

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 13/14 (1889)
Heft: 6

Artikel: Die Forth-Brücke in Schottland
Autor: H.S.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-15653>

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: 21.02.2026

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

INHALT: Die Forth-Brücke in Schottland. — Les fontaines lumineuses à l'Exposition de 1889. (Fin.) — Miscellanea: Eidg. Polytechnikum. Schweizerische Maschinenindustrie. — Concurrenzen. —

Vereinsnachrichten. Stellenvermittlung. — Hiezu eine Tafel: Die Forth-Brücke in Schottland.

Die Forth-Brücke in Schottland.

(Mit einer Tafel.)

Nachdem bei der Beschreibung verschiedener neuer Brückenprojecte in diesen Blättern schon wiederholt auf dieses grossartige Bauwerk verwiesen wurde, dürften nähere Mittheilungen hierüber von Interesse sein.

Unter der grossen Anzahl von Veröffentlichungen über die Ueberbrückung des „Firth of Forth“ benützten wir namentlich eine von Professor G. Barkhausen in Hanover erschienene Monographie, welche, gestützt auf mehrwöchentliche Beobachtungen auf der Baustelle, ein umfassendes Gesamtbild dieses Brückenbaues entwirft. Weitere Notizen wurden dem „Engineering“ Band 1882, 1885 und 1887, sowie einer in der „Revue générale des chemins de fer“ 1889 enthaltenen Abhandlung entnommen. —

Von den zahlreichen Meeresarmen (Firths), welche von allen Seiten in das Innere Schottlands dringen, boten von jeher die beiden nördlich von Edinburg gelegenen Firth of Forth und Firth of Tay (siehe nebenstehende Karte) bedeutende Verkehrshindernisse dar und konnte die Verbindung der Hauptstadt mit dem Norden nur auf grossen Umwegen über Stirling und Forth erfolgen. Die vier theilhaftigen Eisenbahngesellschaften North-Eastern, Midland, Great-Northern und North-British vereinigten sich deshalb schon früher zur Ueberbrückung des Firth of Tay bei Dundee, welches Bauwerk bekanntlich durch seinen 1879 erfolgten Einsturz eine traurige Berühmtheit erlangte und in den Jahren 1882–87 neu erstellt wurde. Der Firth of Forth erstreckt sich etwa 80 km landeinwärts bis Alloa und besitzt eine Anzahl Fähren, unter welchen zwei Eisenbahnfähren eine besondere Bedeutung haben.

Nachdem der Firth of Tay überbrückt war, betrug der Umweg des von Edinburg über Stirling nach Dundee führenden Schienenweges etwa noch 38 km und rechtfertigte deshalb die Bestrebungen der Bahngesellschaften, auch diesen Meeresarm zu überschreiten. Die Situation der Brücke ist durch die topographischen Verhältnisse gegeben, indem der Firth of Forth an einer einzigen Stelle, etwa 15 km westlich von Edinburg, eine Verengung auf etwa 2 km aufweist und sich zudem hier ungefähr in der Mitte eine Insel, Inch-Garvie befindet, welche die Errichtung eines Mittelpfeilers ermöglicht.

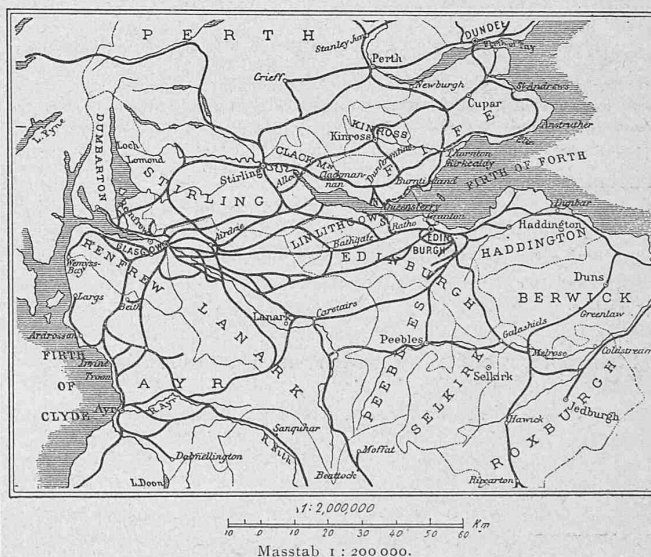
Im Jahre 1873 erfolgte ein Parlamentsbeschluss, welcher ein Project des Ing. Thomas Bouch, des Erbauers der ältern Tay-Brücke, genehmigte. Nach demselben war eine Hängebrücke mit zwei grossen Oeffnungen in Aussicht genommen, indem sich eine Tunnelanlage wegen der grossen Wassertiefe als unausführbar erwies. Der 1879 erfolgte Einsturz der Tay-Brücke, und da starke Bedenken darüber entstanden, ob eine solche Constructionsart gegenüber den überaus heftigen Stürmen der schottischen Küsten widerstandsfähig genug wäre, brachte auch dieses Project zu Falle und es beauftragten die Eisenbahngesellschaften ihre Ingenieurexperten Harrison, Barlow und Fowler mit neuen bezüglich Untersuchungen. Ein von den renommirten Ingenieuren J. Fowler und B. Baker in London ausgearbeiteter Plan erhielt die allseitige Zustimmung und es wurden denselben die Ausarbeitung der Detailpläne, sowie die Bauleitung übertragen. Die Genehmigung des Baues durch das Parlament geschah im Juli 1882 und im December desselben Jahres konnte die Ausführung desselben an die Firma Tancred, Arrol & Co. in Glasgow, welche auch die neue Tay-Brücke erbauten, um die Summe von 42 500 000 Fr. vergeben werden.

Die Gesamtanordnung des Bauwerkes ergibt sich aus der Wahl der drei Stützpunkte für die beiden Tiefwasser-

überbrückungen des Firth of Forth. Nach dem vorliegenden Querprofil (Fig. 1) war es möglich, ausser einem Mittelpfeiler in Inch-Garvie zwei weitere Unterstützungspunkte in Queensferry und Fife, an den südlichen und nördlichen Rändern des Flussbettes so zu fixiren, dass die beiden Spannweiten noch 521 m betragen. Das südliche Vorland wird noch zum Theil von der Fluth erreicht, das nördliche ist etwas höher gelegen. Bestimmend für die Anordnung der Träger war im Weiteren die Vorschrift, dass in den beiden Flussarmen eine Durchfahrthöhe von 45,8 m über der höchsten Fluth auf eine Breite von 152,4 m frei bleiben musste. Bei der bedeutenden Wassertiefe bis zu 67 m konnte ferner nur eine Constructionsart in Betracht kommen, welche durch Vorbauung von den Stützpunkten aus, also ohne Gerüste, auszuführen war. Dieses Verfahren wurde beispielsweise bei der Dourobrücke in Anwendung gebracht („Schweiz. Bauzeitung“ Band 8, Nr. 19).

Obige Erwägungen führten zu der in Fig. 1 und 2

Eisenbahnnetz der Umgebung der Brücke.



dargestellten Stahlbrücke, welche nach dem in letzter Zeit bei grossen Brückenbauten in Nordamerika und Ostindien angewendeten sogen. *Cantileversystem* (Consolträger) projectirt ist.

Dieses Brückensystem hat sein Vorbild in den schon vor mehreren Decennien von Director Gerber vorgeschlagenen Balkenträgern mit freiliegenden Stützpunkten. Wir erinnern daran, dass diesem System der Gedanke zu Grunde liegt, gewisse Nachtheile der continuirlichen Brücken, welche aus der ungleichen Höhenlage der Stützpunkte hervorgehen, zu umgehen. Bekanntlich ändern sich die Pfeilmomente in empfindlicher Weise bei geringfügigen Abweichungen von der plangemässen Auflagerhöhe und es entsteht dadurch eine Unsicherheit in der statischen Berechnung. An die Stelle eines continuirlichen Trägers werden Einzelträger substituiert, welche aber nicht wie gewöhnlich mit den Enden auf den Pfeilern aufrufen, sondern sich zum Theil über dieselben hinaus verlängern. Der Endpunkt dieser Verlängerung dient einem weitem Träger als Stützpunkt, dessen anderes Ende entweder auf einem festen Punkte oder ebenfalls auf dem vorgeschobenen Ende eines andern Trägers ruht. Auf diese Weise ist es möglich eine ungewöhnlich grosse Oeffnung, welche nicht durch eine einzige, selbstständige Construction überbrückt werden kann, so zu theilen, dass der mittlere

Theil durch einen besondern, eingeschalteten Träger überspannt wird.

Das vorliegende Project unterscheidet sich von den bis jetzt ausgeführten Cantilverbrücken noch besonders dadurch, dass die Hauptträger über den Pfeilern nicht die gewöhnliche Balkenform mit geradem Untergurte haben, sondern sich als combinirte Häng- und Sprengwerke mit Fachwerksaussteifung charakterisiren. Bei dieser Anordnung ist eine grösstmögliche Stabilität erzielt und das Eigengewicht der Construction nahe an die Pfeiler gerückt.

Auf den drei Unterstützungspunkten wurde je ein auf vier runden Steinpfeilern ruhender Stahlthurm errichtet, welcher die beiden symmetrischen, krabbenartigen Consolträger zu einem Ganzen verbindet. Da die Länge der Letztern 207 m beträgt, verbleiben noch zwei Mittelöffnungen von 107 m Länge, welche mittelst Halbparabelträgern übersetzt wurden. Dieselben ruhen beweglich auf den Enden der Consolträger und es ist das Gewicht derselben sowie die zufällige Belastung in den beiden mittlern Öffnungen durch besondere Gegengewichte ausbalancirt, welche sich an den Enden der äussern Cantilever befinden. Durch diese Einrichtung sind somit die negativen Auflagerreactionen gänzlich vermieden worden.

Die beiden Vorländer sind durch Viaducte mit steinernen Pfeilern und Fachwerkträgern mit Öffnungen bis zu 52 m überbrückt, so dass die ganze Länge des Bauwerkes 2468 m beträgt. Von den ausgeführten Brücken wird die Forth-Brücke in der Länge nur von der Tay-Brücke mit 3157 m übertroffen; die Spannweite von 521 m ist bis jetzt bei keiner ausgeführten Brückenbaute erreicht worden.

Zur möglichsten Verringerung der beiden grossen Öffnungen und um die Gleichgewichtsverhältnisse der Cantilever nicht allzu empfindlich zu machen, erhielten die Thurmfüsse eine möglichst breite Basis. Der Mittelpfeiler in Inch-Garvie musste in der Längsrichtung naturgemäss eine grössere Abmessung als die beiden andern erhalten, weil bei einer in den Hauptöffnungen befindlichen Verkehrsbelastung die Tendenz zum Umkippen desselben vorhanden ist. Bei dem seitlichen Cantilever ist dies aus den obgenannten Gründen nicht der Fall. Die Entfernung der 4 Stahlrohre, welche zusammen einen Pfeileraufbau bilden, beträgt in der Längsrichtung für den Inch-Garvie-Pfeiler 79,247 m und bei den beiden andern Uferpfeilern 44,195 m. In der Querrichtung sind dieselben zur Erreichung eines möglichst grossen Stabilitätsmomentes stark geneigt, so dass bei einer Höhe von 100,582 m die Entfernung der obern Knotenpunkte 10,958 m, der untern 36,575 m beträgt (Fig. 4). In Folge dieser Anordnung befinden sich auch die Gurten und Füllungsglieder der Cantilever sowie die Tragwände der Mittelträger in geeigneten Ebenen.

Zur Aufnahme der doppelspurigen Fahrbahn ist in die Cantilever ein besonderer Fachwerkträger eingebaut und mit den andern Constructionstheilen zweckmässig verbunden. Der Untergurt hat eine polygonale Gestalt d. h. er erleidet bei jedem Knotenpunkte einen Bruch; der Obergurt verläuft geradlinig von den Pylonen zum Mittelträger.

Wenn auch die äussere Gestalt dieses Brückenprojectes in ästhetischer Beziehung nicht gerade befriedigend wirkt, so hätten die beiden andern Brückenbausysteme, welche in diesem Falle überhaupt noch denkbar waren, nämlich eine Hänge- oder Bogenbrücke noch grössere constructive Schwierigkeiten geboten. Die erstere wegen ungenügender Steifigkeit gegen den bedeutenden Winddruck und die schwierigen Verankerungen; die letztere wegen des beträchtlichen Horizontalschubes, welcher mächtige Widerlager erfordert hätte. Ueberdiess wäre auch die Montirung dieser beiden Brückenarten von den Pfeilern aus noch schwieriger gewesen und desshalb fielen vergleichende Kostenberechnungen zu Gunsten vorgeschlagenen Projectes aus.

Die Steinpfeiler haben einen obern Durchmesser von 14,935 m, einen untern von 21,336 m und eine je nach der Bodenbeschaffenheit verschiedene Höhe. Die vier Pfeilerfüsse des Fife-Pfeilers, sowie die beiden nördlichen des Inch-Garvie-Pfeilers wurden mittelst Fangdämmen fundirt;

die beiden südlichen des Inch-Garvie und diejenigen des Queensferry-Pfeilers dagegen unter Anwendung von Luftdruck, indem dieselben schon bedeutend tiefer, bis 27 m unter Hochwasser in Felsen und Thonconglomerat (boulder clay) abzuteufen waren. Da die englischen Unternehmer in pneumatischen Foundationen keine Erfahrungen hatten, übernahm die Firma Couvreur, Hersent und Coisseau den grössten Theil der Fundirungen.

Die Caissons für den Queensferry-Pfeiler (Fig. 11) haben bis auf Niederwasser eine innere und äussere Blechhülle, welche durch senkrechte Zwischenräume abgetheilt sind. Durch Ausfüllen derselben mit Béton und äusserer Backsteinverkleidung war es möglich, die Schneide ungleich zu belasten und dadurch das Vordringen bei ungleichmässiger Bodenbeschaffenheit zu erleichtern; ebenso wurde dadurch die Dichtigkeit der Wände erhöht. Der obere Theil des Caissons besteht aus einem eisernen, durch Holzrippen versteiften Mantel, der nach Vollendung des Mauerwerkes abgehoben wurde. Die Decke der 2,1 m hohen, electrisch beleuchteten Arbeitskammer ist an vier Gitterträgern befestigt; zur Querabsteifung dienen Blechbalken von 0,914 m Höhe. Die seitliche Abgrenzung bildet ein conischer Blechmantel, der von der Decke nach der Schneide verläuft. Auf der Arbeitskammer befinden sich drei Röhren von 0,914 m Durchmesser, von welchen zwei zur Materialbeförderung dienen und die dritte von den Arbeitern benützt wird.

Für die Durchschleusung des Materiales wurde von den Unternehmern eine eigenartige Vorrichtung ersonnen, die sich als sehr practisch erwies. Die Förderkammer oberhalb des Schachtes ist oben und unten durch horizontale Schieber abgeschlossen, welche abwechselnd durch hydraulischen Druck bewegt werden konnten. Gewöhnlich ist der untere Schieber geöffnet, der obere geschlossen. Sobald der mit Material gefüllte Eimer mittelst einer Kettentrommel in die Kammer aufgezogen war, ändern sich die Schieberstellungen und konnte der Eimer mittelst Krannen entleert werden. Ausser dem Steigschacht und den zwei Förderschächten laufen noch drei engere Rohre aus der Arbeitskammer zum obern Theil des Caissons, durch welche bei Beginn der Arbeit die den Arbeitsraum zuerst ausfüllende lehmige Masse ausgeblasen wurde. Bei 12—15 m Wassertiefe genügte ein Ueberdruck von zwei Atmosphären; der Fluthwechsel von 5,5 m bedingte einen Wechsel der Pressung von 0,14 bis 0,25 Atmosphären.

Der vierte Caisson des Queensferry-Pfeilers erlitt im December 1885 einen Unfall, indem bei besonders tiefer Ebbe derselbe so in den Schlamm einsank, dass ihn die Fluth nicht wieder heben konnte, so dass er erst nach neunmonatlicher, mühevoller Arbeit in normaler Weise versenkt war.

Bei dem Inch-Garvie-Pfeiler war der Felsen stark abfallend und es konnte sich desshalb die Caissonsschneide nicht im ganzen Umfange anlegen. Es wurde desshalb, nachdem die Arbeitskammer ausgeblasen war, auf der tiefen Seite eine Reihe von Sandsäcken aufgeschichtet, auf welchen der Caisson mittelst Holzpfeilern aufsitzen konnte.

Das Ausfüllen der Caissons bis 0,3 m über Niederwasser geschah mit Beton; der obere Theil besteht aus Sandsteinmauerwerk mit Granitverkleidung. Die Deckschicht besteht ebenfalls aus 0,53 m starken Granitplatten mit darunter liegender 1,98 m dicker Schicht von Backsteinen in Cementmörtel. In das Mauerwerk sind zur Befestigung der grossen Auflagerplatten 48 Anker von 64 mm Durchmesser eingelassen, welche in 4 Reihen angeordnet sind.

Die Pfeiler der Zufahrtsbrücken bestehen aus demselben Steinmaterial und sind massiv erbaut, mit Ausnahme der Hauptpfeiler, welche die Enden der äussern Consolträger aufnehmen. Diese haben drei, im untern Theile fünf durch Gewölbekappen abgeschlossene Hohlräume mit verhältnissmässig schwachen Mauerkörpern.

Die gesammte Mauerwerksmasse beträgt 92000 m³ und die grösste Beanspruchung der Deckschicht 13 kg pro cm², des Fundamentes 6,7 kg pro cm².

Von dem **stählernen Ueberbau**, welcher wegen seiner gigantischen Dimensionen das Hauptinteresse beansprucht,

Die Forth-Brücke in Schottland.

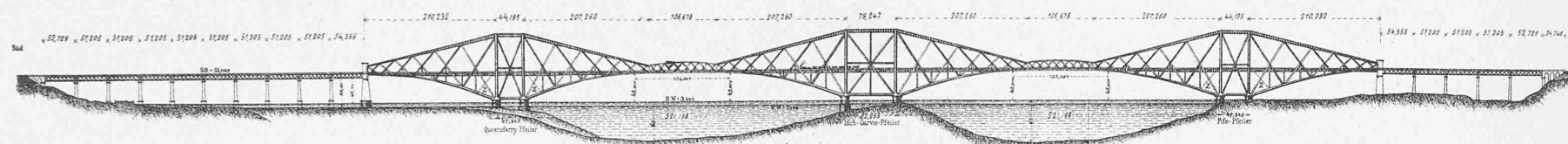


Fig. 1 Ansicht.

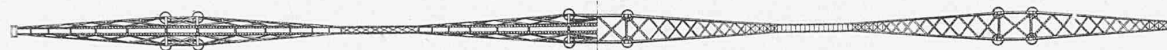


Fig. 2 Grundriss.

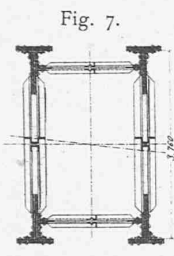


Fig. 7.

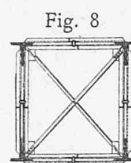


Fig. 8.

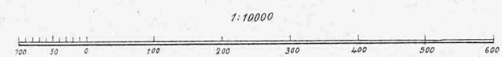


Fig. 6.

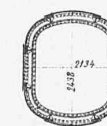


Fig. 5.



Fig. 9.

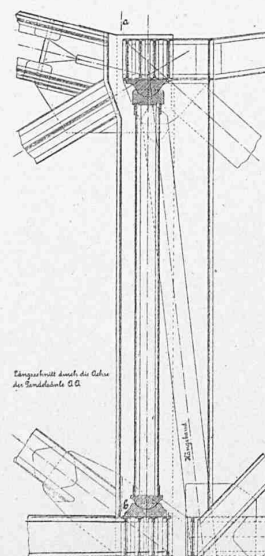
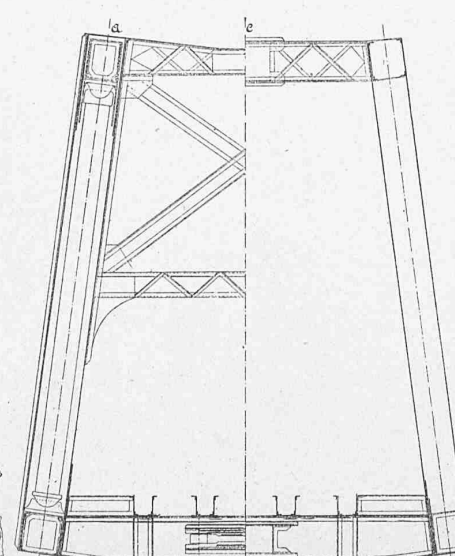
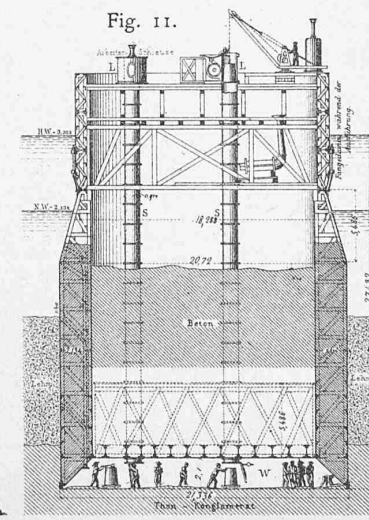


Fig. 10.



Caisson des Queensferry-Pfeiler

Fig. 11.



Queensferry-Pfeiler

Fig. 3.

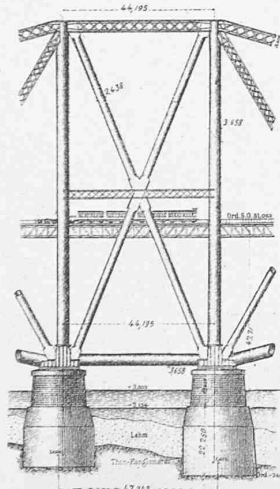
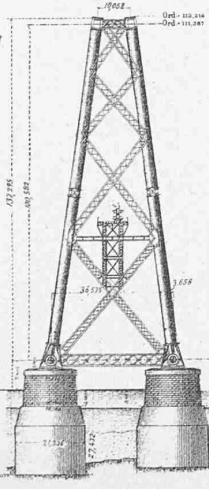


Fig. 4.



Seite / page

32(3)

leer / vide /
blank

ist bereits die Disposition im Allgemeinen angegeben worden.

Für die gedrückten Constructionstheile des Cantilevers wurde der röhrenförmige Querschnitt gewählt, wie ihn schon Brunel bei der Saltash- und Chepstowbrücke benützte; die auf Zug in Anspruch genommenen Theile haben einen aufgelösten, kastenförmigen Querschnitt mit Gitterverstreben. Die Eckpfosten der Pfeiler, Verbindungsrohre der Eckpfosten und Untergurte besitzen den in Figur 5 dargestellten runden Querschnitt, welcher aus 10 gekrümmten Stahlplatten von 13—28 mm Dicke mit versteifenden I-Eisen bei jeder Ueberplattung besteht. Die Plattenstösse sind in der Längsrichtung übersetzt und bei jedem Stoss, in Entfernungen von 2,4 m eine ringförmige Versteifung von der Breite der I-Eisen an-

Breite und Höhe von resp. 3,048—0,914 m und 3,658—1,524 m, entsprechend einer Querschnittsvariation von 4258—503 cm². Die Zugglieder haben ähnliche, entsprechend schwächer dimensionirte Querschnitte. Windverstreben sind in den Ebenen des Untergurtes, der Druckstreben und der schief stehenden Pfeilerrohre angebracht; in der Ebene des Obergurtes sind die Knotenpunkte nur seitlich abgesteift.

Für die statische Berechnung der Forth-Brücke wurde nach den Bestimmungen des englischen Handelsamtes (Board of Trade) eine Verkehrslast von 3,33 t pro 1. m und Geleise vorausgesetzt. Das Eigengewicht variirt von 6,7—43,3 t pro 1. m und beträgt ohne die Viaducte etwa 42660 t, im Ganzen 46180 t.

Der Winddruck, welcher bei diesem Bauwerke eine

Die Forth-Brücke in Schottland. — Montirung des nördlichen Cantilevers.



gebracht. Die Eckpfosten und deren Verbindungsrohre haben 3,658 m Durchmesser; bei den Untergurten variirt derselbe von 3,658—1,524 m und der nutzbare Querschnitt von 5548—774 cm². Diese gegen Druck resp. Zerknickungsfestigkeit sehr widerstandsfähigen Constructionstheile leisten auch dem Winde einen möglichst geringen Widerstand; zur leichtern Verbindung mit den andern Gliedern sind sie jedoch in den Knotenpunkten in einen quadratischen Querschnitt übergeführt. Aus dem gleichen Grunde sind auch die Druckstreben und Rohrkreuze der Pfeiler nach dem Querschnitte Fig. 6 ausgebildet, so dass die abgeplattete Breite gerade der Breite der Zugglieder entspricht.

Die Stahlplatten werden in heissem Zustande in einer hydraulischen Presse unter einem Druck von 800 t gebogen und mit besondern Maschinen am Ende abgehobelt. Bei den ersten Versuchen, die Platten kalt zu biegen, brachen dieselben wie Gusseisen.

Der Obergurt besitzt den in Fig. 7 gezeichneten Kastenquerschnitt mit einer von den Pfeilern stetig abnehmenden

bedeutende Rolle spielt, wurde zu 273,5 kg pro m² (56 Pfund pro Quadratfuss) angenommen, obgleich die an der Baustelle mit verschiedenen Anemometern angestellten Versuche nur etwa die Hälfte dieser Beanspruchung ergaben (Vergleiche „Schweiz. Bauzeitung“ Bd. XIII Nr. 9). Zur Berechnung der dem Winde ausgesetzten Angriffsfläche wurde gestützt auf eine Reihe von Versuchen angenommen, dass bei beiden Trägern die Röhren mit der halben, die kastenförmigen Gitterträger mit der vollen Ansichtsfläche in Rechnung zu ziehen seien; die andern dazwischen liegenden Theile wurden nicht berücksichtigt. Nach dieser Berechnungsweise ergab sich eine Druckfläche von 30350 m² und ein totaler Winddruck von 8316 t.

Bei dem colossalen Eigengewichte der Brücke war selbstverständlich die ausschliessliche Verwendung des Stahles geboten und der Board of Trade bestimmte, dass die zulässige Inanspruchnahme höchstens 1/4 der Bruchfestigkeit erreichen dürfe. Es wurde Siemens-Martinstahl angewendet, wobei für die Prüfung desselben folgende Bestimmungen massgebend waren:

Die Bruchfestigkeit der gedrückten Theile soll 5350 bis 5830 kg pro cm^2 und die Ausdehnung eines 203 mm langen Probestabes vor dem Bruche 17% betragen; für die gezogenen Theile sind diese Zahlen zu 4725–5200 kg pro cm^2 und 20% Dehnung fixirt. Der Stahl für die Nieten soll 4250 kg Zugfestigkeit und 3460–3780 kg Scheerfestigkeit haben und sich bis zu 30% ausdehnen.

Die projectirenden Ingenieure Fowler und Baker stellten dagegen für die Berechnung der Brücke, den Wöhler'schen Principien entsprechend, die folgenden Grundsätze auf:

Für die gezogenen Constructionstheile wurde die Bruchfestigkeit des Stahles angenommen: 1) bei ruhender Lage zu 4700 kg pro cm^2 , 2) für eine wechselnde Anstrengung bei seltenem Wechsel (Windstößen) 3600 kg, bei häufigem (Verkehrsbelastung) 3100 kg, 3) bei einer zwischen Zug und Druck wechselnden Last (Windstreben) 1700–2370 kg.

Von diesen Werthen durften die effectiven Spannungen höchstens $\frac{1}{3}$ betragen.

Für die gedrückten Theile bediente man sich, gestützt auf vielfache Versuche, der empirischen Formel:

$$S' = (0,44 - 0,002 n) (S + 2835) \text{ kg für Röhren}$$

und $S' = (0,40 - 0,004 n) (S + 2835) \text{ kg für Gitterträger,}$ wobei S' die Zerknickungsfestigkeit, n das Verhältniss der Länge zur kleinsten Breite und S die oben angenommene Bruchfestigkeit gegen Zug, vergrößert im Verhältniss von $\frac{5350}{4725}$ bedeutet.

Von diesen Werthen wurden $\frac{4}{10}$ als zulässige Beanspruchung angenommen.

In Wirklichkeit sind diese Grenzwerte nicht ganz erreicht, sondern für die zulässigen maximalen Beanspruchungen pro cm^2 folgende Werthe acceptirt worden:

- 1180 kg für die beiden Gurtungen
- 1100 kg für die Eckpfosten und Streben
- 975 kg für den Untergurt des Mittelträgers
- 944 kg für den Obergurt des Mittelträgers
- 630 kg für die Windkreuze im Untergurt
- 600 kg für alle andern Windkreuze.

Die Verbindung der einzelnen Constructionstheile in den Knotenpunkten führte zu theilweise sehr verwickelten Lösungen, welche nur durch Herstellung grosser Modelle festzustellen waren. Besonders complicirt gestaltete sich die Zusammenführung von 10 Constructionstheilen am Fusse der Pfeilerockpfosten.

Wie bereits oben angeführt, mussten die Rohrglieder beim Anschlusse in rechteckigen oder quadratischen Querschnitt übergeführt werden. Hierbei ist hervorzuheben, dass die sämtlichen Hohlräume durch Mannlöcher zugänglich sind, um die Nietung zu ermöglichen und den Anstrich erneuern zu können. Nach den Beobachtungen von Prof. Barkhausen tritt der Rost in der Nähe der Meeresoberfläche in bedeutend intensiverer Weise auf als gewöhnlich und ist es deshalb für den Bestand des Bauwerkes von grösster Wichtigkeit, dass alle Oberflächen immer wieder gereinigt und angestrichen werden können. Eine höhere Erhebung der Stahltheile über der Meeresoberfläche und die Errichtung von Steinpfeilern hätte diesen Uebelstand gehoben.

Den Längsveränderungen der Constructionstheile in Folge einer Wärmeschwankung von 39° C wurde durch die Beweglichkeit der Stahlthürme und der Endpunkte der Cantilever in folgender Weise Rechnung getragen.

Auf die Granitabdeckung der Steinfüsse sind 4 Stahlplatten von zusammen 100 mm Dicke in Cement gelegt, von denen die beiden untern 11,278 m lang und 5,385 m breit sind. Die zwei obern Platten haben grosse Ausschnitte von verschiedener Form, deren Mitte dem theoretischen Knotenmittel entspricht. Diese Grundplatten werden von einem 13 mm starken Blechrande umsäumt, welcher das Schmiermittel, das dazwischen gegossen wird, am seitlichen Abfließen verhindern soll. Dasselbe besteht aus dickflüssigem Rohpetroleum mit ganz feinen Gusseisenfeilspänen in etwa 3 mm dicker Lage. In die oben erwähnten Ausschnitte legen sich die Deckplatten der Pfeilerfüsse, so dass für die Dila-

tation überall der nöthige Spielraum vorhanden ist. Bei jedem Pfeiler ist ein Auflager fest, resp. um die Verticalaxe drehbar gemacht; bei diesem sind die Ausschnitte rund mit 3,658 m Durchmesser, entsprechend der Weite der Eckrohre. Die drei andern Auflager haben runde Ausschnitte mit rechteckigen Ansätzen, welche ausser der Drehung auch eine Längs- und Seitenverschiebung bis zu 51 mm zulassen.

Die Auflagerung der Cantilever auf den Endpfeilern der Zufahrtsbrücken ist so angeordnet, dass mittels eines Rollenlagers eine Längsverschiebung von 127 mm möglich ist. Eine Querverschiebung wird durch gussstählerne Bufferstücke verhindert, welche an einer verankerten Stahlplatte befestigt sind.

Die künstliche Belastung bis zu 2000 t als Gegengewicht des halben Mittelträgers und der Verkehrslast wird in einem besondern Blechkasten am Ende des Cantilevers angebracht.

Der Anschluss des Mittelträgers an die Cantilever wird so ausgeführt (Fig. 9 und 10), dass an allen 4 Punkten eine Drehung der Ersteren um eine senkrechte Axe in der Mitte des letzten Querträgers möglich ist. Eine solche Bewegung kann durch ungleichmässige Insolation der beiden Tragwände verursacht werden. Die beiden Auflager an den Enden des mittlern Cantilevers müssen ausserdem eine Längsverschiebung von 292 mm am Südende und 254 mm am Nordende, entsprechend den Constructionslängen vom festen Pfeilerfusse aus gemessen, gestatten. Eine seitliche Verschiebung der Träger gegen einander ist verhindert. Der mittlere Träger ist am Obergurte des Cantilevers aufgehängt, so dass die beiden Untergurten wegen der Dilatation einen Abstand von 305 mm haben. Die Eckpfosten der Cantilever und Mittelträger haben dreiseitig geschlossene kastenförmige Querschnitte, so dass sie sich in einander schieben können. In der Mitte der erstern befindet sich eine Pendelsäule, welche oben und unten in Kugelhappen ruht, die mit den letzten Querträgern verbunden sind.

Die **Fahrbahn** liegt in den Zufahrtsviaducten über den Trägern. Die Gurtungen sind trogartig ausgebildet und die obern Gurtungen dienen zugleich zur Aufnahme der äussern Geleise. Die innern Geleise ruhen ebenfalls in trogförmigen, schwächer dimensionirten Längsträgern. Diese Tröge sind im untern Theil mit Béton ausgestampft, auf welchem eine Längschwelle ruht. Die Schienen haben die Form von Brückenschienen und die Schienenoberkante liegt noch 45 mm unter der Trogkante, so dass dadurch eine Entgleisung auf der Brücke unmöglich wird.

Die Fahrbahnbrücke im Innern der Cantilever wird von den Knotenpunkten der Untergurtrohre, den Kreuzungspunkten des Fachwerkes und den Pfeilerrohren aus durch sehr kräftige Querjoche unterstützt.

Auf die Ausdehnung der Schienenstränge musste ebenfalls bei den Endpunkten der Mittelträger Bedacht genommen werden und es konnten bei den beträchtlichen Längsänderungen die gewöhnlichen Compensationsvorrichtungen hier nicht in Anwendung kommen.

An den genannten Stellen sind die Brückenschienen durch doppelfüssige Weichenzungenschienen ersetzt, welche auf einer Eisenplatte aufruhen. Die letzte Schiene des Mittelträgers ist in der Neigung von 1:63 gegen aussen abgelenkt und es legt sich an die innere Kante derselben eine spitz zugehobelte Weichenzunge, welche sich in der Länge so verschieben kann, dass sie immer fest an die Leitschiene angeedrückt wird. Die Trogenden sind bei mittlerer Temperatur 305 mm von einander entfernt, entsprechend der Entfernung der letzten Querträger.

Ueber die Ausführung dieses kühnen Bauwerkes, welches im October des Jahres beendigt sein soll, insbesondere die **Montirung des Stahlüberbaues** entnehmen wir den von uns benützten Beschreibungen, dass am südlichen Ufer des Firth of Forth eine etwa 20 Hectaren umfassende Werkstättenanlage errichtet wurde, welche mit der Zweiglinie Ratho-South Queensferry durch Geleise verbunden ist. (Dieser

Werkplatz ist durch ein die Fluthöhe um 2 m überragendes Pfahlgerüste mit dem Queensferry Pfeiler in Verbindung gesetzt; die Materialien werden auf einer schiefen Seilebene gegen diesen Punkt befördert. Auf dem andern Ufer, sowie auf der Insel befinden sich nur untergeordnete bauliche Anlagen. Die Anzahl der Arbeiter variirt zwischen 3000 bis 4000.

Die Aufstellung der Stahlconstruction bedingte bei der gänzlichen Vermeidung von Gerüsten ganz eigenartige Massnahmen, wobei jeder Constructionstheil nie anders beansprucht wurde, als bei der vollendeten Baute. Bekanntlich ist diess bei andern Montirungsarten, beispielsweise dem Ueberschieben eines continuirlichen Trägers nicht der Fall.

Nachdem die Unterlagsplatten für die Pfeilerrohre gelegt waren, erfolgte der Aufbau derselben vorerst bis auf eine Höhe von 15 m über der Mauerfläche, indem diese die maximale Höhe war, welche mit den Krannen erreicht werden konnte. Von hier aus vollzog sich der Weiterbau mit Hilfe einer beweglichen Plattform zur Aufnahme der Krannen, Nietmaschinen etc. Dieselbe bestand aus 4 Längsgitterträgern, welche paarweise die Röhren umfassen und gestützt wurden

von 2 kastenförmigen querliegenden Blechträgern, welche im Innern der Röhren mittelst hydraulischen Pressen successive gehoben werden konnten. Unterhalb dieser Plattform wurde jeweilen die Nietung der Rohre mittelst käfigartiger, ebenfalls verschieblicher Vorrichtungen zur Aufnahme der Nietmaschinen vollendet. Die vier Längsträger, auf volle Pfeilerhöhe gebracht, bildeten zugleich die Verbindungsglieder der Obergurte.

Die Montirung der Cantilever bedingt wieder besondere bauliche Anlagen für den Untergurt, Obergurt und die Füllungsglieder.

Der Untergurt wurde auf dem festen Lande mittelst eines Gerüstes, auf der Meeresseite von den Knotenpunkten aus frei mittelst Dampfkranen auf eine Länge von 4,9 m vorgebaut. Dann wurde derselbe mit einem trapezförmigen Gitterkäfige umgeben, welcher aus zwei Theilen besteht und einen Krannen trägt, der successive den hintern an den vordern Theil ansetzt. Unter den vollendeten Rohrtheilen wird ein Laufsteg angehängt, welcher den Käfig von den Pfeilern aus zugänglich macht. Wenn das Rohr bis senkrecht unterhalb des ersten Kreuzungspunktes der Streben vorgekragt war, musste es, um gefährlichen Einbiegungen vorzubeugen, von den Pfeilern aus mittelst eines provisorischen Hängebandes (Z in Fig. 1) unterstützt werden. Bis zur definitiven Ausrichtung einer Rohrlänge von einem Knotenpunkt zum andern auf die plangemässe Höhenlage, welche von den Streben aus mittelst hydraulischen Pressen erfolgte, wurden die einzelnen Theile nur mit Bolzen in den Nietlöchern verbunden.

Nun musste mit dem Bau des Obergurtes und der ersten Streben begonnen werden. Der Erstere wurde ebenfalls auf eine beträchtliche Länge von den Pfeilerknoten aus frei vorgebaut, nimmt dann ein Rahmenwerk auf, welches beide Gurten mit Querrahmen umfasst und mittelst Klauen auf denselben gleitet. Unter den Gurten trägt dasselbe eine hölzerne Bühne von 13,7 m Breite und 23,2 m Länge in der Gurtneigung; über denselben ist eine horizontale Bühne für die Krannen. Diese Vorrichtung ist in dem Bilde auf Seite 33 ersichtlich, welches den Stand der Montirung des nördlichen Cantilevers im Herbst vorigen Jahres darstellt.

Die erste Unterstützung des Obergurtes geschieht von dem Knotenpunkte des ersten Strebenpaares aus, welcher seinerseits durch eine Verticale abgesteift ist. Dieses Glied

wird vorübergehend bis zum Obergurte verlängert, bis letzterer mit der ersten Druckstrebe vereinigt ist. In der beigegebenen Abbildung ist diese Verbindung im zweiten Fache ersichtlich.

Nach Regulirung des ersten Knotenpunktes der untern Gurtrohre erfolgt die Nietung desselben mit Hilfe eines oben angeführten Nietkäfigs; alle Nietlöcher wurden in den Werkstätten vorgebohrt.

Der Mittelträger hat eine Länge von 106,678 m, an den Enden und in der Mitte eine Höhe von resp. 12,192 m und 15,240 m. Die Gurtungen sind kastenförmig und durch zweifaches Gitterwerk verbunden. Von den Knotenpunkten der Letztern gehen analog wie in den Hauptträgern, Verticale abwärts zur Befestigung der Querträger, welche 6,668 m von einander entfernt sind. Die Aufstellung dieser Träger soll ebenfalls von den Enden aus geschehen.

Um eine zu grosse Einsenkung in der Brückenmitte zu vermeiden, welche bei dieser Aufstellungsart unvermeidlich wäre, werden die Endpfosten etwas stärker als plan-

gemäss geneigt und der Zwischenraum beider

Endquerträger durch Keile verspannt. Als ein weiteres Mittel zur Hebung der Untergurtmitte nach Vollendung der Montage wird vorgesehen, dieselbe durch starke Zugbänder mit den Köpfen der Endpfosten zu verbinden; bei der nächtlichen Abkühlung verkürzen sich die Bänder und bewirken eine Hebung der Brückenmitte. H. S.

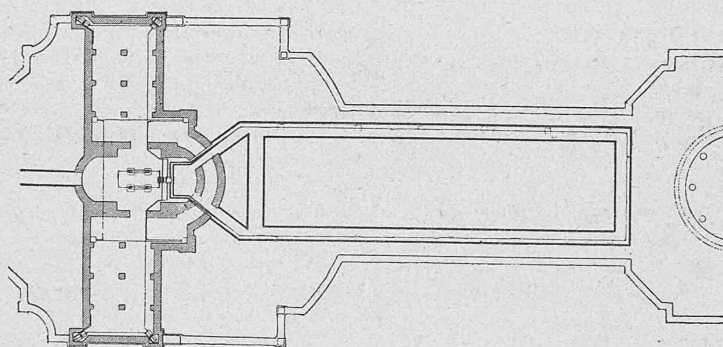


Fig. 13. Dessous de la fontaine ornée et du canal.

Les fontaines lumineuses à l'Exposition de 1889.

(Fin.)

Moyens employés pour dissimuler aux spectateurs la source de lumière. Pour que l'illusion soit complète, il est indispensable de masquer complètement le foyer lumineux à l'œil du spectateur.

Pour les jets paraboliques, cela ne présentait aucune difficulté, puisque l'eau et la lumière sortent ensemble du même ajutage, et que l'apparence est complètement celle d'un jet de feu.

Il n'en est pas de même pour les jets verticaux, car si les spectateurs apercevaient les dalles lumineuses placées au-dessous des ajutages, ils se rendraient immédiatement compte du procédé. On évite totalement cet inconvénient en disposant autour des dalles de verre une sorte d'écran dont la hauteur est calculée de manière à défilier entièrement la dalle par rapport à l'œil du spectateur, quelque position qu'il occupe (fig. 9).

A Glasgow, l'écran se composait d'énormes massifs de maçonnerie, dont l'aspect lourd et disgracieux rappelait celui des gabions employés par le Génie militaire; on a cherché à Paris quelque chose de plus agréable à la vue, plus en harmonie avec l'ensemble, et c'est aux roseaux en fonte déjà employés pour dissimuler les ajutages dans les pièces d'eau des promenades publiques, qu'on a donné la préférence.

Ces roseaux figurent des touffes isolées autour de chacune des petites gerbes de la rivière; il y en aura toute une série, formant comme un grand massif, au centre du bassin octogonal, afin de masquer la tuyauterie compliquée disposée sur le fond, ainsi que les dixsept dalles de la grande gerbe.

Manœuvre des verres de couleur. — Comme nous l'avons déjà dit, la manœuvre des verres de couleur est obtenue mécaniquement et par groupes, ce qui ne contribue pas peu à compléter l'illusion.

Pour la grande gerbe d'une part et pour tous les