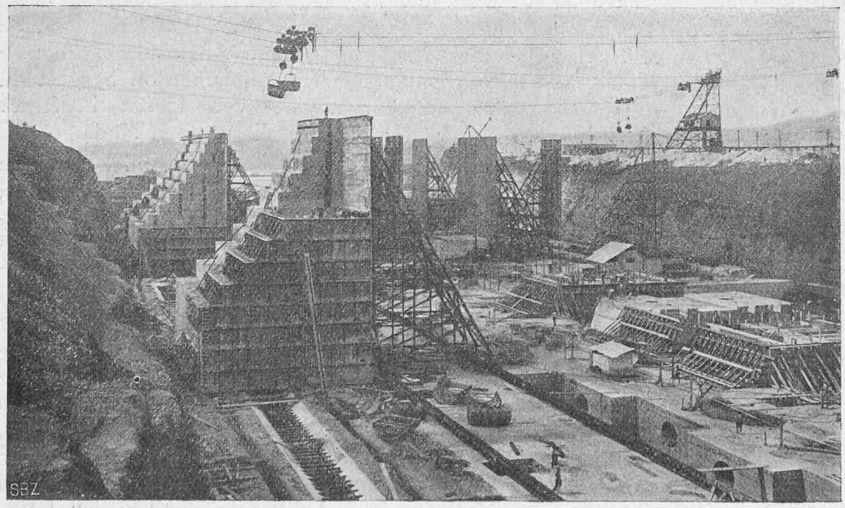
Abb. 5. Eiserne Schalgerüste und Luftseilbahnen beim Bau der Gatun-Schleusen. (Stand der Arbeiten im März 1910).

noch Zwischentore vorgesehen (Abb. 3); mittels dieser, sowie der weiter erwähnten Reservetore kann bei der Durchschleusung kleinerer Schiffe die Kammerlänge auf 276, 168, 113 oder 85 *m* verkürzt werden. Nur die untere Miraflores-Schleuse besitzt kein Zwischentor. Durch den Einbau doppelter Torpaare am Ober- und am Unterhaupt sämtlicher Kammern ist für ein Reservetor gesorgt, für den Fall, dass trotz der vorsorglichen Massnahme, dass Schiffe nicht mit eigenem Antrieb, sondern nur durch besondere Lokomotiven geschleppt, in die Schleusen fahren dürfen, sowie trotz der vor den Toren gespannten Schutz- oder Sperrketten, ein Tor durch ein zufahrendes Schiff beschädigt werden sollte. Ferner wurde bei allen drei Schleusen je am untersten Haupt ein Gegentor eingebaut, und zwar sowohl um eine gänzliche Entleerung der Schleusen zu ermöglichen, als auch bei den auf Meeresniveau endenden Schleusen zum

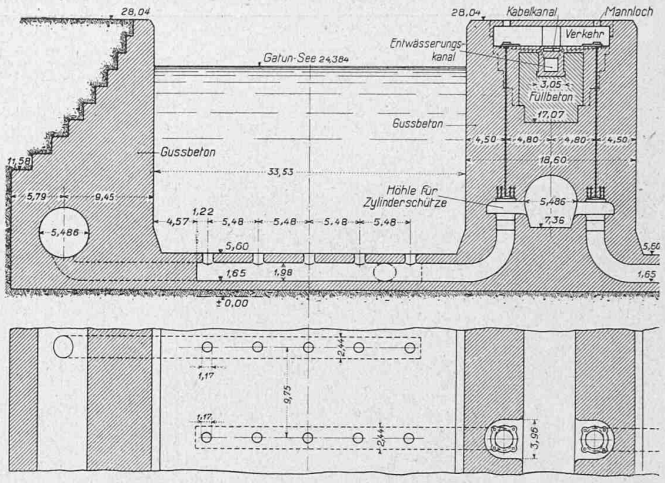

Abb. 4. Querschnitt durch eine Schleusenkammer. — 1:750.

Schutz der unteren Haupttore gegen Hochflutwellen oder Hochwasser. Schliesslich hat jede Schleusentreppe an ihrem Oberhaupt Drehbrücken-Notverschlüsse erhalten, die auch bei der stärksten Strömung geschlossen werden können und mittels derer im Falle der Beschädigung des obersten Tores der betreffenden Schleuse ein Auslaufen des Gatun- bezw. des Miraflores-Sees verhindert werden soll. Daneben sind noch Schwimmtore vorhanden, die nach Schliessung des Wehres im ruhigen Wasser eingesetzt werden können.

Die Gesamtanordnung einer Schleuse ist aus Abb. 1 ersichtlich, die die einstufige Schleuse bei Pedro Miguel zwischen der Scheitelhaltung und dem Miraflores-See darstellt. Aus dem Bilde sind gut die doppelten Torpaare am oberen und unteren Haupt ersichtlich, rechts vorne auch die zwei Drehbrücken-Notverschlüsse und desgleichen die direkt über dem Wasserspiegel gespannte Sperrkette. Das Zwischentor ist in beiden Kammern geöffnet und nur undeutlich sichtbar. Abb. 2 zeigt das untere Haupt der oberen, westlichen Kammer der Schleusentreppe von Miraflores. Der dort sichtbare Dampfer wird nach der bereits vollendeten Absenkung des Wasserspiegels durch vier der erwähnten elektrischen, auf Zahnstangen arbeitenden Lokomotiven [1]) gerade von der obern in die untere Kammer geschleppt. Abb. 3 gibt die Hauptabmessungen der Pedro Miguel-Schleuse.

Ueber die Ausführung des *Mauerwerks* der Schleusen-Kammern gibt der sich zwar im besondern auf die Gatun-Schleusen beziehende, aber doch für sämtliche Schleusen gültige Querschnitt in Abb. 4 Auskunft, der ausserdem die Anordnung der auch in Abb. 3 schematisch angedeuteten Füll- und Entleerungsleitungen, sowie der weiteren für den Betrieb erforderlichen Kanäle erkennen lässt. Bei der Herstellung der Mauerkörper war in Anbetracht ihrer zum Teil gewaltigen Abmessungen — so hat z. B. die mittlere Mauer der Gatun-Schleusentreppe einschliesslich der Zufahrtsleitwerke 1900 *m* Länge — eine ganz besondere Sorgfalt auf die Ausführung der Fundationen zu legen. Der Untergrund besteht zum grössten Teil aus tonigem Sandstein, der sich, mit Ausnahme der klüftigen

[1]) Kurz beschrieben in Band LXIII, Seite 313 (23. Mai 1914).

Stellen, als ein dichtes, für Wasser undurchlässiges Material erwies. Durch die bis zu 15 *m* unter Fundationstiefe vorgenommenen Bohrungen wurden unter dem Sandstein Schichten von festem Konglomerat, weichem Sandstein und tonigem Sandstein mit Tuffeinsprengungen festgestellt. Je nach ihrer Lage stehen die Schleusenmauern auf einer der

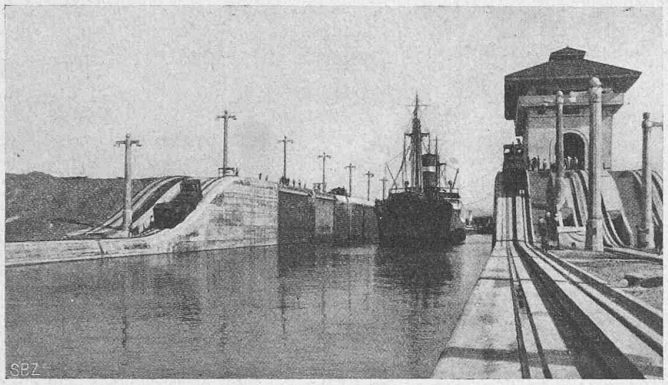

Abb. 2. Führung eines Dampfers von der oberen in die untere Kammer der Miraflores-Schleusen. (Blick gegen Norden).

genannten Bodenarten, die sich bei den sehr sorgfältig ausgeführten Druckversuchen alle als ausreichend tragfähig zeigten. Zur Verhinderung einer Unterspülung des obern Schleusenteils durch den weichen Sandstein hindurch wurde quer vor dem Oberhaupt eine 1,83 *m* dicke Schutzmauer aus Beton erstellt, die bis zum dichten, tonhaltigen Sandstein reicht und in der Längsaxe der Schleuse ausserhalb der Aussenmauern noch auf etwa 200 *m* weitergeführt ist. Die oberste Gatun-Schleuse, die die schlechtesten Untergrundverhältnisse aufweist, hat durch eine besonders starke (bis über 6 *m* dicke), in dem Felsen durch eiserne Schienen verankerte Beton-Sohle, einen noch weitergehenden Schutz gegen Unterspülung erhalten. Im übrigen ist die Sohle nur so dick ausgeführt, als es für die Unterbringung der Füll- und Entleerungskanäle erforderlich war. Sie liegt 40 *cm*, z. T. bis 60 *cm* unter der Drempel-Oberkante. Die Mauern sind für den vollen Erd-, bezw. Wasserdruck von der einen und für völlige Entlastung von der andern Seite berechnet, d. h. unter Annahme einer vollen und einer gänzlich leeren Schleuse. Ihre Hauptabmessungen gehen aus dem Querschnitt Abb. 4 hervor.

Sowohl Seiten- und Mittelmauern, als auch Sohle und Drempel sämtlicher Schleusen-Kammern bestehen durchweg aus Stampfbeton, der bei den Mauern der Gatun-Schleusen mittels 24 *m* hoher und 11 *m* breiter, fahrbarer, eiserner Schalgerüste ringweise (Abbildung 5), bei den der andern Schleusen mittels normaler Holzverschalungen von 4,5 × 1,5 *m* lagenweise eingebracht wurde (Abb. 6). Das Mischungsverhältnis wurde für den wasserdichten Beton zu 3 Teilen Zement, 4 Teilen Sand und 7 Teilen Schotter, für den gewöhnlichen Beton zu 1 : 3 : 5 bis 1 : 3 : 6 angenommen, wobei grössere Bruchsteine mit eingebettet wurden. Die an der mittleren Mauer anschliessenden Zufahrtsleitwerke sind mit Ausnahme jener am obern Haupt der Pedro Miguel- und der Miraflores-Schleusen, die gleichfalls aus Stampfbeton bestehen, in armiertem Beton ausgeführt; bei den Gatun-Schleusen mussten sie, der schlechten Untergrundverhältnisse wegen, auf Pfeilern fundiert werden.[1])

Die gewaltigen Abmessungen der herzustellenden Betonkörper, deren Kubatur für alle Schleusen zusammen etwa 3,2 Mill. m^3 beträgt, nötigte zur Anwendung von besonders zweckmässig eingerichteten *Verlade- und Transporteinrichtungen* sowie von Baumaschinen ungewöhnlicher Grösse und Leistungsfähigkeit.

Bei den Gatun-Schleusen wurden die zur Herstellung des Betons erforderlichen Materialien in Kähnen auf dem alten französischen Kanal von Colon her auf einen Lagerplatz in die Nähe der Baustelle geführt, und dort der Zement mittels elektrischer Ladekrane in den Lagerschuppen, die andern Materialien mittels einiger Lidgerwood'schen Luftseilbahnen auf die grossen Lagerhaufen gefördert. Mittels einer nacheinander durch die verschiedenen Lagerhaufen hindurch in Tunnels geführten, elektrischen Ringbahn wurden dann die Materialien automatisch im richtigen Verhältnis den Betonmischmaschinen zugeführt. Aus diesen floss der Beton in grosse eiserne Kübelwagen, die auf Eisenbahnwagen unter eine zweite Serie von gleichen Luftseilbahnen und mittels dieser zur Verbrauchsstelle gefördert wurden (Abb. 5). Diese Luftseilbahnen hatten 245 *m* Spannweite, 6 *t* Tragkraft und 53 *m* totale Hubhöhe; ihre Seile waren an in Bermenhöhe aufgestellten fahrbaren Stahltürmen von 26 *m* Höhe befestigt.

Für den Bau der Schleusen von Pedro Miguel und Miraflores musste das sämtliche Material auf Bahngeleisen zugeführt werden. Dort dienten grosse fahrbare Einfach- und Doppelausleger-Gerüstkrane zum Abladen der Züge, zur Zufuhr der Materialien zur Betonmischmaschine und des fertigen Betons auf die einzelnen Baustellen (Abb. 6). Die Türme der letzteren, im Schleusenbett gestellten Krane, deren vier Füsse je auf einen zweiachsigen Rollwagen mit 1,5 *m* Spurweite gestützt waren, massen im Grundriss 17×12 *m* bei rund 33 *m* Höhe. Die Ausladung des Auslegers betrug gegen die Mittelmauer zu 16,5 *m*, gegen die Aussenmauer zu 25 *m*, die Fassung des Förderkübels 1,8 m^3.

Sehr umfangreich sind mit Rücksicht auf die erforderliche Betriebssicherheit und die Anordnung von Zwischentoren die *Füll- und Entleerungsvorrichtungen* der Schleusen ausgefallen. In den Schleusenmauern ist, ihrer ganzen Länge nach, je ein Umlaufkanal ausgespart, der in den Seitenmauern kreisförmigen, in der Mittelmauer hufeisenförmigen Querschnitt besitzt (Abb. 4). Dessen lichter

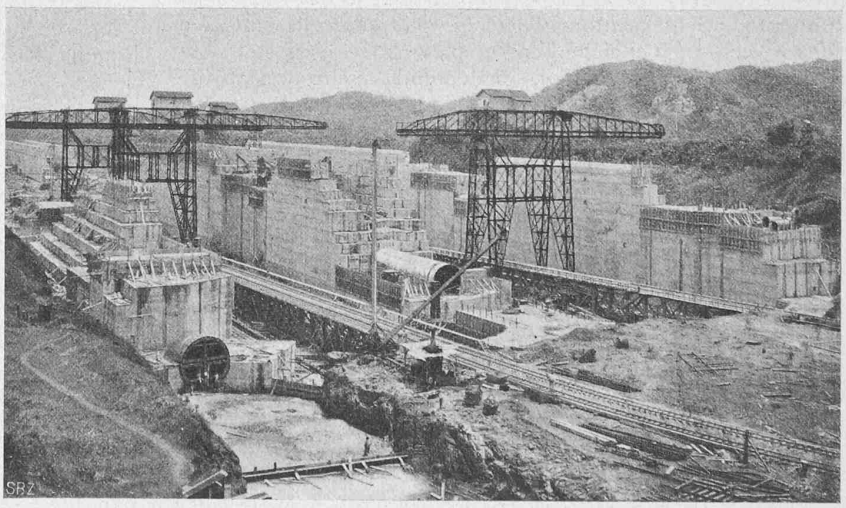

Abb. 6. Kragträger-Gerüst-Laufkräne beim Bau der Pedro Miguel-Schleuse. (Stand der Arbeiten im Oktober 1910).

Querschnitt beträgt 23,8 m^2, übertrifft also jenen eines eingeleisigen, normalspurigen Eisenbahntunnels. Von diesen Umläufen zweigen in jeder Kammer 21, je 4,65 m^2 lichte Querschnittsfläche aufweisende Grundläufe ab (Abb. 3), und zwar abwechselnd von dem mittleren und von dem seitlichen Ablauf, in je 9,75 *m* Axenabstand. Jeder dieser Grundläufe mündet in die Kammer mittels fünf, in der Sohle ausgesparten Oeffnungen von 1,1 m^2 lichtem Querschnitt. An ihrem oberen Ende sind die Umlaufkanäle der Seitenmauern durch drei Stoney-Schützen abge-

[1]) Ausführliche Miteilungen über die Ausführung der verschiedenen Mauerwerkteile der Schleusen sind in „Engineering" Band XCIV, 1912, S. 772 und Band XCV, 1913, S. 622 und 689 zu finden.

schlossen, die lediglich als Sicherheitsverschlüsse vorgesehen sind. Als eigentliche Betriebsschützen, die mit Rücksicht auf die Zwischentore verhältnismässig zahlreich sind, dienen ebenfalls Stoney-Schützen. Jeder Verschluss besteht aus zwei, durch eine 1,2 *m* dicke Zwischenwand getrennten Schützen von je 2,4 *m* lichter Breite und 5,5 *m* lichter Höhe. An den betreffenden Stellen sind die Umlaufkanäle in einen entsprechenden rechteckigen Querschnitt übergeführt. Der Zweck dieser Zweiteilung besteht darin, bei Versagen der einen Schütze die Möglichkeit zu bieten, die Kammerfüllung bezw. -Entleerung immer noch mit halber Querschnittsöffnung vorzunehmen. Der mittlere Umlaufkanal musste mit Rücksicht darauf, dass er in voneinander unabhängiger Weise beide Schleusenkammern bedienen soll, an jedem Ende einen Hauptverschluss erhalten und ausserdem jeder von ihm abzweigende Grundlauf mit einer besonderen Schütze versehen werden, wozu Zylinderschützen gewählt wurden. Insgesamt waren für alle Schleusen 194 einfache Stoney-Schützen und 120 Zylinderschützen erforderlich, die selbstverständlich alle mittels elektrischen Fernantriebs betätigt werden.[1])

Die *Füllung* einer Schleuse kann, die Schützenbewegung eingerechnet, in weniger als 20 *min* vorgenommen werden. Als grösste Hubgeschwindigkeit der Schiffe ist 0,9 *m/min* festgesetzt. Zur Einhaltung dieser Höchstwerte muss die Füllung mit gedrosseltem Querschnitt begonnen werden. Der mittlere Umlauf wird dabei nur während der letzten fünf Minuten mitbenützt. Im übrigen genügt der seitliche Umlauf, um eine Kammer in ihrer vollen Länge in 15 *min* zu füllen. Die Durchschleusung eines Schiffs durch sämtliche Schleusen erfordert 3 bis $3^1/_2$ Stunden, die Fahrt von einem Ozean zum andern 8 bis 10 Stunden.

An dieser Stelle sei noch auf eine Eigentümlichkeit des Panama-Kanals hingewiesen, auf die Prof. K. E. Hilgard in seinem in verschiedenen Sektionen des Schweiz. Ingenieur- und Architekten-Vereins gehaltenen Vortrag aufmerksam gemacht hat.[2]) Da beim Durchschleusen der Schiffe das Süsswasser des Gatunsees in das salzhaltige Wasser der beiden Ozeane ausfliesst, würde normalerweise, infolge des höheren spezifischen Gewichtes des Salzwassers (1,02 bis 1,03), zwischen den Wassermassen auf beiden Seiten des untersten Schleusentors Gleichgewichtszustand eintreten, bevor sich auch gleiche Wasserspiegelhöhe eingestellt hat, was das Oeffnen des Tors bedeutend erschweren würde. Wie durch eingehende, vorhergehende Versuche festgestellt werden konnte, liess sich diese Ungleichheit der Wasserspiegelhöhe bis auf eine unbedeutende Differenz dadurch vermeiden, dass die untere Ausmündung der Umlaufkanäle in ebenso origineller wie interessanter Weise möglichst hoch über den Drempel verlegt wurde. Da sich erfahrungsgemäss Salzwasser und Süsswasser nur sehr langsam mischen, ist der bis nahe an den Salzwasserspiegel hinaufreichende Umlaufkanal vorwiegend mit Süsswasser gefüllt, sodass sich, bis auf den geringen Höhenunterschied zwischen Kanalausmündung und Wasserspiegel, auf beiden Seiten des Tors Süsswassermengen entgegenwirken.

Unter anderen interessanten Erscheinungen ist auch zu erwähnen, dass schon bald nach Betriebseröffnung des Kanals eine starke Versalzung des bisher süsswasserhaltigen Miraflores-Sees, sowie, wenn auch in bedeutend geringerem Grade, des Gatunsees festgestellt wurde, da beim Auslaufen der Schiffe aus den untersten Schleusenkammern Meerwasser in diese eindringt, das dann beim Durchschleusen weiterer Schiffe, in entsprechend zunehmender Verdünnung, nach und nach in die oberen Kammern und in die beiden genannten Seen gelangt. Es geht also tatsächlich auf diese Weise ein Aufsteigen des Salzwassers vom Meere her in die Stauseen vor sich.

Im zweiten Teil dieses Aufsatzes gedenken wir eine kurze Beschreibung der Schleusentore und ihres neuartigen Antriebsmechanismus, sowie auch der vorgesehenen Sicherheits-Einrichtungen, namentlich der Drehbrücken-Notverschlüsse zu geben. (Schluss folgt).

[1]) Die allgemeine Anordnung der verschiedenen Betriebsschützen in den Schleusenkammern ist in „Engineering" vom 20. Februar 1914 wiedergegeben, an welcher Stelle auch einige Einzelheiten über die umfangreichen Kontroll-Tische zu finden sind. Bezüglich der Konstruktion der Stoney- und der Zylinderschützen siehe „Engineering" vom 23. Mai 1913.

[2]) Der genannte Vortrag ist seither in Buchform erschienen. Eine kurze Inhaltsangabe dieses Werkes, auf das wir in empfehlendem Sinne wiederholt hinweisen, ist auf Seite 26 laufenden Bandes enthalten.

Einige Eigenschaften der Kettenlinie.

Von *A. Kiefer* in Zürich.

Die beiden Abbildungen in dem Artikel „Ueber die Kettenlinie" (Schweiz. Bauzeitung, Bd. LXVI, S. 256) sind geeignet, mancherlei Eigenschaften der Kettenlinie erkennen zu lassen.

In dem rechtwinkligen Dreieck FBQ ist FB gleich dem Bogen $AB = s$ der Kettenlinie; BQ ist gleich der Spannung b im Punkte B, QF gleich der Spannung $a = OA$ im Scheitelpunkt; also 1) $s = a \cdot tg\varphi$, 2) $b = \frac{a}{\cos\varphi}$. Für den Krümmungsradius des Punktes B ist in dem erwähnten Artikel angegeben 3) $\varrho = \frac{a}{\cos^2\varphi}$. Für den Inhalt I der gemischtlinigen Fläche $ABQO$ folgt ohne weiteres, da $\Delta x : \Delta s = a : y$ ist, 4) $I = \Sigma \Delta x \cdot y = \Sigma \Delta s \cdot a = a \cdot s$. Für die Schwerpunktsordinate η des Bogens $AB = s$ folgt, wenn die Normale von B die Direktrix in B^*[1]) schneidet und δ eine unendlich kleine Verschiebung von B^* auf der Direktrix bedeutet, $\eta \cdot s = \Sigma y \cdot \Delta s$, oder, da wegen Dreiecksähnlichkeit $\frac{2\Delta s}{\delta} = \frac{a}{y}$, 5) $\eta \cdot s = \Sigma \frac{1}{2} a \cdot \delta = \frac{a}{2} \cdot OB^*$.[2]) Da das Flächenelement $y \cdot \Delta x = a \cdot \Delta s$ dem Bogenelement proportional und der Schwerpunkt des Flächenelementes in der Mitte von y liegt, so muss der Schwerpunkt der Fläche $ABQO$ in der Mitte von η liegen; die vertikale Gerade, auf der die beiden Schwerpunkte liegen, geht durch den Schnittpunkt der Scheiteltangente mit der Tangente in B. Nimmt man jetzt den Punkt B' der Kettenlinie, dessen Tangente auf der Tangente von B senkrecht steht, so ist im rechtwinkligen Dreieck $B'F'Q'$: $\sphericalangle \varphi' = 90^0 - \varphi$; somit ist für den Punkt B' der Bogen $AB' = s'$, die Spannung b', der Krümmungsradius ϱ', der Inhalt I' der Fläche $AB'Q'O$, die Schwerpunktsordinate η' des Bogens AB': 6) $s' = a \operatorname{cotg}\varphi$, 7) $b' = \frac{a}{\sin\varphi}$, 8) $\varrho' = \frac{a}{\sin^2\varphi}$ 9) $I' = as'$, 10) $\eta' s' = \frac{a}{2} \cdot OB^{*\prime}$. Aus diesen Gleichungen folgt $ss' = a^2$, $\frac{1}{b^2} + \frac{1}{b'^2} = \frac{1}{a^2}$, $\frac{1}{\varrho} + \frac{1}{\varrho'} = \frac{1}{a}$, $I \cdot I' = a^2 ss' = a^4$, $\eta\eta' = \frac{1}{4} OB^* \cdot OB^{*\prime}$, d. h.:

Bei einer Kettenlinie ist für zwei auf verschiedener Seite des Scheitels liegende Punkte B, B', deren Tangenten aufeinander senkrecht stehen, das Produkt der vom Scheitel bis zu den Punkten gemessenen Bogen konstant, gleich dem Quadrat der Spannung im Scheitelpunkt; ebenso ist für zwei solche Punkte die Summe der reziproken Quadrate der Spannungen konstant, gleich dem reziproken Quadrat der Spannung im Scheitelpunkt, und für zwei solche Punkte ist auch

[1]) Die Punkte B^* und $B^{*\prime}$ sind in der Abbildung weggelassen.

[2]) Analog für einen beliebigen Kurvenbogen BC $\eta \cdot BC = \frac{a}{2} \cdot B^*C^*$, d. h.: *Das Produkt aus irgend einem Bogen BC der Kettenlinie mal dem senkrechten Abstand seines Schwerpunktes von der Direktrix, der in doppelter Höhe über dem Schwerpunkte der Fläche zwischen BC und der Leitlinie, auf der Vertikalen durch den Schnittpunkt der Tangenten in B, C liegt, ist gleich dem halben Produkt aus der Spannung a im Scheitelpunkt mal derjenigen Strecke B^*C^* auf der Direktrix, welche durch die Kurvennormalen in den Endpunkten des Bogens begrenzt wird. Daher ist die von dem Bogen BC bei der Rotation um die Direktrix beschriebene Fläche inhaltsgleich dem Zylindermantel mit dem Durchmesser a und der Höhe B^*C^*.*

In dem speziellen Falle, wo B^*C Tangente in C ist, folgt, wenn die Ordinate von C mit CR bezeichnet wird, wegen ähnlichen Dreiecken $B^*C^* : CR = B^*C : a$, also $\eta \cdot BC = \frac{1}{2} \cdot B^*C \cdot CR$, d. h.:

Zieht man von einem Punkt B^* der Direktrix nach der Kettenlinie die Normale B^*B und die Tangente B^*C, so beschreiben der Bogen BC und das Tangentenstück B^*C bei der Rotation um die Direktrix inhaltsgleiche Flächen.