Zeitschrift: IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH Kongressbericht

Band: 2 (1936)

Artikel: Der Bau der Kincardine-on-Forth Brücke

Autor: Edkins, R.G. / Brown, J.G.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-2743

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: 14.12.2025

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

VII a 2

Der Bau der Kincardine-on-Forth Brücke.

La construction du pont Kincardine-on-Forth.

The Construction of the Kincardine-on-Forth Bridge.

R. G. Edkins,
B.A., A.M. Inst. C.E.

Bemerkungen über den mechanischen Teil der Drehbrücke.

Remarques sur la partie mécanique du pont tournant.

Spezial Note on the Mechanical Part of the Swing Bridge Span.

J. G. Brown,
M. Inst. C. E.

Einführung.

Die Kincardine-on-Forth Brücke wurde für den doppelten Zweck der Verbesserung der Verhältnisse im Straßenverkehr Schottlands und der Arbeitsbeschaffung für die in der Nähe der Baustelle gelegenen Gegenden gebaut.

Der ursprüngliche Entwurf wurde im Jahre 1931 durch ein vereinigtes Brückenkomitee aufgestellt, das aus den County Councils von Fife, Clackmannan und Stirling, sowie den Borough Councils der Städte Dunfermline und Falkirk gebildet wurde.

Das vereinigte Brückenkomitee ernannte Sir Alexander Gibb und Teilhaber als technische Ratgeber und beratende Ingenieure.

Die Brücke wurde entworfen, es wurden Angebote eingeholt und eine Baufirma ausgewählt. Diese Firma, die Cleveland Bridge & Engineering Company, Limited, aus Darlington, begann die Arbeiten anfangs Januar 1934.

Von dem Straßenfond des Transportministeriums wurde eine Garantie auf eine finanzielle Beihilfe bis zu 75 % der Gesamtbaukosten erhalten, und der Rest wurde durch die örtlichen Behörden beigetragen.

Auswahl der Baustelle.

Die Wahl von Kincardine als Stelle für die Überbrückung des Firth of Forth ist natürlich. Die beiden Ufer kommen an dieser Stelle nahe zusammen und bilden die zweite Enge des Flusses oberhalb der berühmten Firth Eisenbahnbrücke, welche 13 Meilen östlich von Queensferry an der Stelle liegt, die man als die erste Enge bezeichnet.

Kincardine liegt 10 Meilen stromabwärts und östlich von Stirling, dessen Schloß die Straße zu den nordöstlichen Städten Perth, Dundee, Aberdeen und

Inverness seit historischen Zeiten bewacht, und über dessen Brücke gegenwärtig die östlichste Straßenkreuzung des Forth führt.

Die neue Brücke wird also eine weitere kürzere Route zu diesen Stätten bilden, die gegenwärtige Neigung zu Verkehrsstockungen in der Stadt Stirling beseitigen und außerdem eine bedeutend kürzere und direkte Straßenverbindung zwischen dem Industriegebiet von Glasgow und der verhältnismäßig isolierten Halbinsel von East Fife herstellen, welche von den Meeresarmen des Firth of Forth im Süden und dem Firth of Tay im Norden zangenförmig umschlossen wird.

Außerdem wird sie wesentlich mit der halbstündigen Wagenfähre in Queensferry im Wettbewerb stehen, da sie eine zusätzliche Kreuzung vorsieht, die 20 Meilen näher Edinburgh liegt als die andere gegenwärtige Route durch Stirling.

Diese Fähre ist die lebenswichtige Verbindung, welche Edinburgh mit den zu dem Norden von Schottland führenden Hauptstraßen verbindet.

Schließlich gab den Ausschlag, daß die Brücke in Kincardine nur ungefähr $^1/_{10}$ jener Kosten erfordert, die für eine kürzlich vorgeschlagene Straßenbrücke an der ersten Enge in der Nähe der großen Eisenbahnbrücke in Queensferry geschätzt waren.

Bedingungen, welche den Entwurf beeinflussen.

Die Durchfahrt seefahrender Schiffe von und zu dem Hafen von Alloa, welcher 4 Meilen oberhalb der Brücke liegt, macht es notwendig, eine sehr breite, bewegliche Öffnung vorzusehen. Für den weniger bedeutenden Flußverkehr mußte in der Mitte der Brücke eine lichte Höhe von 30 Fuß über Hochwasser vorgesehen werden.

Die Fahrbahn der Brücke steigt dementsprechend von den verhältnismäßig niedrig liegenden beidseitigen Ufern in einer Kurve an, deren höchster Punkt in der Mitte der Drehbrücke liegt.

Das südliche Ufer ist so flach, daß die Ufer des Flusses nicht ausgesprochen in Erscheinung treten. Der Fluß weist Gezeiten mit 18 Fuß Schwankung auf und ist zur Hochwasserzeit 3000 Fuß breit, wobei die Niederungen des südlichen Ufers bis zu einer Tiefe von 2 Fuß überflutet sind. Bei normalem Hochwasser liegen die Niederungen der „Saltings", die mit rauhem Gras bedeckt sind, trocken, und die Breite des Flusses beträgt nun ungefähr 1800 Fuß.

Die zusätzlichen 1200 Fuß Breite der „Saltings" bestehen aus einer 50 Fuß dicken Schlammschicht, die die Kies- und Tonschichten des Flußbettes überlagert. Dadurch wurde es notwendig, eine beträchtliche Länge an Zufahrtsbrücken herzustellen. Mehr als 500 Fuß der „Saltings" werden durch eine Zufahrtsrampe bewältigt. Infolge des Ansteigens der Fahrbahn und der Unmöglichkeit, auf diesem weichen Grund hohe Dämme zu schütten, mußte die Reststrecke der „Saltings" tiefer fundiert werden, und die Brückenkonstruktionen beginnen schon hier in einer Entfernung von ungefähr 700 Fuß von dem normalen Hochwasserspiegel.

Am nördlichen Ufer reicht die Brücke ebenfalls über die Hochwasserlinie hinaus, da die am Ufer liegende London & North Eastern Eisenbahn überbrückt

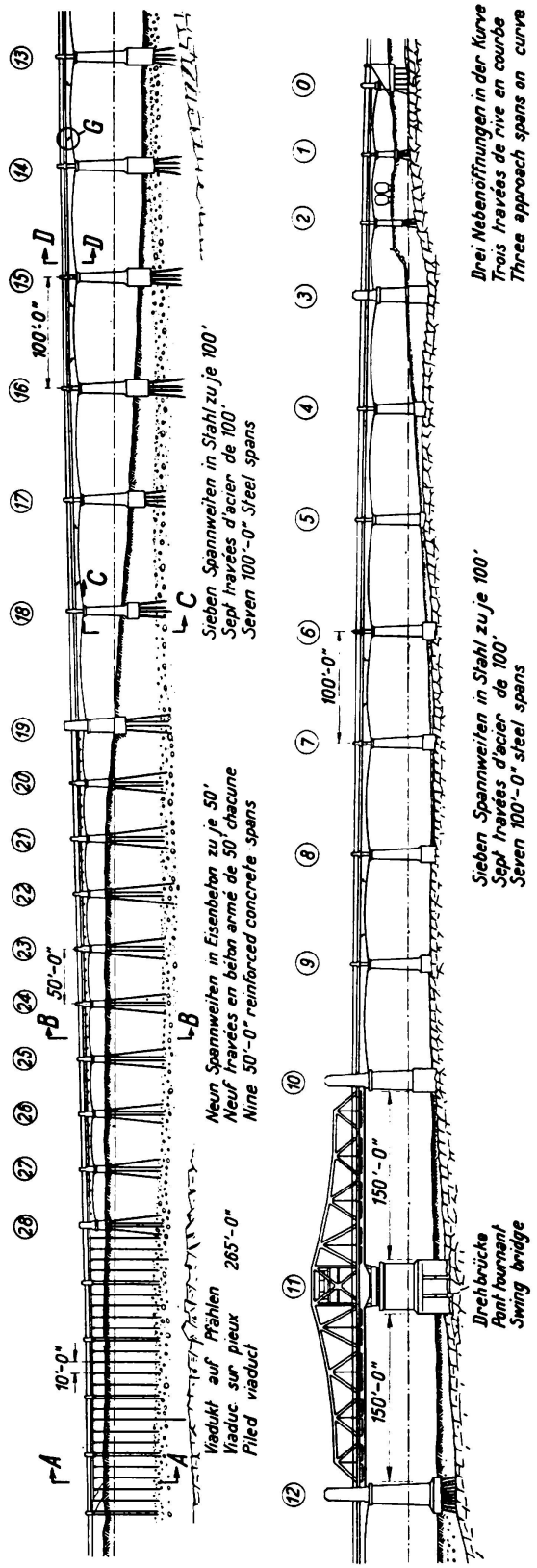


Fig. 1.

werden mußte. Infolge der zusätzlichen Brückenlängen an beiden Ufern erhält die Brücke zwischen den Endwiderlagern eine Gesamtlänge von 2692 Fuß.

Die geologischen Verhältnisse an der Baustelle sind interessant. Der Sandstein-

felsen aus der Kohlezeit gibt in geringer Tiefe ausgezeichnete Bedingungen für die Gründung, allerdings nur von der nördlichen Böschung aus bis zur halben Flußbreite, ungefähr bis zum Pfeiler der Drehbrücke. Von hier an südwärts fällt der Sandstein in größere Tiefen. Bei einer der ersten Bohrungen, die ungefähr in der Mitte der „Saltings" angesetzt wurden, konnte der Felsen 45 Fuß tiefer, als er an der Nordseite des Flusses normal liegt, noch nicht erreicht werden.

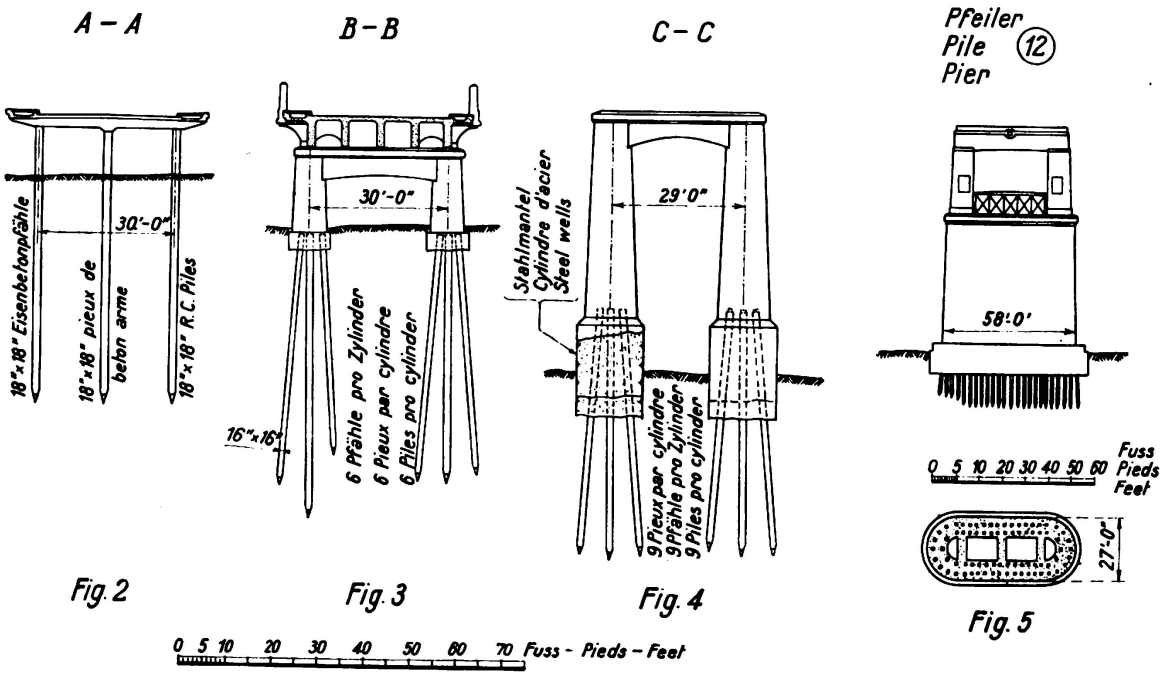
Es sind Anzeichen dafür vorhanden, daß eine wichtige geologische Störung längs der Mittellinie des Flußes verläuft, und daß ein vor-eiszeitliches Flußtal vorhanden ist. Von verschiedenen Seiten wird vermutet, daß dieses eine große Tiefe aufweist. Eine oder beide dieser Annahmen können als Erklärung für den Wechsel in der Höhenlage des Felsens dienen.

Was auch der Grund für dieses plötzliche Abfallen des Felsens sein mag, auf jeden Fall mußte die südliche Brückenhälfte irgendwie oberhalb des Felsens gegründet werden.

Dies Problem wurde wesentlich dadurch vereinfacht, daß bei den Versuchsbohrungen für die ersten Untersuchungen eine Schicht von erhärtetem Kies gefunden wurde, welche durch ihre Mächtigkeit und Höhenlage die Vermutung aufdrängt, daß sie in verhältnismäßig naher Zeit (geologisch gesprochen) das Flußbett bildete. Unterhalb dieser Kiesschicht bzw. oberhalb des Felsens liegt Ton, der Geschiebe und Steine einschließt.

Allgemeine Beschreibung der Brücke und Zufahrtsrampen.

Wie aus der beiliegenden Zeichnung zu ersehen ist, besteht die Brücke aus vielen Einzelöffnungen, für deren Überbrückung verschiedene Konstruktionsarten angewandt wurden.



Die Brücke trägt eine 30 Fuß breite Fahrbahn und 2 fünf Fuß breite Gehwege.

In der Mitte liegt die Drehbrücke, welche das interessanteste Bauwerk darstellt. Zu beiden Seiten schließen symmetrisch 14 eisenerne Brücken von 100 Fuß

Spannweite an, und zwar 7 an jeder Seite. Diese Brücken kann man als den Hauptteil der eisernen Brücke bezeichnen, und sie überspannen die normale Flußbreite.

Auf der Südseite wurde infolge der schon beschriebenen „Saltings" eine längere Brückenrampe in Eisenbeton notwendig.

Diese Brückenrampe besteht aus 9 Spannweiten von je 50 Fuß und einem 260 Fuß langen Viadukt, der von Pfeilern und Jochen getragen wird.

An der Nordrampe sind drei Spannweiten für die Kreuzung mit der Bahnlinie notwendig, welche aus eisernen Brücken von je 62 Fuß 6 Zoll Spannweite bestehen und in einer horizontalen Kurve liegen, weil die Zufahrt und die Böschung auf der wirtschaftlichsten Linie durch das Stadtgebiet von Kincardine geführt werden mußte.

Gründung der Pfeiler.

Bei der Einzelbeschreibung der Brückenkonstruktion soll die Drehbrücke mit ihren drei Pfeilern für sich behandelt werden, da sie den bedeutendsten und interessantesten Teil der Brücke darstellt. Der restliche Teil der Brücke unterteilt sich in folgende fünf Stücke:

1. Die Spannweiten der Zufahrt und die Pfeiler an der Nordseite.
2. Die 100 Fuß Spannweiten in Eisen und die zugehörigen Brückenpfeiler an der Nordseite.
3. Der entsprechende Abschnitt mit 100 Fuß Spannweiten in Eisen an der Südseite.
4. Die 50 Fuß Spannweiten in Eisenbeton an der Südseite.
5. Das Viadukt in Eisenbeton an der Südseite.

Diese Abschnitte werden in der angegebenen Reihenfolge beschrieben, wobei zur Vermeidung von Wiederholungen gleichzeitig ihre Konstruktion erläutert wird.

1. Die 3 Öffnungen der Zufahrtsrampe am Nordende der Brücke sind auf dem Widerlager, auf den Pfeilern Nr. 1 und 2 und auf dem Pfeiler 3 aufgelagert. Das Widerlager ist mit seinen Flügelmauern in Beton gebaut und wird von einer Pfahlgründung getragen, die aus 36 Eisenbetonpfählen von 16×16 Zoll Querschnitt und 20 Fuß Länge besteht. Diese Pfähle wurden bis auf den Fels gerammt. Die Pfeiler Nr. 1 und 2 sind ebenfalls Betonpfeiler, haben rechteckigen Querschnitt und werden von je 20 Pfählen gleicher Ausführung wie beim Widerlager getragen. Die Baudurchführung wies keine Besonderheiten auf. Die Pfähle wurden gerammt bis sie hart aufsaßen, so daß die Beobachtung der letzten Setzung pro Schlag nicht notwendig war.

2. Die sieben Spannweiten von je 100 Fuß in Eisenkonstruktion werden von den Pfeilern Nr. 3—10 getragen. Der Pfeiler 3 hat eine besondere Form mit größeren Abmessungen als die übrigen Pfeiler erhalten und trägt einen Pfeileraufbau, der aus architektonischen Gründen zu beiden Seiten der Brücke angeordnet wurde, um den Beginn der Brücke besser zu bezeichnen. Der Pfeiler besteht aus zwei breiten kegelförmigen Säulen von kreisrundem Querschnitt, die am Kopf durch einen schweren Eisenbeton-Querbalken verbunden sind. Er wurde genau wie die anderen Pfeiler in offener Gründung auf den Fels gesetzt.

Die Pfeiler 4—9 sind alle ähnlich ausgeführt und stehen auf zylindrischen Sockeln von 14 Fuß 6 Zoll Durchmesser (Fig. 4 und 21). Die Sockel liegen gerade etwas unter Niedrigwasser, und die Pfeiler erheben sich von dieser Kote in Form von zwei kegelförmigen Säulen und haben am Kopf einen Durchmesser von 8 Fuß. An dieser Stelle werden sie durch einen 4 Fuß 6 Zoll breiten und schwer bewehrten Eisenbetonbalken verbunden, der zusammen mit den Säulen ein monolitisches Joch bildet. Die Säulen haben eine 9 Zoll dicke Außenhaut in fetter Mischung 1 : 1 : 2 mit einer schwachen Bewehrung von senkrechten und ringförmigen Eisen erhalten. Die senkrechten Eisen sind bis zum Sockel hinab geführt. Innerhalb der 9 Zoll dicken Außenhaut wurde der Kern in Mischung 1 : 3 : 6 betoniert (Fig. 4).

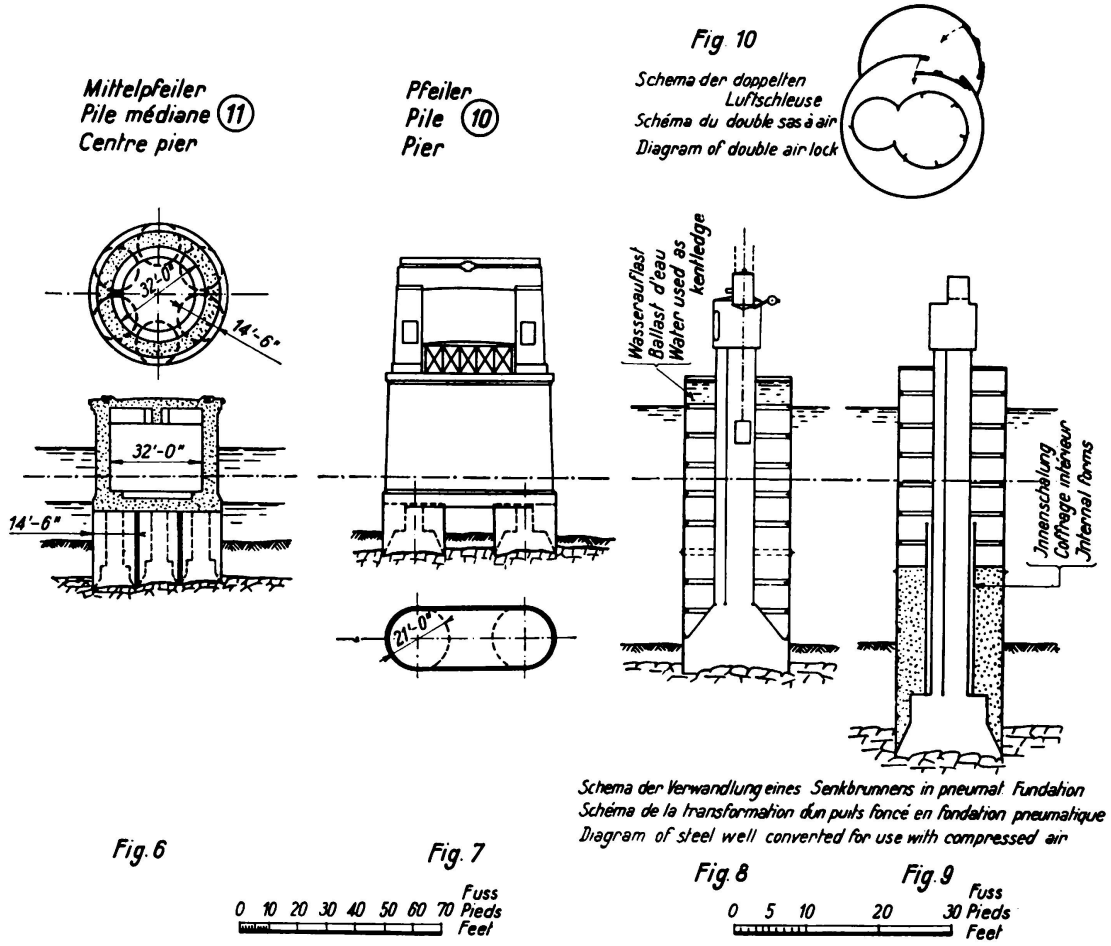
Die Pfeiler 3, 4 und 5 wurden in offenen Brunnen auf den Fels gegründet. Die Brunnen wurden aus Zylindern von 14 Fuß 6 Zoll Durchmesser und 4 Fuß Höhe hergestellt, die aus $^5/_{16}$ Zoll starken Blechen bestanden und mit Ringen aus Winkeleisen ausgesteift waren. Sie wurden bis auf das Flußbett abgesenkt und reichten noch über den Hochwasserspiegel hinaus. Es waren genügend Zylinder bereitgestellt, um immer an 2 Pfeilern gleichzeitig arbeiten zu können. Sie wurden abgesenkt, bis die Schneide, die aus starkem doppelten Blech bestand, den Fels erreichte, wobei der Aushub innerhalb der Brunnen mittels Greifer erfolgte. Dann wurde das Wasser ausgepumpt und die Oberfläche des Felsens durch Handarbeit soweit entfernt, bis eine ebene Aufstandsfläche auf gesundem Felsen erzielt wurde. Nun wurden die Brunnen bis zur Höhe des Niedrigwasserspiegels mit Beton voll ausgefüllt und bildeten so die Sockel für die Zylinder. Auf dieser Betonfläche wurden Stahlschalungen aufgestellt, und der Bau der kegelförmigen Säulen wurde nun bis über den Hochwasserspiegel hinaus weiter geführt. Soweit der Oberteil der Brunnen oberhalb des mit Beton voll ausgefüllten Teiles lag, wurde er wieder abmontiert und an einem anderen Pfeiler wieder verwendet. Dazu mußte nur ein verbolzter Stoß wieder geöffnet werden. Das Entfernen der Bolzen wurde bei ruhigem Wasser durch einen Taucher vorgenommen. Dieser Arbeitsvorgang bewährte sich an den Pfeilern Nr. 3, 4 und 5 sehr gut. Je weiter man aber in den Fluß hinauskam, nahm die Stärke der über dem Felsen liegenden weichen Schicht immer mehr ab und erreichte ein Minimum von 2 Fuß. Bei Pfeiler Nr. 6 ist sie noch ungefähr 5 Fuß stark und man glaubte, daß das Material nicht genügend standfest und undurchlässig sein würde, um bei leergepumptem Brunnen nicht unter dem Außendruck des Wassers einen Durchbruch unterhalb der Schneide und damit eine Überflutung befürchten zu müssen. Deshalb wurde beschlossen, die restlichen Pfeiler mit Hilfe von Druckluft zu gründen, und die notwendigen Einrichtungen hierfür wurden auf die Baustelle gebracht.

Diese Methode stellte einen schnellen und gleichmäßigen Baufortschritt sicher und gab die Möglichkeit zu einer sorgfältigen Besichtigung und Reinigung der Gründungsflächen, bevor der Beton eingebracht wurde.

Die schon beschriebenen Brunnen wurden mit einem Schachtrohr versehen, das am oberen Ende eine doppelte Luftschleuse trug. Die Decke der Arbeitskammer wurde durch die Anbringung eines im wesentlichen kegelförmigen Blechmantels gebildet, welcher den Übergang von dem Durchmesser des Brunnens zu dem

Schachtrohr formte. Die Doppelschleuse enthielt eine senkrecht stehende Materialschleuse und eine Horizontalschleuse für die Mannschaft (Fig. 8, 10 und 16).

Der über dem kegelförmigen Mantelstück liegende Teil des Brunnens wurde bis über den Wasserspiegel des Flusses hinaus mit Wasser angefüllt, um zur Verhinderung des Aufschwimmens ein genügendes Gegengewicht zu erhalten.



Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit wurde die kegelförmige Decke der Arbeitskammer nachher wieder ausgebaut und bei einem anderen Pfeiler verwendet, so daß nur zwei solcher Decken notwendig waren. Hierbei war es erforderlich, den Wasserballast abzulassen und durch ungefähr 200 t festen Ballast solange zu ersetzen, bis der eingebrachte Beton selbst schwer genug war, um jede Möglichkeit des Aufschwimmens zu verhindern.

Wenn der erste Beton auf der Felssohle aufgebracht wurde, stand der Brunnen immer noch unter Druckluft. 3—4 Rohre wurden unter der Schneide durchgeführt und im Innern des Brunnens bis über die Oberfläche der ersten Betonschicht hochgeführt. Damit wurde verhindert, daß die Luft während der Betonierung durch den Beton durchblasen und so poröse Stellen erzeugen konnte. Diese Rohre wurden mit aufgeschraubten Kappen geschlossen, sobald der Beton abgebunden hatte. Dann wurde der Druck abgelassen und der kegelförmige Mantel der Schleusenkraft und die Schleuse entfernt. Die weiteren Arbeiten an den Säulen konnten nun genau wie bei einem offenen Brunnen vorgenommen werden.

3. Die Pfeiler 10, 11 und 12 sind besonders große Pfeiler, welche die Drehbrücke tragen. Sie werden später noch beschrieben. Die Pfeiler Nr. 13 bis 18 sind gleich wie die oben beschriebenen Pfeiler Nr. 4 bis 9. Sie sind jedoch nicht wie diese auf Fels gegründet, sondern auf einer Kiesschicht, welche unter der Schlammbank des südlichen Flußufers liegt. Die Gründung besteht aus 18 Pfählen, das sind 9 in jedem Zylinder. Davon stehen 4 senkrecht und 5 sind im Verhältnis 1 : 12 leicht geneigt, 3 rechtwinkelig zu der Brückenachse und 2 in der Brückenachse. Der Pfeiler 19 ist, abgesehen von der Gründung, welche den Pfeilern 13 bis 18 entspricht, gleich wie Pfeiler Nr. 3.

Diese Pfähle haben einen quadratischen Querschnitt 18×18 Zoll und ihre Länge schwankt zwischen 45 bis 65 Fuß. Der größte Teil ist jedoch 55 Fuß lang. Sie sind mit Gußeisen-Schuhen versehen und mit 4 ungestoßenen Rundeisen von $1^1/_2$ Zoll Durchmesser mit $^3/_{16}$ Zoll Bügel in 9 Zoll Abstand bewehrt. Der Bügelabstand ist zur Verhinderung der Zerstörung des Pfahles am Kopf und an der Spitze verringert.

Die Arbeitsvorgänge spielten sich in folgender Reihenfolge ab. Zuerst wurden die schon im Vorstehenden beschriebenen Brunnen bis zu einer Tiefe von 10 Fuß unterhalb des Flußbettes abgesenkt, wobei für den Aushub ein Greifer verwendet wurde. Dann wurden die Pfähle im Innern des Brunnens gerammt.

Bei einigen Zylindern ergaben sich beim Aushub bei der Durchfahrung des Kieses Schwierigkeiten, da große Steine angetroffen wurden. Die Rammung der Pfähle wurde mit einer fahrbaren Ramme vorgenommen, die auf einem Gerüst über den Brunnen sowohl längsbeweglich wie auch drehbar war. Es wurde ein einfach wirkender Dampfhammer mit einem 5 t Bär verwendet.

Die Pfähle wurden solange gerammt, bis die Eindringung bei sechs Schlägen geringer als 1 Zoll war. Die Fallhöhe des Bärs wurde der Pfahllänge angepaßt. Bei einem 65 Fuß Pfahl betrug sie 4′ 3″ und bei einem 55 Fuß Pfahl 3′ 9″ (siehe Fig. 17).

Die Rammung war im allgemeinen am Anfang ziemlich leicht, bis plötzlich die harte Schicht erreicht wurde. Die Pfähle konnten dann nur noch um ein geringes weiter gerammt werden. Nur bei wenigen Pfählen folgte dem Erreichen der harten Schicht eine Periode gleichmäßiger Eindringung, die allmählich langsamer wurde, bis die notwendige Standfestigkeit erreicht war.

Die Köpfe der Pfähle wurden während der Rammung durch eine gußeiserne Schlaghaube mit einer Packung von Papier oder Säcken geschützt. Der Bär schlug auf einen ungefähr 24 Zoll hohen Schlagkopf aus Hartholz, der in die Oberseite der Schlaghaube eingepaßt war.

In der Nähe der Flußmitte wurde es bei der Rammung der Pfähle innerhalb der Brunnen notwendig, den Wasserspiegel innerhalb der Zylinder mit Pumpen abzusenken. Dabei mußte der 10 Fuß starke Erdpfropfen, der durch die Eindringung des Brunnens um dasselbe entstanden war, den äußeren Wasserdruck aufnehmen.

Unterhalb des Niedrigwasserspiegels war ein Schieber angeordnet. Dieser diente dazu, die Zeit, für welche der Zylinder unter Druck stehen mußte, auf das zur Rammung der Pfähle und deren Loslösung vom Rammgerüst unbedingt notwendige Minimum herabzudrücken. Für diesen letzteren Vorgang mußte der Wasserspiegel 5 Fuß unterhalb des Pfahlkopfes liegen.

Die größte Druckhöhe, welcher ein Brunnen ausgesetzt wurde, betrug 15 Fuß und war durch die Lage eines Pfahlkopfes bedingt. Sobald die Rammung beendet war, wurde ein 3—4 Fuß dicker Betonpfropfen unter Wasser auf den Grund des Brunnens eingebracht. Dabei wurden Spezial-Kübel mit gelenkigem Boden verwendet, bei denen sich der Boden öffnete, sobald der Kübel nach dem Aufsetzen auf den Boden wieder angehoben wurde (System Panchard).

Sobald dieser Pfropfen abgebunden hatte, wurde der Brunnen ausgepumpt, und die Arbeiter entfernten bis zur Freilegung von gesundem Material den Zement- und Schlammbrei, der die Oberfläche des Pfropfens in einer Dicke von ungefähr 12 Zoll bedeckte. Dann wurde der Beton ebenso wie bei den anderen Pfeilern eingebracht. Die Pfähle wurden aufgerauht, um sie griffiger zu machen, und schließlich in solcher Höhe gekappt, daß sie noch 3 Fuß in die kegelförmigen Säulen reichten (Fig. 4).

Die Beschreibung dieser Pfeiler wäre nicht vollständig, wenn man nicht die genieteten Eisenschalungen erwähnen würde, die zu ihrer Herstellung dienten. Diese Schalungen bestanden nur aus einer Stahlhaut und waren der Betonoberfläche der kegelförmigen Säulen und des gewölbten Querbalkens angepaßt. Durch Winkeleisen waren sie genügend ausgesteift, um die Last des frischen Betons ohne äußere Abstützung aufzunehmen. Sie waren verhältnismäßig leicht und fest. Die verschiedenen Teilstücke wurden über Flansche zusammengeschraubt und konnten ohne Zuhilfenahme von Facharbeitern aufgerichtet und wieder entfernt werden.

Bei den übrigen Bauteilen wurde an Stelle der Nietung die Schweißung verwendet, wobei man noch leichtere Konstruktionen erhielt und außerdem die Eindrücke der Nietköpfe in der Betonfläche vermied (Fig. 21).

4. Die 9 Spannweiten von 50 Fuß in Eisenbeton werden durch Pfeiler getragen, die in jeder Beziehung den oben beschriebenen, entsprechen, jedoch kleinere Abmessungen aufweisen (Fig. 3).

Der Durchmesser der kegelförmigen Säulen beträgt 6 Fuß statt 8 Fuß. Sie werden durch 6 statt 9 Pfähle getragen, deren Querschnitt 16 × 16 Zoll statt 18 × 18 Zoll beträgt. Diese Pfähle drangen tiefer ein. Dies rührte jedoch nur von der größeren Mächtigkeit der Schlammschicht her, die mit dem Ansteigen des Ufers zunahm.

Sämtliche Gründungen lagen über dem Hochwasserspiegel, so daß sich Schwierigkeiten bei ihrer Herstellung nur in Bezug auf die Zugänglichkeit ergaben, worüber später noch gesprochen wird. Auch hier wurden Stahlschalungen verwendet, die ähnlich den für die Pfeiler verwendeten waren.

5. Der Rest der Brücke besteht an der Südseite aus einem Eisenbeton-Viadukt. Die Eisenbetonplatte der Fahrbahn ist 10 Zoll und jene der Fußwege 6 Zoll dick.

Diese Platte wird im Abstand von 10 Fuß durch Querbalken unterstützt, welche von 3 Pfählen getragen werden. Ein Pfahl steht in der Mitte und je ein weiterer Pfahl unterhalb der Flucht der beidseitigen Bordsteine. Der den Fußweg unterstützende Teil des Balkens kragt aus (Fig. 2).

Es wurden 18 × 18 Zoll starke und 65 Fuß lange Eisenbetonpfähle verwendet. Diese Pfähle weisen die größte Eindringungstiefe von allen an der Brücke gerammten Pfählen auf. Ihre Spitze steht 50 Fuß unterhalb der Grundfläche.

Der an die Zufahrtsrampe angrenzende Teil des Viaduktes ist durch diagonale

und horizontale Eisenbeton-Glieder verstrebt, welche monolitisch an fünf Stellen mit den Pfählen verbunden sind.

Baurüstungen.

Schon im vorstehenden wurde von der Schwierigkeit gesprochen, einen Zugang zu der Brückenlinie zu schaffen. Hier entstand für die Unternehmer eine Frage von größter Bedeutung, und zwar besonders hinsichtlich der Arbeiten auf der Südseite.

Beim Entwurf der Baustelleneinrichtung mußte die Wahl zwischen einer schwimmenden Anlage oder dem Bau einer Hilfsrüstung getroffen werden, auf welcher die Krane und übrigen Maschinen ruhen und fahren konnten. Die Unternehmer entschlossen sich in sehr weitsichtiger Weise und unter Berücksichtigung der großen Gezeiten-Strömungen des Flusses zur Ausführung einer Hilfsbrücke, welche sich über die ganze Brückenlänge erstreckte. Nur bei der Drehbrücke wurde eine Öffnung vorgesehen, um während der Bauzeit eine Durchfahrt für die Schiffahrt zu schaffen. Aber ganz unabhängig von den Entscheidungen, welche für die anderen Stellen getroffen werden mußten, war es an der Südseite notwendig, Gerüste vorzusehen, und zwar sowohl als Zugang über die „Saltings" als auch längs der Brückenlinie als Arbeitsplattform. Nach verschiedenen Versuchen entschloß man sich, von der Verwendung von Pfählen abzusehen, da diese für die Lasten der Kräne und der Kranbahn sehr lang und damit unwirtschaftlich geworden wären. Man verwandte eine Decke eng zusammenliegender Schwellen. Ein verzimmertes Obergerüst verteilte die Lasten auf die grasbewachsene Kruste der „Saltings" soweit, daß deren Tragfähigkeit nicht überschritten wurde. Dieses Verfahren bewährte sich und wurde auch für die zu beiden Seiten der Brücke liegende doppelte Fahrbahn für das Rammgerüst angewendet.

Für die Rüstung im Fluß wurden Holzpfähle mit einer schweren Winkeleisenverstrebung verwendet. Für die Fahrbahn des Kranes wurden 18 Träger verlegt (Fig. 21).

Brücken in Eisen und Eisenbeton.

Im Folgenden werden, an der Nordseite beginnend, Entwurf und Ausführung der Brückenträger in Eisenbeton und Eisen beschrieben.

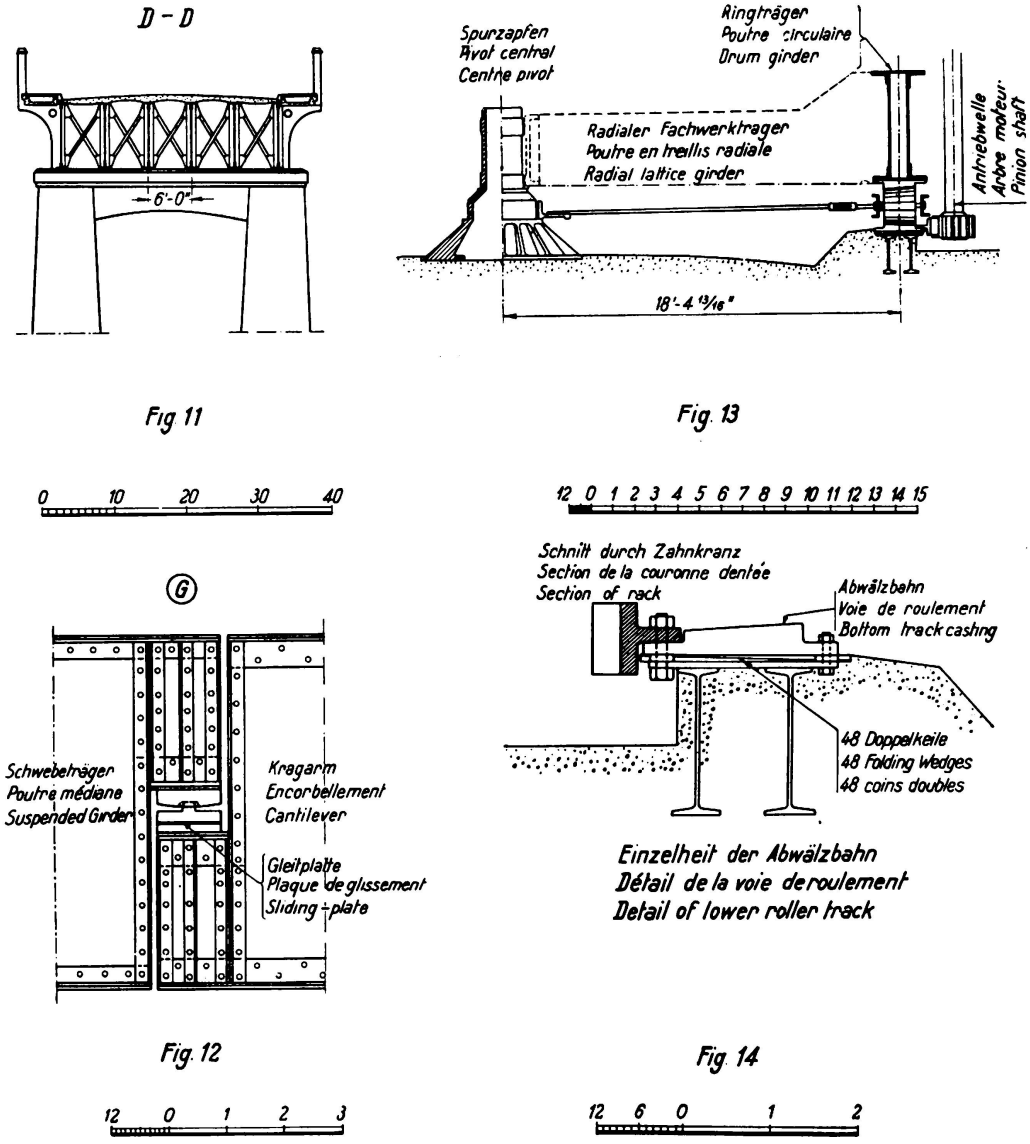
1. Die Zufahrtsbrücken an der Nordseite des Flusses an der Kreuzung mit der Eisenbahn bestehen aus durchlaufenden, in der Kurve liegenden Stahlträgern. Die Kontinuität wurde mit voller Absicht verwendet, um eine gewölbte Form der Träger in Übereinstimmung mit dem Hauptteil der Brücke zu erhalten.

Im einzelnen sind sie ähnlich ausgeführt wie bei den 100-Fuß-Spannweiten, welche im Folgenden noch beschrieben werden. Natürlich sind ihre Abmessungen im Verhältnis zu der Spannweite kleiner gewählt.

Ein wesentlicher Unterschied wird jedoch dadurch bedingt, daß infolge der Kurve die Fahrbahn eine mäßige Überhöhung und gleichzeitige Verbreiterung erhalten mußte. Wenn das notwendige Gefälle nur durch eine einseitige Verdickung des Betons der Fahrbahn hergestellt worden wäre, hätte sich eine unnötige Erhöhung des Eigengewichts ergeben. Dies wurde vermieden, indem die Träger selbst von der Innenseite der Kurve nach der Außenseite allmählich

hochgestelzt wurden. Dabei ergab sich allerdings eine ziemlich verwickelte Ausführung für die Stahlkonstruktion, und zwar besonders, was die Querverbände und die Gehweg-Konsolen betrifft.

2. und 3. Die 100-Fuß-Öffnungen sind als Gerber-Träger ausgeführt, wobei jeweils ein Träger mit zwei Kragarmen mit einem Einhängeträger abwechselt (Fig. 1 und 12).



Dieses Trägersystem hat den Vorteil, daß die Größt-Momente an den Stützen auftreten, also an jener Stelle, wo die größte Konstruktionshöhe vorhanden ist. Ebenso wird auch die Anordnung von Dehnungsfugen erleichtert. Die gewölbte Form der Träger gibt der Brücke ein gefälliges Aussehen.

Über jeder Öffnung liegen 6 Träger im Abstand von 6 Fuß. Sie bestehen aus einem Stegblech mit Winkeleisen-Aussteifung und Flanschen aus zwei Winkeln und Gurtplatten. Ihre Höhe beträgt 9 Fuß 1 Zoll über der Stütze und 5 Fuß 2 Zoll in Feldmitte. Unter sich sind die Träger mit einem Querverband aus Winkeleisen und durch die Buckelplatten der Fahrbahn verbunden. Diese Platten sind zu beiden Seiten der Fahrbahn nach unten und in der Mitte der

Fahrbahn nach oben gewölbt, um die Überhöhung im Aufbeton der Fahrbahn auszugleichen.

Die Gehwege bestehen aus Blechen mit Betonbelag und ruhen auf Konsolen, die aus den Stegen der außen liegenden Träger auskragen.

Die Träger ruhen auf den Pfeilern abwechselnd mit festen und beweglichen Lagern. Die beweglichen Lager enthalten an dem Träger befestigte Stahlplatten, die auf Platten aus Phosphorbronze gleiten. Die letzteren sind an gußeisernen Lagerplatten befestigt, welche durch Ankerbolzen mit den Pfeilern verbunden sind.

Die Lager der kurzen Einhängeträger ruhen auf ausgesteiften Konsolen auf den Enden der Kragarme (Fig. 12). Das eine Ende gleitet und das andere Ende wird in seiner Lage durch eine Verkröpfung festgehalten, die in eine trogförmige Aussparung eingreift, sodaß die Verdrehbarkeit gewährleistet ist.

Fig. 15.

Gesamtansicht der Brücke, Blick flußaufwärts und nach Westen, gesehen vom nördlichen Kraftleitungsmast. Die Leitungen sind im Bilde sichtbar.

Durch diese Anordnung der Träger wurde die Montage sehr erleichtert. Die Eisenkonstruktion wurde mit Eisenbahn in folgenden genormten drei Einheiten angeliefert:

I. Stücke, die aus dem Kragarm und einem gleich großen Stück des Trägers bestanden, sodaß sie die Form einer doppelten Auskragung über der Stütze annahmen.

II. Das zugehörige Mittelstück des durchlaufenden Trägers.

III. Die vollständigen Einhängeträger.

Die doppelten Kragarme I wurden in einem Stück durch zwei Lokomotiv-Krane von 5 t Tragkraft an beiden Enden aufgehoben, auf dem Hilfsgerüst auf der stromabwärts liegenden Seite der Brücke hinausgefahren und auf die Pfeiler abgesetzt (Fig. 16).

Auf dem Nachbarpfeiler wurde ein zweites Stück eines doppelten Kragarmes aufgesetzt und dann das Mittelstück II des durchlaufenden Trägers eingesetzt und mit den zwei Kragarmen verbunden. Die Enden der Kragarme mußten

vorher natürlich vorübergehend durch Rüstung im Gleichgewicht gehalten werden.

Wenn so ein durchlaufender Träger mit zwei Kragarmen aufgerichtet war, wurde in gleicher Weise ein zweiter Träger montiert. Die beiden wurden miteinander verstrebt und dann auf einer Rollbahn nach der Oberstromseite des Pfeilers verschoben. Das Gewicht von zwei solchen Trägern betrug ungefähr 55 t.

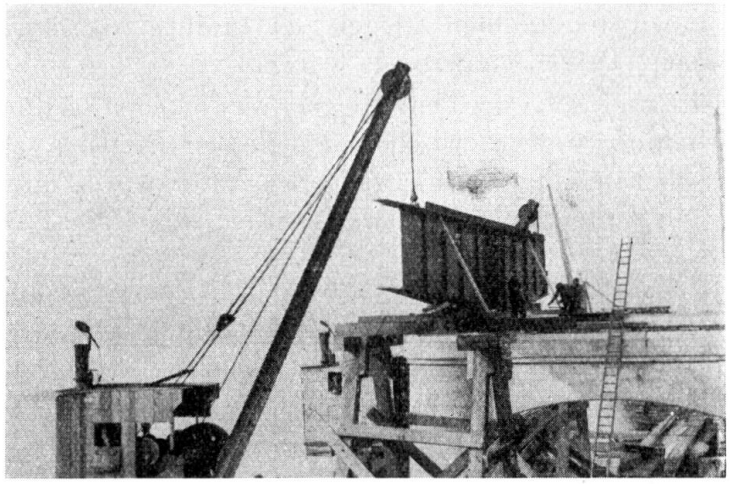


Fig. 16.
Einbau der Stahlträger der 100 Fuß Spannweite, 5-Tonnen Lokomotivkrane beim Absetzen der Kragarme auf den Pfeiler.

Die andern Trägerpaare wurden in gleicher Weise aufgestellt und mit Hilfe von Flaschenzügen an ihre endgültige Stelle verschoben. Damit waren nun sechs Träger über einem Paar von Pfeilern fertig aufgestellt, und nun kam das nächste Paar von Pfeilern dran, und als auch hier die sechs Träger aufgerichtet waren, blieb nur noch übrig, die verbleibende Öffnung durch die Einhängeträger III zu schließen. Auch diese Träger wurden auf der Unterstromseite aufgestellt und einzeln auf einer durchgehend angebrachten Gleitschiene, die auf den Enden der Kragarme aufruhte, verschoben.

Auf der Baustelle mußten nur die Stöße zwischen dem Mittelteil und den Kragarmen des kontinuierlichen Trägers genietet werden und außerdem noch die Querverbände und die Abdeckung mit Buckelplatten.

Die gesamte Stahlkonstruktion der Südseite wurde mit Eisenbahn an der Nordseite angeliefert und auf Pontons über den Fluß gebracht.

Vor Versand der Eisenkonstruktion wurden im Werk der Unternehmer in Darlington drei ganze Spannweiten, zwei Träger breit, zusammengesetzt, um die Güte der Ausführung zu überprüfen. Auf der Baustelle konnten dann auch alle vierzehn Spannweiten ohne die geringste Schwierigkeit zusammengesetzt werden.

4. Die Eisenbeton-Konstruktion der Spannweiten an der Zugangsrampe der Südseite (Fig. 3) besteht aus fünf Eisenbetonträgern im Abstand von 7′6″, die über zwei Mittel-Stützen durchlaufen und Dehnungsfugen im Abstand von 150′ aufweisen. Die Beweglichkeit wird durch Stahlplatten gewährleistet, die auf einem Lager aus Phosphorbronze gleiten.

Bei den Auflagern auf den beiden Zwischenstüzen wurde der monolithische

Zusammenhang nur durch die Einlage einer Bitumen-Schicht zwischen der Oberseite des Pfeilers und der Unterseite der Balken unterbrochen. Die Träger haben ähnlich wie die Eisenträger eine gewölbte Form und sind über den Stützen 5′8″ hoch. Die Balken sind in einem Guß mit der 10″ dicken Fahrbahnplatte verbunden. Die Gehwege kragen aus und werden durch Konsolen unterstützt, um ein ähnliches Aussehen wie bei den eisernen Trägern zu erhalten. Die Gehwegkonsolen kragen von den Außenträgern aus, erhalten jedoch noch eine Verstärkung durch einen abgewölbten Riegel, der in ihrer Verlängerung zwischen die beiden äußersten Träger eingezogen wurde.

Diese Konsolen und abgewölbten Riegel verwickelten natürlich die Konstruktion der Schalung, welche zwischen den beiden Pfeilern selbsttragend sein mußte. Jede Zwischenstützung vorübergehender Natur würde auf den „Saltings" infolge des weichen Untergrundes unzweckmäßig, wenn nicht sogar gefährlich gewesen sein.

Es wurden eiserne Schalungen verwendet. Die Seitenschalungen des Balkens waren genügend stark, um das gesamte Betongewicht des Trägers einschließlich der Fahrbahn über die volle Spannweite zu tragen. Es ist leicht einzusehen, daß die großen Ausschnitte, die in den Seitenschalungen der Außenträger für die Konsolen und Zwischenriegel nötig waren, die Festigkeit der Schalungen wesentlich herabminderten.

Bei der Ausführung wurden die Träger einzeln bis zur Unterseite der Platte betoniert. Über den Stützen wurden größere Fugen freigelassen, um Rißbildungen durch Schwindspannungen zu vermeiden. Gleichzeitig wurde auf diese Weise erreicht, daß die Träger als freiaufliegende Balken wirkten, da die für die Kontinuität über den Stützen notwendigen Zugeisen in diesem Bauzustand noch nicht einbetoniert waren. Die Schalungen wurden nach sieben Tagen entfernt und auf dem Balken selbst die Schalung für die Fahrbahnplatte aufgestellt, die sich auf Bolzen abstützte, welche eigens zu diesem Zweck im Beton eingelassen waren.

Durch diese Arbeitsmethode wurde auch die gegenseitige Absteifung der Balkenschalungen vereinfacht.

Sobald die Fahrbahnplatte betoniert war, wurden die Fugen geschlossen.

5. Die auf Pfählen ruhende Konstruktion des Viadukts wurde schon im Vorstehenden beschrieben. Es ist hier nur noch zu bemerken, daß die Schalung für diesen Teil ganz aus Holz bestand und daß alle 50′ Dehnungsfugen vorgesehen sind. Die Dehnungsfugen wurden durch Verbreiterung jedes fünften Querbalkens hergestellt, der dann auf fünf Pfähle abgestützt wurde statt auf drei. Das freie Ende der Fahrbahnplatte ruhte auf der halben Breite des verbreiterten Balkens auf. Die freie Auflagerung wurde durch einen Bitumenaufstrich auf der Lagerfläche erzielt. Solche Fugen arbeiten sehr leicht.

Pfeiler der Drehbrücke.

Die 3 Pfeiler der großen Drehbrücke ergaben die bedeutendsten Gründungsarbeiten der Brücke und erforderten demzufolge auch den größten Zeitaufwand. Sie werden im Folgenden in derselben Reihenfolge beschrieben, in der sie erbaut wurden.

Mittelpfeiler.

Der mittlere Pfeiler für den Drehzapfen wurde als ein hohler Zylinder von 42′ Durchmesser entworfen, der im Schutz einer Spundwand in offener Baugrube auf Fels gegründet werden sollte. Für die Spundwand wurde das Profil *Larssen* Nr. 2 verwendet. Die verschiedenen Versuche, die Baugrube trocken zu legen, schlugen fehl. Die Schuld daran trugen große Steine, die in der 8′ starken den Fels überlagernden Schicht von Kies und Ton enthalten waren, und andererseits die an dem unteren Ende der Spundwand aufgetretenen Verbiegungen und Verdrehungen, welche die Schlösser öffneten. Als schließlich beim letzten Versuch die Sohle teilweise freigelegt wurde, erfolgte bei Hochwasser unterhalb der Spundwand ein heftiger Durchbruch. Dabei wurde das Material auf der einen Seite der Wand weggespült, wodurch die Haltung am Fuß fehlte, so daß auf eine Länge von 15′ die Spundwand bis zur Höhe der untersten Absteifung eingedrückt werden konnte. Daraufhin wurde der Versuch, in offener Baugrube zu arbeiten, aufgegeben und die Gründung des Pfeilers neu entworfen.

Nun wurden sechs Brunnen von 14′ 6″ Durchmesser vorgesehen, die mit Hilfe von Preßluft auf den Fels abzusenken waren. Ihre Achsen waren auf einem Kreis von 32′ Durchmesser angeordnet (Fig. 6).

Die Brunnen wurden voll mit Beton ausgefüllt. Etwas unterhalb der Höhe des Wasserspiegels wurden sie durch eine schwere kreisförmige Betonplatte von 4′ 0″ Stärke, die stark bewehrt war, miteinander verbunden. Auf dieser Platte wurden die 5′ 0″ dicken Wände des zylindrischen Pfeilers in Übereinstimmung mit den ursprünglichen Plänen errichtet. Bei der Beschreibung der Gründung für die Pfeiler der 100′ Spannweiten wurde schon von der Schwierigkeit gesprochen, den nötigen Ballast für die Druckluftgründung aufzubringen. In dem vorliegenden Falle wurden die sechs Brunnen innerhalb der Eisenschalung mit Beton voll ausgefüllt, um diese Schwierigkeit zu beseitigen. Die Schneiden waren an drei Paar Flaschenzügen mit Hilfe von gelochten Bändern aufgehängt und im gleichen Maße, wie die Last des Zylinders und damit die Belastung des Baugerüstes bei der Betonierung zunahm, wurden die Brunnen an den Bändern tiefer gehängt, um eine teilweise Unterstützung durch den Auftrieb zu erhalten (Fig. 23). Schließlich wurden die Brunnen auf den Grund aufgesetzt, und nun konnte man mit dem Aushub unter Druckluft beginnen. Sobald ein genügend festes Aufsitzen der Brunnen erzielt war, wurde die Aufhängung entfernt.

Mittelpfeiler.

Alle diese Brunnen wurden ohne besonderen Aufenthalt abgesenkt. In einer Tiefe von 4′ 0″ unterhalb der Oberfläche des Sandsteinfelsens ergab sich eine sehr gute Gründung. Jetzt wurde die Arbeitskammer und das Schachtrohr mit Beton ausgefüllt und mit den Arbeiten an der Betonplatte begonnen.

Diese Platte lag, wie schon im Vorstehenden erwähnt, unterhalb des Wasserspiegels. Die Umspundung war jedoch genügend wasserdicht, um ein mäßiges Absenken des Wasserspiegels zu ermöglichen.

Für die weiteren Arbeiten ergaben sich keine besonderen Schwierigkeiten, und der Pfeiler wurde bis oberhalb des Hochwasserspiegels fertiggestellt.

Am Kopf des Hohlpfeilers liegen vier Gitterträger von 6′ 6″ Höhe, die in Form

eines Kreuzes radial angeordnet und in Beton eingebettet sind. Diese Träger tragen den Drehzapfen der Drehbrücke, während das Gewicht der Brücke über einem Spurkranz auf den Umfassungswänden lastet.

Die Abdeckplatte des Pfeilers besteht aus Eisenbeton und wird durch die radialen Träger gestützt. Der gesamte Beton dieses Pfeilers ist im Verhältnis $1^1/_2 : 2 : 4$ gemischt.

Zum Schutz der Drehbrücke wurde an diesem Pfeiler ein Leitwerk in Holz erbaut, das eine Gesamtlänge von 420′ hat und etwas breiter ist als die Eisenkonstruktion der Brücke. Dieses Leitwerk erstreckt sich nach Oberstrom und Unterstrom und soll für die nicht unter voller Kontrolle stehenden Schiffe als Hilfe beim Passieren der Brücke dienen und gleichzeitig die Eisenkonstruktion der geöffneten Brücke im Falle eines Fehlers bei der Bedienung schützen. Für dieses Leitwerk wurde als Holz Britisch-Kolumbien-Pine verwendet. Es enthält 212 Pfähle mit $14 \times 14''$ Querschnitt und 50—60′ Länge. Das Holz wurde bei einem Druck von 180 Pfund pro Quadratzoll mit Kreosot imprägniert. Um einen möglichst guten Schutz des Holzes zu erhalten, wurde die Oberfläche der schweren Hölzer vor der Tränkung eingeschnitten.

Diese Einschnitte erfolgten im Abstand von 1″ und waren $^1/_4''$ tief und 8″ lang. Sie sind so abgestuft, daß die Einschnitte einer Linie immer zwischen zwei Einschnitte der anderen Linie fallen.

Im Mittel wurden vier Pfund Kreosot pro Kubikfuß eingepreßt, wobei durch die Einschnitte eine Verbesserung der Tränkung von 0,72 Pfund pro Quadratfuß ausgesetzter Oberfläche erzielt wurde.

Das Oberstrom- und Unterstromende des Leitwerkes ist in radialer Richtung sehr stark verstrebt, um Schiffsstöße aufnehmen zu können. Die übrigen Teile des Leitwerkes sind innerhalb der vertikalen Ebene verzangt.

Für die Befestigungen wurden die Eisenbolzen, Unterlagscheiben, Platten und Klammern galvanisiert. Dieses Leitwerk wurde bei der Montage der Eisenkonstruktion der Drehbrücke mitbenutzt (Fig. 22).

Pfeiler für das Auflager am Nordende.

Nach den Erfahrungen die bei dem Mittelpfeiler gemacht wurden, entschloß man sich, bei dem Pfeiler für das nördliche Auflager keinen Versuch zu einer Gründung in offener Baugrube zu machen. Dieser Pfeiler war ursprünglich ähnlich wie der Mittelpfeiler mit einer Stampfbetongründung vorgesehen und wurde nach ähnlichen Grundsätzen neu entworfen (Fig. 7).

Hierbei wurden zwei breite Zylinder von 21′ Durchmesser verwendet, die unter Benutzung von Druckluft in gleicher Weise wie an den übrigen Stellen abgesenkt wurden. Die beiden Brunnen wurden infolge ihrer größeren Abmessungen statt an drei an vier Paar Flaschenzügen aufgehängt und innerhalb von Stahlschalungen betoniert.

Genau wie bei dem Mittelpfeiler werden die beiden Zylinder am Kopf durch eine schwere Platte abgeschlossen, die etwas unterhalb des Wasserspiegels liegt, wobei durch eine Umspundung eine gewisse Absenkung des Wasserspiegels ermöglicht wurde. Oberhalb der zylindrischen Gründung und der Abschlußplatte

besteht der Pfeiler aus einem hohlen Rechteck mit halbkreisförmigen Abrundungen. Die Wände sind unten 5′ 0″ dick und nehmen nach oben bis auf 3′ 6″ ab. Der Innenraum ist durch 3′ 6″ dicke Querwände in zwei rechteckige und zwei halbkreisförmige Abteilungen unterteilt.

Der Kopf des Pfeilers ist durch eine Eisenbetonplatte abgedeckt und trägt die Auflager für die 100′ weitgespannten Träger sowie die Lager der Rollbahn, auf welcher die zwei Keile zum Anheben der Enden der Drehbrücke sitzen. Außerdem ist hier noch die Aussparung für den Schlußbolzen der Drehbrücke und die elektrische Ausrüstung angebracht, welche für die Schlußeinstellung der Brücke und für die Ausrichtung der Fahrbahn benötigt wird.

Oberhalb der Höhe der Fahrbahn trägt dieser Pfeiler ein Portal, das zum Teil von architektonischer und ornamentaler Bedeutung ist, andererseits aber auch die Tore trägt, die beim Öffnen der Brücke für die Durchfahrt der Schiffe in horizontaler Lage quer über die Straße und die Gehwege abgesenkt werden. Wenn die Straße offen ist, werden die Tore hochgehoben und verschwinden innerhalb des Portalträgers.

Pfeiler für das Auflager an der Südseite.

Der dritte Pfeiler der Drehbrücke war ebenfalls für eine Gründung in offener Baugrube entworfen. Auf Grund der Unsicherheit in der Höhenlage des gesunden Baugrundes, die auf Grund der Probebohrungen nicht genügend geklärt werden konnte, und da gleichzeitig der Fels außergewöhnlich tief liegt, entschied man sich für eine Pfahlgründung.

Es wurden 76 Pfähle längs des Umfanges des Pfeilers in zwei Reihen unterhalb der Wandungen geschlagen. Die äußere Reihe bestand aus 42 Pfählen und wurde in der Neigung 1 : 10 gerammt, die übrigen Pfähle stehen senkrecht. Sämtliche Pfähle haben einen Querschnitt von 18 × 18″ und sind 40′ lang. Sie sind bis zum festen Aufsitzen auf eine Tiefe von 20′ unterhalb des Flußbettes gerammt.

Diese Gründung wurde mehr oder weniger in gleicher Weise wie die kleinen Gründungen für die 100′ Spannweiten behandelt.

Die Umspundung wurde bis zu einer Eindringtiefe von 15′ gerammt und nachher der Aushub mit Hilfe eines Greifers bis zu 10′ Tiefe unterhalb Flußbett vorgenommen.

Jetzt wurden die Pfähle gerammt und dann eine 3′ starke Betonschicht unter Wasser eingebracht. Sobald sie erhärtet war, wurde die Baugrube leer gepumpt, so daß die weiteren Arbeiten innerhalb der Umschließung vorgenommen werden konnten (Fig. 5).

Die Grundfläche des Pfeilers besteht aus einer sechs Fuß starken Betonschicht. Oberhalb dieser Kote hat der Aufbau dieselbe Form wie beim Pfeiler für das nördliche Auflager.

Die Pfähle wurden aufgerauht oder gekappt, und ihre Eisen in dem Beton der Pfeilerwandungen eingebettet.

Bei allen drei erwähnten Pfeilern bestand die Außenschalung aus einer geschweißten Eisenkonstruktion, welche sich besonders an den runden Gesimsen am Kopf des Pfeilers bewährte (Fig. 21).

Die Drehbrücke.

Die Eisenkonstruktion der Drehbrücke hat eine Länge von 364′ zwischen den Enden und überbrückt in geschlossenem Zustand zwei Öffnungen von je 150′ lichter Weite.

Die 30′ breite Fahrbahn liegt etwas höher als der Untergurt zwischen den zwei Hauptträgern vom Warren-Typ. Die Gehwege ruhen auf Konsolen, welche von den senkrechten Pfosten des Trägers auskragen. Das Gewicht der Brücke beträgt 1600 t. Sie ruht über 60 Gußstahlrollen auf einer Laufbahn aus Gußstahl, welche von der Wand des Mittelpfeilers getragen wird.

Um auf der Unterseite zu beginnen, soll zuerst die Laufbahn beschrieben werden.

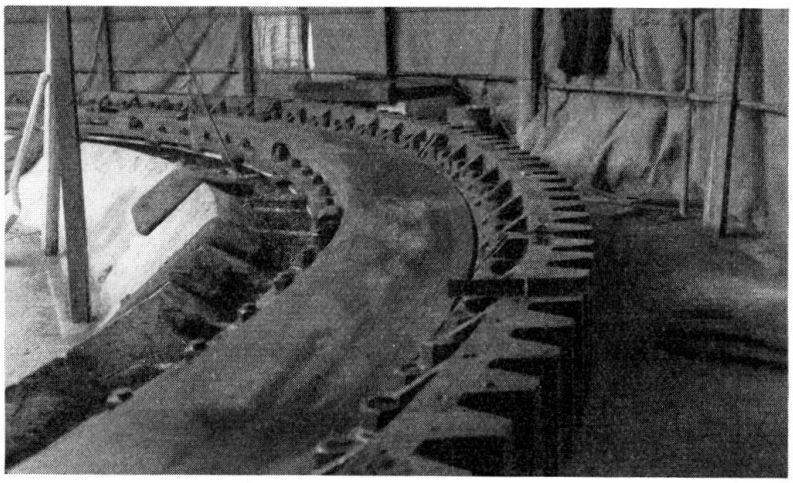


Fig. 17.

Drehbrücke. Untere Rollenlaufbahn-Gußstücke aufgeschraubt mit angeschraubtem Zahnkranz.

Die Unterstützung dieser Laufbahn besteht aus einem kreisförmigen Kastenträger, der aus zwei 20″ hohen Trägern mit einer $^7/_8$″ dicken Deckplatte besteht. Auf diese Bettung wurden die Gußstahlstücke der Rollbahn verlegt. Zwischen der Gründungsplatte und den Gußstücken der Rollbahn wurden 48 Paar bearbeiteter Eisenkeile eingeschoben, um eine genaue Ausrichtung der Höhenlage vornehmen zu können. Diese Keile lagen auf einer horizontalen Fläche auf. Die Gußstahlstücke wurden verlegt und wurden hinsichtlich der radialen Neigung und der Höhenlage längs des Umfanges bis zu einer Genauigkeit von $^1/_{64}$″ auf Hilfskeilen ausgerichtet. Durch Verwendung eines $^4/_{1000}$″ Fühlers zwischen den Keilen und ihren oberen und unteren Lagerflächen wurden diese in Bezug auf den genauen Anzug überprüft, damit die richtige Neigung der Fahrbahn sichergestellt war. Nachdem jeglicher Fehler in dem Anzug beseitigt war, wurden die Keile wiederum versetzt.

Nachdem nun die Höhenlage längs des Umfangs endgültig soweit eingerichtet war, als es der erreichbare Grad der Genauigkeit zuließ, wurden Gußstücke, Keile und Fundamentplatte gleichzeitig durchbohrt und mit Schraubenbolzen miteinander verbunden (Fig. 14).

Der Zwischenraum zwischen den Keilen wurde dann mit einem trockenen Mörtel in Mischung 1 : 1 fest verstopft.

Nun wurde der Zahnkranz auf die Gußstücke der Fahrbahn aufgeschraubt und die Rollen aus Gußeisen zusammengestellt. Diese waren in einem U-förmigen Gehäuse zu je fünf Rollen zusammengebaut, und jede zweite Rolle ist mit einer Spurstange versehen, die zu dem Mittellager führt und am Drehzapfen auf einer bearbeiteten Lagerfläche läuft.

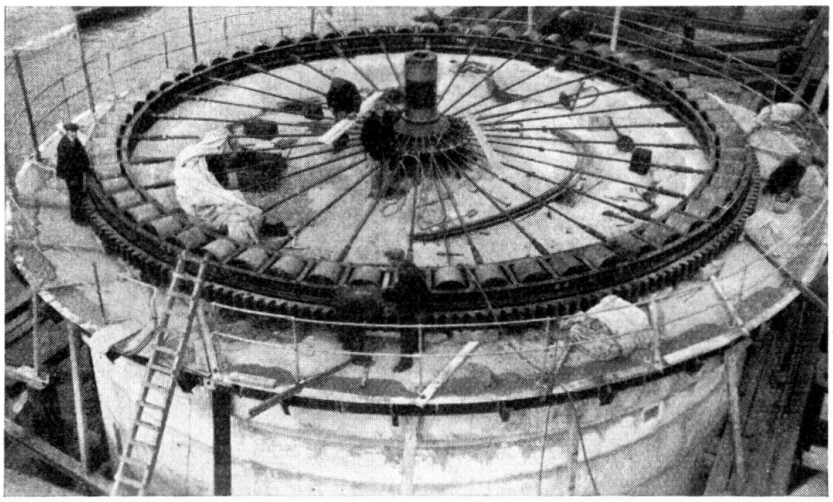


Fig. 18.
Drehbrücke. Drehzapfen, radiale Führungen, Gußstahlrollen und angeschraubter Zahnkranz auf Mittelpfeiler Nr. 11.

Die obere Fahrbahn der Rollen besteht aus gleichen Gußstücken wie die untere Fahrbahn, die sich auf die Rollen auflegen. Ein sehr steifer, 5′ hoher kastenförmiger Ringbalken wurde dann darauf abgesenkt (Fig. 19, s. auch Fig. 17 und 18).

Dieser Ringbalken soll die Last der Brücke möglichst gleichmäßig auf die Rollen übertragen (Fig. 19). Die Gußstücke der oberen Fahrbahn wurden durch Einführungen dünner Packungen seinem Unterflansch so gut angepaßt, daß ein $^{4}/_{1000}''$ Fühler an keiner Stelle mehr zwischen eine Rolle und die obere Laufbahn eingeführt werden konnte.

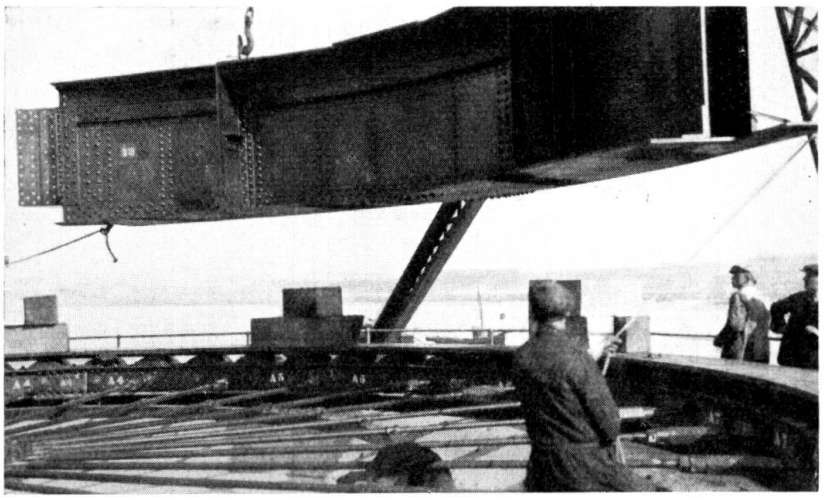


Fig. 19.
Drehbrücke. Der Trommelträger wird auf die obere Rollenführung abgesetzt.

Der Ringbalken und die Oberkonstruktion wurden für diese Prüfung in verschiedene Stellungen gebracht.

Der Ringbalken ist radial mit dem Drehzapfen der Brücke durch Gitterträger verbunden, welche an den Gußstücken mit Bolzen angeschlossen sind und oben und unten am Drehzapfen auf zwei bearbeiteten Flächen laufen (Fig. 13).

Diese Gitterträger tragen den Boden des Maschinenraumes und die Last der Maschinen. Der Ringträger wird durch die Brücke an acht Stellen belastet. Diese acht Stellen werden durch die Auflager von vier sehr hohen Trägern gebildet. Jeder Träger hat zwei Lager. Es handelt sich dabei um die Hauptverteilungsbalken, die als 8′ 4″ hohe Kastenträger in einem Stück mit dem Untergurt hergestellt sind, und um zwei Haupt-Querträger, welche als versteifte Vollwandträger mit 11′ 0″ Höhe quer über die Brücke reichen. Der Zwischenraum zwischen den durch diese vier Träger gebildeten Wänden wird als Maschinenhaus verwendet.

Die Hauptträger der Brücke sind normal konstruiert. Der Obergurt und Untergurt hat Kasten-Querschnitt, wobei jeweils mindestens eine Seite mit offener Vergitterung ausgeführt wurde. Die Diagonalen haben einen H-Querschnitt, der aus einem Stegblech und vier ungleichseitigen Winkeln besteht. Die Pfosten haben Doppel T-Querschnitt. Sämtliche Querschnitte sind 22″ hoch. Die Fahrbahn wird durch 20″ hohe Träger getragen, die im Abstand von 5′ in der Längsrichtung angeordnet sind und sich alle 20′ 3″ auf Querträger von 5′ Höhe abstützen.

Die Abdeckung besteht in ähnlicher Weise wie bei den 100′ Spannweiten aus Buckelblechen, die eine Betondecke tragen.

Bei der Drehbrücke wurde der Beton in bestimmten Abständen durch gelenkige Fugen unterbrochen, welche mit Bitumen ausgefüllt und durch einen gewölbten Kupferstreifen gedichtet wurden. Die beiden Obergurte sind durch leichte Gitterträger mit einem dreieckförmigen Querverband verbunden. In der Mitte der Brücke ist zwischen den beiden Gurten das Bedienungshäuschen angebracht, von dem aus die Drehung der Brücke kontrolliert wird.

Maschinenausrüstung.

Die Brücke wird elektrisch bewegt und kontrolliert.

Die Drehung der Brücke erfolgt durch Doppel-Triebräder, die auf einen Zahnkranz wirken, der auf dem Pfeiler befestigt, also ruhend ist. Die zwei Triebräder laufen in Lagern, die an der Brücke befestigt sind und drehen sich also auch mit. Sie werden durch zwei $9^1/_2$″ dicke senkrechte Wellen angetrieben, die über ein Kegelgetriebe mit den horizontalen Hauptwellen verbunden sind. Diese Hauptwellen sind durch die Wände des Maschinenraumes oder genau gesagt, durch die Stege der Haupt-Querträger durchgeführt. Sie werden über ein Reduktionsgetriebe durch zwei 50 PS-Gleichstrom-Motoren angetrieben. Die beiden Antriebe sind vollkommen unabhängig.

Der für die Kraftversorgung notwendige Wechselstrom wird durch die örtliche Elektrizitätsgesellschaft geliefert und der Brücke durch ein Kabel zugeführt. Dieses Kabel verläuft zuerst auf der Brücke, geht dann durch den Fluß bis zum Mittelpfeiler, wird durch eine über dem Hochwasserspiegel liegende Öffnung in das Innere des Pfeilers geführt, dann in die einzelnen

kleinen Kabel unterteilt, um so endlich durch den Hohlschaft des Drehzapfens zu einer vertikalen Reihe von Kollektorringen und Bürstenkontakten zu gelangen. Der Drehstrom wird zur Verwendung in Gleichstrommotoren durch ein Ward Leonard Umformer-Aggregat umgewandelt. Für den Fall eines Versagens dieser Normalversorgung ist auch noch ein Reserveaggregat vorgesehen. Dieses besteht aus einer vierzylindrigen Dieselmaschine von 150 PS Stärke mit horizontal gegenüberliegenden Zylindern und fester Einspritzung; sie treibt einen 40 KW

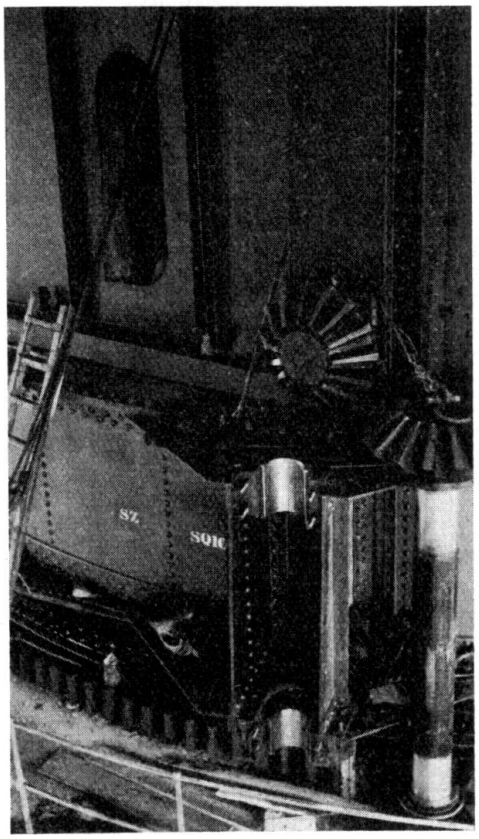


Fig. 20.
Drehbrücke. Antriebsvorrichtung mit konischen Zahnrädern, Zahnkranz, Mannloch zum Maschinenraum.

Gleichstromgenerator und einen 36 KW Drehstromgenerator für die Beleuchtung der Brücke. Zur Erzeugung der hydraulischen Kraft für die Bewegung der Keile und Verschlußbolzen ist noch ein 25 PS Gleichstrommotor vorgesehen, der eine Sechskolben-Ölpumpe antreibt. Vier Kolben erzeugen einen Druck von 3000 Pfund pro Quadratzoll und zwei Kolben einen Druck von 1000 Pfund pro Quadratzoll, wobei die ersten die Keile und die letzteren die Verschlußbolzen betätigen.

Diese ganze Maschineneinrichtung einschließlich der üblichen Druckluftanlage für das Anwerfen der Dieselmaschine wird von dem Kontrollhaus aus bedient.

Vorgang bei der Bewegung der Brücke.

Im Hinblick auf die außergewöhnlichen Abmessungen dieser Drehbrücke wurde besondere Sorgfalt darauf verwendet, daß alle Vorgänge beim Öffnen

und Schließen der Brücke durch elektrische Kontrolleinrichtungen sich automatisch in der richtigen Reihenfolge abwickeln müssen, sodaß also jede Gefahr einer Störung infolge der Ungeschicklichkeit des Bedienungspersonals ausgeschlossen ist. Zusätzlich wurden noch alle wesentlichen Maschinen- und Kon-

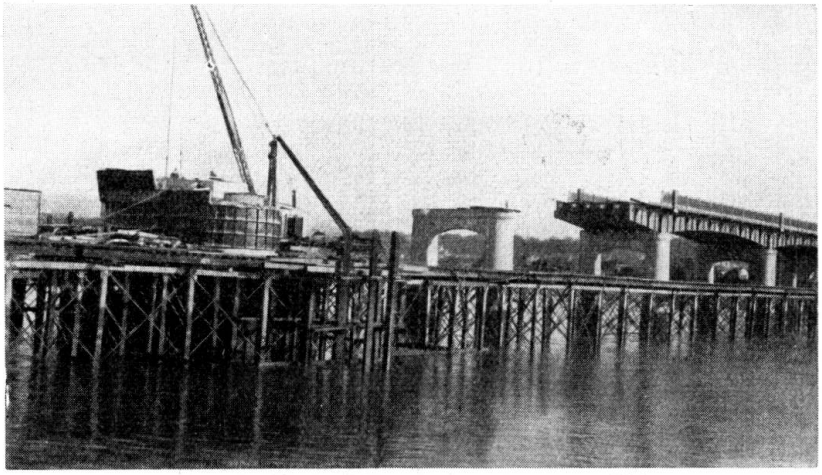


Fig. 21.
Pfeiler Nr. 10 während des Baues; geschweißte Schalungen, Kragarme mit Konsolen zum Einhängen des Schwebeträgers. Arbeitsbühne auf Pfählen.

trolleinrichtungen, soweit irgend möglich war, in doppelter Ausfertigung vorgesehen, sodaß auch im Falle eines Versagens einer dieser Maschinen nicht die ganze Brücke stillgelegt wird.

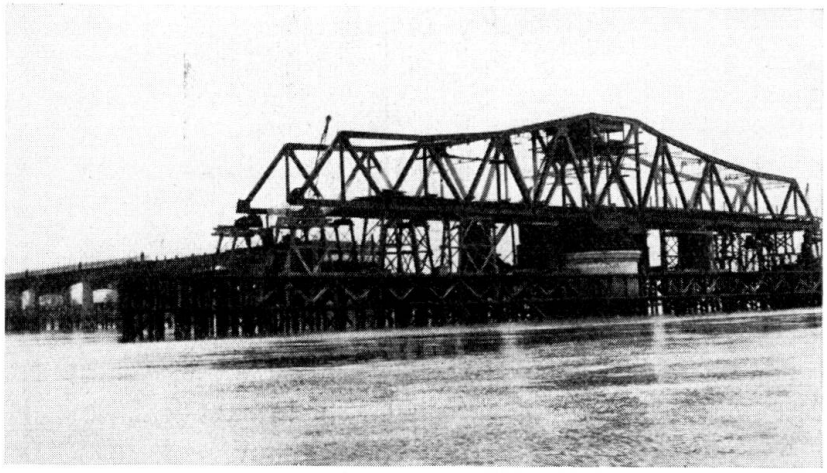


Fig. 22.
Drehbrücke; Zusammenbau beinahe vollständig. Bleibende hölzerne Landungsanlage und Montagegerüste.

Der Bedienungsmann steht vor einem Kontrolltisch in der Kabine. Durch die Drehung eines Handrades werden die einzelnen Vorgänge in der richtigen Reihenfolge eingeleitet, wobei die Beendigung jedes Vorganges durch eine farbige Signallampe am Tisch angezeigt wird.

Die Abriegelung des Verkehrs auf der Fahrbahn und die Öffnung der Brücke für den Flußverkehr spielt sich in folgender Weise ab:

1. Die Stromzufuhr für den Ward Leonard Umformer und die hydraulischen Pumpen wird eingeschaltet.
2. Die Verkehrssignale an beiden Enden der Brücke wechseln von grün auf rot, und Warnungsglocken werden in Tätigkeit gesetzt. Nach einiger Zeit wird dem Bedienungsmann in der Kabine von seinem auf der Straße befindlichen Helfer durch einen Gong angezeigt, daß die Fahrbahn frei von Fußgängern und Wagen ist.
3. An beiden Enden der Brücke werden Gitter zum Abschluß der Fahrbahn und Gehwege abgesenkt. Das rote Licht am Ende des Leitwerkes wechselt auf gelb. Der Signalalarm fällt, und die Schiffe werden durch Sirenen darauf aufmerksam gemacht, daß die Brücke nun gedreht wird.
4. Die die Enden der Brücke unterstützenden Keile werden hydraulisch gezogen.
5. Der Verschlußbolzen wird hydraulisch gelöst.
6. Die Brücke dreht sich um 90^0 in die geöffnete Stellung. Die Beschleunigung bis auf die größte gleichförmige Geschwindigkeit und die Verzögerung am Ende des Weges wird automatisch durch Grenzschalter kontrolliert.
7. Das zweite rote Licht am Ende des Leitwerkes wechselt auf gelb, und ein zweiter Signalalarm fällt und zeigt damit an, daß nun die Durchfahrt für die Schiffe frei ist. Gleichzeitig ertönt wiederum eine Sirene.

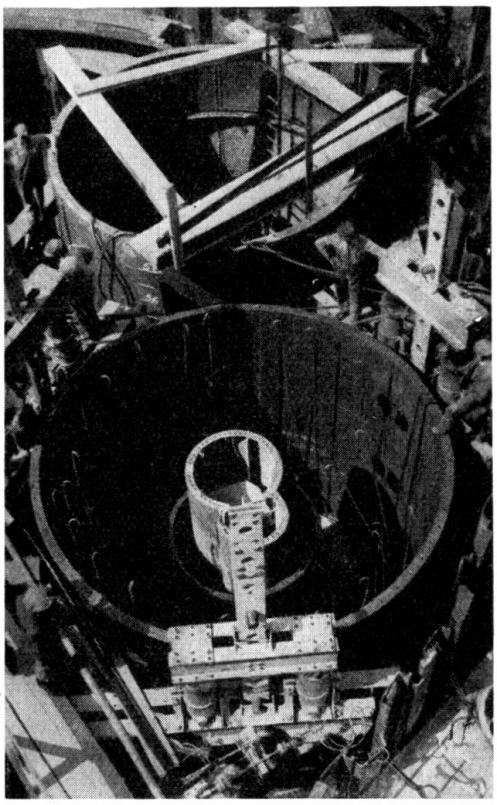


Fig. 23.

Mittelpfeiler Nr. 11. Druckluft-Senkbrunnen. Schleusenkamin, innere Schalung. Bewehrung, Senkbrunnen aufgehängt an gelochten Flacheisen, siehe auch Fig. 8, 9 und 10.

Bei der Schließung der Brücke spielen sich die Vorgänge in umgekehrter Reihenfolge ab. Durch entsprechende Handhabung des Handrades in der Kabine kann die Brücke auch, wenn gewünscht, in einzelnen Rucken vor- oder zurückbewegt werden.

Um die Brücke genau schließen zu können, wurde eine photo-elektrische Vorrichtung eingebaut. Diese enthält drei farbige Lampen auf dem Bedienungstisch, wobei die beiden äußeren Lampen aufleuchten, wenn die Brücke nahezu zentriert ist, während die mittlere Lampe erst dann aufleuchtet, wenn die Brücke innerhalb eines Bereiches von $1^1/_2''$ genügend nahe dem Todpunkt steht, sodaß die Verschlußbolzen eingeführt werden können. Der Weg der beiden Verschlußbolzen und der vier Keile beträgt 27″, und ihre relative Bewegung wird durch Zeiger auf dem Kontrolltisch angezeigt. Sollte einer von ihnen versagen, so leuchtet sofort eine Warnungslampe auf, und die Bewegung wird gestoppt. In dem Maschinenraum ist eine Handpumpe vorgesehen, durch welche der versagende Keil oder Bolzen bewegt werden kann.

Wenn eine der wichtigen Verkehrslampen versagen sollte, wird dies ebenfalls durch eine Warnungslampe in der Kabine angezeigt.

Für den ganzen Vorgang des Öffnens oder Schließens der Brücke werden nach folgender Aufstellung 4 Minuten benötigt:

Ziehen der Keile	$1^1/_2$	Minuten
Ziehen der Verschlußbolzen . .	$^1/_2$	Minute
Drehen der Brücke um 90° . .	2	Minuten
Summe:	4	Minuten.

Die Flußschiffahrt wird die Brückenstelle in einem Zeitraum von zwei Stunden vor und nach dem höchsten Stand der Flut passieren. Trotzdem wird es nötig sein, daß dauernd Bedienungspersonal für die Unterhaltungsarbeiten usw. Dienst tut, und es ist beabsichtigt, Bedienungsmann und Helfer in drei Schichten zu je acht Stunden arbeiten zu lassen.

Zusammenfassung.

Der Bau der den Fluß Forth kreuzenden Brücke wurde durch ein vereinigtes Komitee der interessierten örtlichen Behörden betrieben, und das Transportministerium gab einen wesentlichen Zuschuß für die Kosten.

Die Brücke wurde an der östlichsten Stelle errichtet, die noch tragbare Kosten ergab, und sie wird die Straßenverbindung zwischen Glasgow und Edinburgh und dem Nordosten von Schottland verbessern.

Der Flußverkehr machte es notwendig, eine breite Öffnung beweglich vorzusehen. Die Lage der Baustelle bedingte eine Brückenlänge von $^1/_2$ Meile und die Anwendung der verschiedensten Konstruktionen.

Die Gründungen stehen in der nördlichen Hälfte in geringer Tiefe auf Fels und für ihre Herstellung wurde teilweise Druckluft verwendet, wofür die offenen

Brunnen in einfacher Weise hergerichtet wurden. An der südlichen Hälfte der Brücke wurden Eisenbetonpfähle bis zu 65′ Länge und 18 × 18″ Querschnitt verwendet. Die vierzehn Öffnungen von 100′ Spannweite bestehen aus je sechs Trägern, die als Gerberbalken entworfen wurden.

Die Fahrbahn von 30′ Breite besteht aus Buckelplatten, Aufbeton und Asphaltbelag.

Die beiden Gehwege von je 5′ Breite ruhen zu beiden Seiten der Haupt-Tragkonstruktion auf Konsolen. Die Zufahrtsrampe der Nordseite liegt in einer Kurve und besteht aus einer Eisenkonstruktion, in die die Überhöhung eingearbeitet ist.

Die Zufahrtsrampe auf der Südseite ist in Eisenbeton ausgeführt und enthält neun Öffnungen von 50′ Spannweite und einen 260′ langen Viadukt auf Pfählen. Die 50′ weiten Öffnungen enthalten je sechs Träger, wobei teilweise verwickelte Schalungen notwendig wurden. Die Schalungen wurden in Blech ausgeführt.

Die Drehbrücke wird von drei breiten Pfeilern getragen. Zwei davon wurden mit Hilfe von Druckluft auf den Fels abgesenkt. Der südliche Pfeiler steht auf Pfählen.

Die Drehbrücke ist 364′ lang und wird mit Hilfe eines Spurkranzes bewegt. Sie wiegt 1600 t und ist eine der größten Brücken in dieser Ausführung.

Der Drehkranz der Brücke erforderte teilweise besonders genaue Werkarbeit.

Die Brücke selbst ist eine Brücke über zwei Felder vom Warren-Träger-Typ mit einer Blechabdeckung und Aufbeton für die Fahrbahn. Die Dreheinrichtung wird elektrisch bedient, liegt unterhalb der Fahrbahn und wird von einer oberhalb der Straße zwischen den Trägern liegenden Kabine aus ferngesteuert. Die Keile und Verschlußbolzen werden hydraulisch bedient und für die genaue Zentrierung der Brücke ist eine photo-elektrische Einrichtung vorgesehen. Als Reserveaggregat ist eine Dieselmaschine vorgesehen.

Die Brücke kann in vier Minuten geöffnet werden.

Leere Seite
Blank page
Page vide