2 November

Die

Brückenbaukunde

in

ihrem ganzen Umfange.

Ein Handbuch

für Ingenieure und Baumeister.

Bearbeitet

von

H. Müller.
Bancommissair in Bremen.

Vierter Band.

Die Erbauung der eisernen Brücken enthaltend.

Leipzig,
Romberg's Verlag.

Vierte Abtheilung.

Die Erbauung der eisernen Brücken enthaltend.

---

§. 1. Einleitung.

Wenn die Ideen, das Eisen zur Construction von Brücken anzuwenden, nach Gauthey auch schon ziemlich alt ist, und man bereits in italienischen Werken aus dem 16. Jahrhundert die Anzeichen davon findet, so verging dennoch eine sehr lange Zeit, ehe man zur wirklichen Anwendung desselben zu solchen Arbeiten schritt. Es waren nun wohl weniger die Kosten einer Brücke von Gußeisen, welche man so sehr berücksichtigte, daß dadurch die Ausführung derselben verhindert wurde, als vielmehr die geringen Kenntnisse der Eigenschaften der verschiedenen Arten dieses Materials, welches letztere auch die Ursache sein mochte, daß man es nicht wagte, das Eisen in einer richtigeren, verhältnißmäßigen Stärke anzuwenden. Man hatte sich im Allgemeinen zu sehr an schwere Constructionsformen gewöhnt, als daß man es hätte wagen mögen, diese durch leichtere Formen, welche die Anwendung des Guß- oder Schmiedeeisens darbietet, zu ersetzen. Es war daher auch erst der neueren Zeit vorbehalten, eine ausgedehntere Anwendung des Eisens überhaupt bei Ausführung von Brücken zu machen.

Nachdem dieser Gegenstand nochmals wieder durch einen französischen Baumeister angeregt war, waren die Engländer doch die Ersten, welche in dieser Beziehung eine Hauptanwendung von Eisen machten. Hierzu mochten nun wohl nicht allein die hohen Preise des Holzes, sondern auch die kurze Dauer einer hölzernen so wie die schwierigere Ausführung einer steinernen Brücke und namentlich der große Vorrath von Eisen in diesem Lande wesentlich beigetragen haben. Man suchte das Eisen von den englischen Eisenhütten nicht allein bei allen Arten von Arbeiten, sondern auch bei größeren Constructionen und namentlich bei Brücken, möglichst einzuführen.

Die erste gußeiserne Brücke wurde in den Jahren 1773—1779 bei Colebrook dale über die Saverne von den beiden Hüttenmeistern John Wilkinson und Abraham Darby erbaut. Eine andere eiserne Brücke, welche von nennenswerther Wichtigkeit war, wurde in Deutschland zu Laasan in Niederschlesien um das Jahr 1794 gebaut. Nach dieser Zeit wurde die Anwendung des Eisens zu Brücken immer ausgedehnter und sowohl in England, Frankreich als auch in Deutschland wurden viele eiserne Brücken erbaut, wobei aber England immer den ersten Rang behauptete, indem hier die großartigsten Brücken in Eisen ausgeführt wurden und noch ausgeführt werden.

Man verwendet sowohl das Gußeisen als auch das Schmiedeeisen vielfach zum Brückenbau. Ersteres, wenngleich bedeutend spröder als das letztere, hatte bis dahin die meiste Anwendung gefunden und erst in späterer Zeit, als namentlich bei den Hängebrücken, fand das Schmiedeeisen eine größere Anwendung. In neuerer Zeit hat übrigens auch das Schmiedeeisen eine größere Anwendung bei anderen Brückenconstructionen gefunden, indem nicht allein die Verbindungsstücke, sondern die Constructionen selbst von diesem Eisen ausgeführt wurden. Wir haben daher im Allgemeinen zweierlei Arten von eisernen Brücken zu betrachten, nämlich Brücken von Gußeisen und Brücken von Schmiedeeisen. Diese letzteren zerfallen aber speciell wieder in zwei Hauptklassen, nämlich in feste Brücken und Hängebrücken.

Was die gußeisernen Brücken betrifft, so hat man dabei wieder sehr verschiedene Constructionsweisen angewendet, und zwar hat man sowohl die Holz- als auch die Steinconstruction nachgeahmt. Wir können daher im Allgemeinen bei den gußeisernen Brücken folgende Classificirung vornehmen, und zwar können dieselben sein:

1) gewöhnliche Barrenbrücken;
2) nach Bogen geformte Barrenbrücken;
3) Bogensprengwerksbrücken;
4) Hängwerksbrücken aus geraden Barren und Bogenhäng- und Sprengwerksbrücken;
5) Röhrenbrücken.

Die Brücken von Schmiedeeisen zerfallen, wie schon erwähnt wurde, in zwei Hauptklassen, nämlich

A) in feste Brücken, d. h. solche, deren Träger oder deren Constructionstheile auf festen Unterlagen ruhen;
B) in Hängebrücken, bei denen die Brückenbahn nicht auf festen Unterlagen ruht, sondern angehängt ist.

Die unter A. bezeichneten Brücken können nun hinsichtlich ihrer Construction wieder in mehrere Unterabtheilungen getheilt werden, und zwar können die Brücken sein:

1) gewöhnliche schmiedeeiserne Brücken;
2) Gitterbrücken;
3) Röhrenbrücken.

Endlich sind auch noch diejenigen Brücken zu erwähnen, welche aus Guß- und Schmiedeeisen zusammengesetzt sind, so wie auch die Drehbrücken.

Diese verschiedenen Arten von Brücken sollen nun in den folgenden Capiteln näher betrachtet und durch Beispiele erläutert werden.

Erstes Capitel.

Die gußeisernen Brücken.

---

§. 2. Allgemeines.

Wir haben hier zunächst das Gußeisen zu betrachten. Dasselbe übertrifft den härtesten Sandstein in Hinsicht des innern Zusammenhanges in einem sehr hohen Grade, welcher Umstand es auch dazu fähig macht, Brücken von außerordentlich großer Spannweite davon herzustellen. Die größte Spannweite, welche man bei steinernen Brücken in Ausführung gebracht hat, beträgt etwa $194\frac{1}{3}$ Fuß und zwar ist diese Spannweite bei der Grosvenor-Brücke über den Deefluß (s. Fig. 529) in Ausführung gekommen. Es würde sich nun diese Spannweite wohl noch ausdehnen lassen, allein dann würde auch unbedingt erforderlich sein, daß der Bogen eine angemessene Pfeilhöhe erhalte, weil, wenn die Bögen sehr flach sein sollten, die Steine durch die große Spannung zerdrückt werden würden. Dieses ist aber beim Gußeisen nicht der Fall; man kann damit sehr flache Bögen von sehr großer Spannweite ausführen, ohne daß man Gefahr läuft, daß der Bogen zerdrückt werde, wenn sonst die Widerlager Stabilität genug haben, dem Bogenschub vollständig widerstehen zu können. Außerdem ist auch die Volumenverminderung bei eisernen Brücken im Vergleich zu steinernen Brücken sehr bedeutend und demnach auch verhältnißmäßig die Gewichtsverminderung nicht unbedeutend; denn, wenngleich das Eisen auch ein 3 bis 4 mal größeres specifisches Gewicht besitzt, als der Stein, so ist die Volumenverminderung, welche man durch die Anwendung des Gußeisens erzielt, doch noch vielmal größer, so daß also eine gußeiserne Brücke bedeutend weniger Gewicht erhält, als eine steinerne Brücke von gleichen Abmessungen. Dieser Umstand macht es, daß bei Anwendung gußeiserner Bögen die einzelnen Pfeiler und Widerlager, wenn nicht sonstige Verhältnisse es erforderlich machen, nicht in der Ausdehnung aufgeführt zu werden brauchen, als dieses bei den steinernen Brücken nothwendig wird.

Was die Dauerhaftigkeit der gußeisernen Brücken betrifft, so ist Crelle (s. dessen Journal für die Baukunst Bd. III. Seite 443) der Meinung, daß eiserne Brücken weniger dauerhaft seien als steinerne, indem das Eisen mit der Zeit in der Luft sich allmählig auflöse. Dieser Meinung sind aber Tredgold und andere Ingenieure nicht, sondern sie behaupten, Eisen könne durch einen angemessenen Anstrich vor jedem nachtheiligen Einflusse des Wechsels der Witterung vollkommen geschützt werden. Dieses ist aber nicht der Fall im Meereswasser; hier geht die Zersetzung des Gußeisens sehr merklich und schnell vor sich und die Theile an der Oberfläche lösen sich in eine reißbleiartige Masse auf.

Crelle ist an derselben Stelle ferner der Meinung, daß die gußeisernen Brücken nicht wohlfeiler als steinerne herzustellen wären. Diesem kann aber

jedenfalls widersprochen werden; denn nicht allein die größere Leichtigkeit, welche man bei Anwendung des Eisens der Construction geben kann, sondern auch schon der Umstand, daß man den Bögen eine größere Spannweite geben kann und daher eine geringere Anzahl von Bögen erforderlich ist, bedingen schon von vorne herein eine billigere Ausführung. Der verstorbene Kreisbaurath Carl v. Wiebeking äußert sich in Bezug hierauf im 4. Bande S. 217 seiner theoretisch praktischen Wasserbaukunst folgendermaßen: „Die den Einflüssen der Zeit trotzende Dauer und der höhere Grad der Tragkraft des Eisens giebt demselben, als Material zu Brücken, vor Holz den Vorzug der größeren Leichtigkeit, die mittelst desselben der Construction gegeben werden kann, und die namentlich in England, ohne Vergleich leichtere und wohlfeilere Ausführung einer aus Eisen construirten Brücke, hat aber auch vor Stein den Vorzug."

Wir kommen nun zur Beschreibung der verschiedenen Brückenconstructionen selbst; ehe wir aber dazu übergehen, wollen wir zunächst die Formen der einzelnen Träger oder Rippen näher betrachten.

§. 3. Ueber Trägerformen.

Im ersten Bande haben wir bereits über die Festigkeit des Gußeisens gesprochen, allein dieses war nur im Allgemeinen und ferner ist es auch nicht möglich, von den daselbst angegebenen Resultaten, auf die Festigkeit der verschieden geformten Träger von Gußeisen zu schließen, indem die gewonnenen Resultate aus Versuchen erhalten sind, die mit Stäben angestellt wurden, deren Gestalt eine prismatische war. Bei den Eisenconstructionen aber und namentlich bei Anwendung von Gußeisen, giebt man den Stäben diejenige Form, welche sich der Natur der Belastungen am angemessensten zeigt.

Jeder horizontale Träger, welcher einem Drucke von oben ausgesetzt wird, hat zweierlei Wirkungen zu widerstehen, und zwar der Zusammendrückung der oberen und der Ausdehnung der unteren Seite. Es mag nun der Träger hohl oder massiv sein, so muß derselbe doch stets eine solche Form erhalten, welcher den größten Widerstand gegen die Zusammendrückung einerseits und gegen das Zerreißen andrerseits ausübt. Je weiter nun die einzelnen Theile, aus welchen der Träger zusammengesetzt ist, von der neutralen Achse oder von demjenigen Punkte des Querschnitts, in welchem keine Spannung mehr stattfindet und der immer im Schwerpunkte des Körpers liegt, entfernt sind, desto größer ist auch die Tragkraft desselben. Soll daher ein Träger von einer gegebenen Quantität Material hergestellt, den festesten Querschnitt erhalten, so müssen nicht allein die Widerstände gegen die Zusammendrückung und das Zerreißen ins Gleichgewicht gebracht, sondern es muß auch das Material an der obern und untern Seite des Querschnitts, wo die Festigkeit am meisten in Anspruch genommen wird, angehäuft werden, während die Seiten nur die Verbindung zwischen beiden herstellen.

Im Folgenden wollen wir nun näher untersuchen, welches die zweckmäßigste Gestalt des Querschnitts eines Trägers ist.

Es bezeichne zu dem Ende E diejenige Kraft, welche erforderlich ist, um ein Prisma, dessen Querschnitt gleich der Flächeneinheit ist, bis auf das Doppelte seiner ursprünglichen Länge auszudehnen, oder bis auf die Hälfte seiner ursprünglichen Länge zusammenzudrücken; diese Kraft wird im Allgemeinen mit dem Worte „Elasticitätsmodul" bezeichnet.

Ferner bezeichne R die constante Kraft, deren man bedarf, um ein Prisma zu zerreißen, dessen Querschnitt gleich der Flächeneinheit ist.

Die einfachste Form, welche man einem Träger geben kann, ist die eines rechtwinkeligen Prismas. Es sei nun Fig. 641 A der gewählte Querschnitt, so haben wir zunächst den Fall zu untersuchen, in welchem die Kräfte rechtwinkelig zur Längenachse des Stabes wirken, wie z. B. bei einem horizontalen Stabe, der mit Gewichten belastet ist. Ist dann die Breite des Körpers = b seine Höhe = c, so ist das Elasticitäts-Moment

oder
$$\varepsilon = E \frac{b\,c^3}{12}$$

und das Moment des Widerstandes gegen den Bruch oder

$$\varrho = R \frac{b\,c^2}{6}.$$

Bleibt in diesem angenommenen Falle der Inhalt des Querschnitts derselbe, so nimmt der Widerstand proportional mit der Höhe c zu. Dieses geht aber nur bis zu einer bestimmten Gränze, denn bei einer größeren Verminderung der Breite b würde der Stab nicht mehr die nöthige Stabilität besitzen und in horizontaler Richtung einen zu geringen Widerstand leisten, was dann jedenfalls ein Durchbiegen oder einen Bruch nach horizontaler Richtung zur Folge haben würde.

Bei dieser eben bezeichneten Form liegt die neutrale Achse in der halben Höhe des Querschnitts.

Betrachten wir ferner die in Fig. 641 B dargestellte Querschnittsform; bei dieser Form liegt die neutrale Achse ebenfalls im Schwerpunkte der Figur, derselbe liegt aber nicht in der halben Höhe. Bezeichnet daher a die Breite des obern Querstücks, b′ seine Dicke; b die ganze Höhe des Querschnitts und c die Dicke des untern Seitenstücks und z den Abstand der neutralen Achse von der obern Fläche, so ist die Bedingungsgleichung

$$a\,z^2 - (a-c)\,(z-b')^2 = c\,(b-z)^2$$

und hieraus
$$z = \tfrac{1}{2}\,\frac{a\,b'^2 - c\,b'^2 + c\,b^2}{a\,b' - c\,b' + c\,b};$$

es ist aber das Moment des Widerstandes gegen Biegung

$$\varepsilon = \frac{E}{3}\Big(a\,z^3 - (a-c)\,(z-b')^3 + c\,(b-z)^3\Big)$$

und das Moment des Widerstandes gegen Bruch

$$\varrho = \frac{R}{3}\,\frac{a\,z^3 - (a-c)\,(z-b')^3 + c\,(b-z)^3}{b-z},$$

woraus sich die Werthe für ε und ϱ finden lassen, wenn man für z den gefundenen Werth substituirt.

Bei Fig. 641 C hat man die neutrale Achse wieder in der halben Höhe und behält man hierbei die Bezeichnung der vorigen Figur bei, so ist

$$z = \frac{b}{2};$$

ferner

$$\varepsilon = E\,\frac{a\,b^3 - (a-c)\,(b-2\,b')^3}{12}$$

und

$$\varrho = \frac{R}{6b}\left(a\,b^3 - (a-c)\,(b-2\,b')^3\right).$$

Was die in den Figuren 641 D und E dargestellten Figuren betrifft, so hat man dafür, wenn z den Abstand der neutralen Achse von der Oberkante bezeichnet,

$$z = \frac{a''\,b'^2 + a\,b''^2 + a'\,b^2 + 2\,a''\,b'\,b'' - a'\,(b' + b'')^2}{2\left(a''\,b' + a\,b'' + a'\,b - a'\,(b' + b'')\right)};$$

ferner erhält man

$$\varepsilon = E\left[\frac{a''}{3}\left((z-b'')^3 + (b' + b'' - z)^3\right) + \frac{a'}{3}\left((b-z)^3 - (b' + b'' - z)^3\right) + \frac{a}{3}\left(z^3 - (z-b'')^3\right)\right];$$

für die Figur D erhält man

$$\varrho = \frac{R}{3\,z}\left[a''\left((z-b'')^3 + (b' + b'' - z)^3\right) + a'\left((b-z)^3 - (b' + b'' - z)^3\right) + a\left(z^3 - (z-b'')^3\right)\right]$$

und für die Figur E erhält man

$$\varrho = \frac{R}{3\,(b-z)}\left[a''\left((z-b'')^3 + (b' + b'' - z)^3\right) + a'\left((b-z)^3 - (b' + b'' - z)^3\right) + a\left(z^3 - (z-b'')^3\right)\right].$$

Betrachten wir nun, ehe wir weiter gehen, die in den Figuren C, D und E angegebenen Querschnittsformen nochmals, und zwar zunächst die in Fig. C, so sind die beiden Rechtecke, welche unten und oben liegen, einander gleich. Oben haben wir angeführt, daß ein jeder belastete horizontale Träger zweierlei Wirkungen zu widerstehen hat und zwar der Zusammendrückung der oberen Seite und der Ausdehnung der unteren Seite. Es kann diese Form daher nur zweckmäßig für den Fall sein, wenn ein Material angewendet wird, welches der Ausdehnung und dem Zusammendrücken einen gleichen Widerstand entgegensetzt. Es ist aber bekanntlich der Widerstand des Gußeisens gegen Ausdehnung und Zerreißen weit geringer, als gegen Zusammendrücken und es ist somit klar, daß die beiden Flanschen nicht gleichförmig Widerstand leisten können und somit mit einer gewissen Quantität Material nach der besprochenen Form nicht der festeste Querschnitt hergestellt werden kann. Weit eher wird dies aber erreicht durch die Form der Fig. D; in einem noch geringeren Grade aber durch die Form der Fig. E.

Vielfache sehr interessante Versuche mit Trägern von verschiedenartigem Querschnitte wurden von Hodgkinson angestellt, und zwar gingen diese Ver-

suche hauptsächlich darauf hinaus, um die zweckmäßigste Gestalt horizontaler Träger von Gußeisen festzustellen. Die folgende Tabelle enthält die Resultate verschiedener Versuche, welche mit Balken derartigen Querschnitts angestellt wurden, wobei der Balken jedesmal auf zwei Stützen und in seiner Mitte belastet wurde.

Nummer des Versuchs.	Verhältniß der beiden Flanschen zu einander.	Fläche des ganzen Querschnt. in Quadratzollen (engl.).	Brechende Kraft für den Quadrz. des Querschnitts in Pfunden (engl.)
1	1 : 1	2,82	2368
2	1 : 2	2,87	2567
3	1 : 4	3,02	2737
4	1 : 4,5	3,37	3183
5	1 : 5,5	5,0	3346
6	1 : 6,1	6,4	4075

Bei den ersten fünf Versuchen brach der Balken in Folge des Zerreißens der unteren Flansche, so daß also dieselbe noch immer die schwächere war. Bei dem letzten Versuche dagegen brach der Balken in Folge der Zerdrückung der oberen Flansche, so daß also hier die obere Flansche die schwächere und die untere die stärkere war. Aus den beiden letzten Versuchen folgt nun unmittelbar, daß für eine zwischen diesen liegende Form, die Flanschen eine gleiche Widerstandsfähigkeit resp. gegen das Zerdrücken und gegen das Zerreißen besaßen, und war dieses also die stärkste Form des Querschnitts, und gleichzeitig die beste Form.

Aus anderen Versuchen, die in der Eisengießerei zu Leamington über die Festigkeit gußeiserner Träger bei verschiedenen Arten der Belastung angestellt wurden, gelangte man fast zu gleichen Resultaten*), und wurde die haltbarste und zugleich ökonomischste Form des Querschnitts dahin bestimmt, daß der Flächeninhalt des Querschnitts der oberen Flansche a (Fig. 641 L) gleich sein müsse einem Fünftel der Querschnittsfläche der untern Flansche c c, plus einem Zehntel der Querschnittsfläche der Mittelrippe b.

Aus diesen letzten Versuchen gelangt man zu ferneren Resultaten und zwar muß, wenn die Last auf der untern Flansche auf einer Seite des Trägers angebracht ist, die obere Flansche so viel vergrößert werden, daß ihre Querschnittsfläche gleich ist einem Drittel der Querschnittsfläche der unteren Flansche plus einem Sechstheil der Querschnittsfläche der Mittelrippe, ferner, wenn Seitenrippen d, d Fig. 641 M angebracht werden, so soll deren Entfernung von einander nicht größer als die zwanzigfache Dicke der unteren Flansche sein; dieses findet jedoch nur statt, wenn die Last von einem Ende zum andern gleichmäßig vertheilt ist. Findet dieses Letztere aber nicht statt, so sollen die Seitenrippen da angebracht werden, wo die Last aufliegt. Die Höhe der Seitenrippen soll

*) Die Festigkeit eiserner Balken und Träger nach dem Englischen des Thomas Pate von M. M. Freiherrn von Weber.

zwei Drittel von der des ganzen Trägers und ihre Dicke nicht unter einem Drittel von der der Flanschen sein.

Die relative Festigkeit solcher Träger berechnete man bei diesen Versuchen nach der Formel

$$\frac{(A + b) \cdot d}{l} \cdot 25 = P,$$

wo A die Querschnittsfläche der untern Flansche, b die halbe Querschnittsfläche der Mittelrippe, d die Höhe des Trägers und l die freiliegende Länge des Trägers, (Alles in Zollen) und ferner die Zahl 25 eine durch Versuche festgesetzte Constante bezeichnet.

Hodgkinson giebt um die Tragfähigkeit solcher Balken zu berechnen, folgende Regel:

Ist z. B. A die Querschnittfläche in englischen Quadratzollen, d die Höhe des Balkens in Zollen, l die Entfernung zwischen den beiden Stützen, ebenfalls in Zollen und P das Gewicht in Centnern, welches den Bruch hervorbringt, wenn es in der Mitte aufgelegt wird, so ist

$$P = 514 \frac{A\ d}{l} \text{ für horizontal gegossene, und}$$

$$P = 536 \frac{A\ d}{l} \text{ für vertical gegossene Balken.}$$

Beide Formeln geben verschiedene Werthe an und zwar die letzteren einen kleineren Werth als die erstere. Da aber beide Werthe unter verschiedenen Umständen gefunden sind und jeder derselben für die Anwendung passend ist, so glauben wir doch, um eine größere Sicherheit zu erhalten, die letztere Regel von Hodgkinson für die zweckmäßigste halten zu müssen.

Wir haben nunmehr noch die übrigen Querschnittsformen zu betrachten.

Was die in Fig. 641 F dargestellte Querschnittsform betrifft, so hat man den Abstand der neutralen Achse von der Oberkante des Trägers oder

$$z = \frac{2\,a'\,b'^2 + a\,(b^2 - b'^2)}{2\left(2\,a'\,b' + a\,(b - b')\right)};$$

ferner $$\varepsilon = \frac{E}{3}\left[2\,a'\left(z^3 + (b' - z)^3\right) + a\left((b - z)^3 - (b' - z)^3\right)\right]$$

und $$\varrho = \frac{R}{3\,z}\left[2\,a'\left(z^3 + (b' - z)^3\right) + a\left((b - z)^3 - (b' - z)^3\right)\right].$$

Bei Fig. 641 G erhält man wieder $z = \frac{b}{2}$ und ferner bei der dortigen Bezeichnung

$$\varepsilon = E\,\frac{a\,b'^3 + b'\,b^3 - b'^4}{1\ 2}$$

und $$\varrho = \frac{R}{6\,b}\left(a\,b'^3 + b'\,b^3 - b'^4\right).$$

Dieses Bruchmoment ist für die Richtung der Seiten der Rechtecke. Für die Richtung der Diagonale des Ausdrucks aber, dem die Figur eingeschrieben werden kann, erhält man

$$\varrho = \frac{R}{6\,(b + b')} \sqrt{2\,(a\,b'^3 + b'\,b^3 - b'^4)}.$$

Diese Form des Querschnitts findet namentlich dann ihre Anwendung, wenn ein mit Gewichten belastetes Horizontalstück der Last nach und nach seine verschiedenen Seiten darbieten muß. Hierher gehört auch die in Fig. 641 H dargestellte Form des Querschnitts. Bei dieser ist nur das Moment des Widerstandes gegen die Biegung für jede beliebige Richtung bei der in der Figur angegebenen Bezeichnung

$$\varepsilon = E\,\frac{b'^4 + (b^3 - b'^3)\,\beta + (b - b')\,\beta^3}{1\;2}.$$

Das Bruchmoment ist für die Richtung der Seiten

$$\varrho = R\,\frac{b'^4 + (b^3 - b'^3)\,\beta + (b - b')\,\beta^3}{6\;b}$$

und für die Richtung der Diagonale

$$\varrho = R\,\sqrt{\frac{2\,b'^4 + (b^3 - b'^3)\,\beta + (b - b')\,\beta^3}{6\;(b + \beta)}}.$$

Bei der in Fig. 641 I dargestellten Querschnittsform ist noch eine Mittelrippe nach horizontaler Richtung angebracht, welche ebenfalls dazu dient, um Seitenschwankungen zu verhindern. Hierbei hat man nach der in der Figur angegebenen Bezeichnung

$$\varepsilon = \frac{E}{12}\left(a''\,b''^3 + a\,(b'^3 - b''^3) + a'\,(b^3 - b'^3)\right)$$

und

$$\varrho = \frac{R}{6\;b}\left(a''\,b''^3 + a\,(b'^3 - b''^3) + a'\,(b^3 - b'^3)\right)$$

Hat der Träger die Querschnittsform einer kreisrunden Röhre, wie in Fig. 641 K und bezeichnet a den äußeren Durchmesser und a' den inneren Durchmesser, so erhält man die neutrale Achse durch den Mittelpunkt der Röhre;

ferner

$$\varepsilon = \frac{E}{64}\,\pi\left(a^4 - a'^4\right)$$

und

$$\varrho = \frac{R}{32\,a}\,\pi\left(a^4 - a'^4\right)$$

Ist die Querschnittsform eine Ellipse und die große Achse derselben = b, die kleine Achse = a, ferner die große innere Achse = b' und die kleinere innere Achse = a', so erhält man bei der Annahme, daß die große Achse lothrecht stehe

$$\varepsilon = \frac{E}{64}.\,\pi\left(a\,b^3 - a'\,b'^3\right)$$

und

$$\varrho = \frac{R}{32\,b}.\,\pi\left(a\,b^3 - a'\,b'^3\right).$$

Diese beiden letzteren Formen, so wie auch die in den Figuren G H dargestellten Querschnittsformen sind nun nicht dazu geeignet, einem bedeutenden Druck von oben vertical auf die Richtung des Trägers, Widerstand leisten zu können, indem bei diesen Formen eine so große Masse Material in der Nähe der neutralen Achse sich befindet, und daher hier zu wenig Widerstand gegen die Zusammendrückung an der oberen Kante und gegen das Zerreißen an der unteren

Kante geleistet wird, vermöge der Anordnung; keineswegs sind aber diese Formen geeignet, bei einer gegebenen Quantität Material einen festesten Querschnitt zu liefern, indem dieselben dem Verhältniß der absoluten zu der rückwirkenden Festigkeit des Gußeisens in keiner Hinsicht entsprechen*).

§. 4. Ueber die zweckmäßigste Gestalt des Längenschnitts der Träger.

Nachdem wir im vorigen §. das Nöthige über die Querschnittsform der Träger angeführt haben, so bleibt uns jetzt noch übrig, auch die Gestalt des Längenschnitts zu betrachten.

Es giebt bei einem prismatischen Träger im Allgemeinen eine Stelle in der Länge desselben, welche dem Bruche mehr und früher ausgesetzt ist, als alle übrigen. Leistet nun der Träger an dieser Stelle einen genügenden Widerstand, so wird er dieses auch an den übrigen Stellen thun, und somit ist er dann an allen übrigen Stellen stärker, als es nothwendig ist. Es läßt sich nun die Gestalt eines Trägers so bestimmen, daß der Widerstand überall genügend, und nirgends überflüssig groß wird. Einen Träger, dessen Gestalt auf eine solche Weise bestimmt ist, nennt man dann einen Körper von gleichem Widerstande.

Denken wir uns einen Körper, der horizontal auf zwei Stützen gelegt, und mit über seine Länge gleichförmig vertheilten Gewichten belastet ist. Figur A. Tafel 73.

Bezeichnet dann P das Gewicht, welches von der Einheit der Länge geträgen wird; a die halbe Entfernung B C der Stützen B und B′ von einander; b die constante Breite des Körpers; ferner c die Höhe C M des Körpers in der Mitte zwischen den beiden Stützen; x die Abscisse C p und v die Ordinate p m der Curve, welche den Körper nach oben begränzt, so erhält man, da hier jede Hälfte des Körpers einen solchen Widerstand leistet als ein Stab, der an einem Ende horizontal eingemauert ist, während am anderen Ende eine Verticalkraft Pa und über die ganze Länge des Stabes vertheilt, eine entgegengesetzt gerichtete Kraft Pa wirkt,

$$R\,\frac{b\,c^2}{6} = \frac{1}{2}\,Pa^2$$

also

$$c = a\sqrt{\frac{3\,P}{R\,b}}$$

ferner

$$R\,\frac{b\,v^2}{6} = Pa\,(a - x) - \frac{1}{2}\,P\,(a - x)^2$$

also

$$v^2 = \frac{3\,P}{R\,b}\,(a^2 - x^2)$$

oder

$$v^2 = \frac{c^2}{a^2}\,(a^2 - x^2)$$

*) Die oben angegebenen Formeln zur Bestimmung der Größen ε und ϱ sind größtentheils aus Naviers Résumé des leçons etc. entnommen.

und hieraus $$v = c\sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}},$$

woraus also hervorgeht, daß die Curve B M B′ eine halbe Ellipse sein muß.

Da man übrigens überall eine größere Sicherheit annimmt, und die Träger gewöhnlich so stark construirt, daß sie ein Mehrfaches der Last, welche sie zu tragen erhalten, noch tragen können, so kann man auch ohne großen Nachtheil die Träger so construiren, daß ihre Höhe an den Enden zwei Drittel von der in der Mitte ist.

Zweites Capitel.

Die verschiedenen Arten der gußeisernen Brücken.

---

§. 5. Die gewöhnlichen Barrenbrücken.

Die gewöhnlichen Barrenbrücken bestehen aus eisernen Trägern, die sich von einem Widerlager zum anderen erstrecken und mit ihren Enden auf diesen ruhen. Zur Unterlage derselben wählt man entweder Holz, Steinplatten oder gußeiserne Unterlagsplatten.

Was die Holzunterlage betrifft, so würde diese, wenn man sie von Eichenholz herstellt, jedenfalls die beste Unterlage für die Barrenenden sein, wenn nur das Holz im Allgemeinen eine größere Dauer hätte, indem eine solche Holzunterlage, vermöge ihrer Elasticität, den sanftesten Uebergang von der Straße oder Eisenbahn auf die Brücke gestattet. Allein die geringe Dauerhaftigkeit einer solchen Unterlage, würde eine häufige Erneuerung derselben nothwendig machen, und dadurch nicht allein einen sehr häufigen Kostenaufwand, sondern auch eine eben so häufige Unterbrechung der Passage verursachen, indem bei Unterbringung neuer Unterlager jedenfalls die Brücke in die Höhe geschraubt werden müßte, was aber den Betrieb für die Zeit der Arbeit nothwendig stören würde.

Die Steinunterlage ist auch nicht zweckmäßig; denn selbst bei der genauesten Ausführung des Mauerwerks, können die Steine durch die Stöße und Vibrationen, welche beim Darüberrollen schwerer Lasten entstehen, leicht gesprengt werden, wodurch aber nicht allein häufige Reparaturen veranlaßt würden, sondern auch für den ferneren Betrieb sehr leicht Gefahren entstehen könnten, wenn man in der rechtzeitigen Unterhaltung und Erneuerung der Unterlagsquader etwas versäumte. Auch wenn man zu diesen Unterlagsquadern die besten und härtesten Steine verwendete, so würden doch immer die oben angeführten Uebelstände zu befürchten sein.

Es ist daher die Anwendung eiserner Unterlagsplatten am vortheilhaftesten und gewährt auch die meiste Sicherheit; denn erstlich wird dadurch die Last auf eine größere Fläche vertheilt, und ferner kann auch dann der Stoß beim Darüberrollen schwerer Lasten nicht mehr auf einen einzelnen Stein wirken. Man könnte nun zwar die Steinunterlagen auch aus sehr langen und starken Quadern bestehen lassen, allein dadurch würde die Gefahr des Zersprengens keineswegs verringert, weil es zu schwierig ist einem solchen Stein ein durchaus gleichmäßiges und vollkommenes Lager zu geben. In Figur 642 ist eine solche einfache Barrenbrücke dargestellt, deren freiliegende Tragweite a 16 Fuß beträgt, welche aber keiner weiteren Erläuterung bedarf.

Wir haben aber auch ferner die Eindeckung oder den Belag der Brücken zu betrachten. Der Zweck derselben ist nicht allein die Last auf sämmtliche Träger zu vertheilen, sondern auch gleichzeitig eine Querverbindung der sämmtlichen Träger unter sich herzustellen. Außerdem hat der Belag auch den Zweck, die Verbindung der beiden Ufer herzustellen und den die Brücke passirenden Personen und Fuhrwerken einen sicheren Uebergang zu schaffen. Bei Eisenbahnbrücken wäre dieses weniger zu berücksichtigen, denn man könnte im Nothfall die Trägerrippen selbst gleich anfänglich so formen, daß sie an ihrer oberen Seite die Form der Bahnschienen erhielten; allein dadurch würden die Rippen der unmittelbaren Einwirkung der Stöße der darüber sich bewegenden Bahnzüge ausgesetzt sein, was aber um so gefährlicher werden kann, da bei Gußeisen das Biegen und Zerbrechen so schnell auf einander folgt, daß sich die Ordinaten gar nicht beobachten lassen. Man wendet daher besser ein elastisches Zwischenmittel an, welches nun entweder in einer Schwellenunterlage oder in einer Bohlendecke oder auch in beiden zugleich besteht, was dann auch den Uebergang von dem Bahndamm auf die Brücke weniger fühlbar macht.

Bei gewöhnlichen Fahr- oder Chausseebrücken muß natürlich ein ganz dichter Belag hergestellt werden. Dieser Belag kann dann unmittelbar auf die eisernen Träger befestigt werden, welche zu diesem Zwecke mit breiten Flanschen an ihrer Oberkante versehen werden; besser ist jedoch, wenn man auf die eisernen Träger zuerst Querschwellen von Holz legt, und diese an den Stellen, wo sie auf die Träger treffen, etwa 1 Zoll tief auskämmt, hierauf dann einen doppelten Bohlenbelag oder auch einen einfachen Bohlenbelag mit einem Klotzpflaster darüber herstellt.

Wendet man diese Construction bei Chausseebrücken an, so sind wenigstens 4 Träger erforderlich, um eine solche Breite der Brücke zu erhalten, daß auch gleichzeitig Wagen und Fußgänger die Brücke passiren können; ein anderer Hauptgrund zur Anwendung von mindestens 4 Trägern ist jedoch der, daß die Querhölzer, die den eigentlichen Oberbau der Brücken bilden, eine genügende Unterlage erhalten, und nicht zu weit frei liegen, damit sie sich beim Darüberfahren von Wagen nicht durchbiegen können, was immer nur zum Nachtheil der Brücke selbst geschehen würde. Bei Eisenbahnbrücken und namentlich, wenn diese nur sehr kurz sind, sind eigentlich nicht mehr als zwei Rippen oder Träger nothwendig, indem unter jeder Schienenlage zur unmittelbaren Unterstützung derselben immer ein Träger angebracht wird, und sind daher für eine Doppel-

bahn vier Träger erforderlich. Man legt aber meistens auf beiden Seiten in der Richtung der Bahndammkanten noch zwei weitere etwas schwächere Rippen ein, welche einmal der Brücke eine größere Steifigkeit verschaffen, ferner aber auch dazu dienen, einen Fußweg für den Bahnwärter anlegen zu können. Die übergelegten Querhölzer erhalten dann eine solche Länge, daß auch die äußeren Rippen mit befaßt werden.

§. 6. Nach Bogen geformte Barrenbrücken.

Diese Brücken, deren Construction in den Figuren 643 und 644 ersichtlich ist, unterscheiden sich von den gewöhnlichen Barrenbrücken nur dadurch, daß die Barren nicht auf ihrer ganzen Länge überall gleich hohen Querschnitt haben, sondern ihre unteren Kanten nach einer Kreislinie geformt sind. Diese Träger erhalten im Scheitel eine ähnliche Querschnittsform, wie die Träger der gewöhnlichen Barrenbrücken.

Was die Auflagerung dieser Träger betrifft, so sind sie gewöhnlich an den Enden an ihrer Unterkante horizontal abgeschnitten, und liegen dann auf den Widerlagern nur auf, so daß gar kein Horizontalschub, sondern nur ein Verticaldruck entsteht. Diese Anordnung ist in Fig. 644 ersichtlich. Zuweilen macht man auch die Auflagerungsflächen unter einem stumpfen Winkel gegen einander geneigt, wie solches in Fig. 643 angedeutet ist. Diese Anordnung ist aber nicht so zweckmäßig wie die erstere, indem hier außer dem Verticaldruck auch noch ein Horizontalschub entsteht, weshalb dann die Widerlager um so viel verstärkt werden müssen, diesem letzteren gehörig widerstehen zu können.

Im Allgemeinen sind diese beiden Constructionsarten, nämlich die gewöhnlichen und nach Bogen geformten Barrenbrücken nur immer für geringere Weiten bei Brücken anwendbar; denn wenngleich man zwar im Stande ist, sehr lange eiserne Brückenträger aus einem Stück gießen zu können, so ist es doch wegen der ungleichförmigen Spannungen im Guß, die durch ungleichmäßiges Abkühlen entstehen, nicht rathsam, hierin zu weit zu gehen. Auf der badischen Eisenbahn findet man viele derartige Brücken, deren größte Spannweite jedoch nicht mehr beträgt, als etwa 20 Fuß. Wollte man diese Construction noch zu weiter spannenden Brücken anwenden, so müßte natürlich auch verhältnißmäßig die Stärke der einzelnen Träger bedeutender werden; dieses würde aber zur Vermeidung der ungleichförmigen Spannungen in Guß zu große Schwierigkeiten herbeiführen, und würde es wohl schwerlich ermöglicht werden, daß jeder Träger durchgängig eine gleichmäßige Festigkeit erhielte. Ferner aber würden auch schwerlich die horizontalen Schwingungen beim Darüberrollen einer Last vermieden werden können, sobald man den Trägern eine größere Länge geben wollte, oder man müßte den Trägern alsdann schon einen erheblich größeren Querschnitt auch nach der Breite hin geben, wodurch aber der oben beregte Uebelstand, nämlich eine ungleichförmige Abkühlung, noch mehr hervorgerufen werden würde.

Bei geringen Spannweiten sind aber die erwähnten Constructionsarten sehr zweckmäßig, indem sie einmal, sobald die Widerlager hergestellt sind, sehr leicht ausgeführt werden können, und ferner auch eine geringere Stärke der Widerlager erlauben, sobald es sonst der Erddruck der dahinter aufgeschütteten Erde zuläßt, indem hierbei kein horizontaler, sondern nur ein verticaler Druck stattfindet. In Fig. 645 ist eine vielfach zur Anwendung gekommene Querschnittsform der Bogenträger dargestellt. Dieselbe hatte folgende Dimensionen: der Pfeil der Krümmung betrug 1 Fuß 3 Zoll, und die Höhe des Trägers im Scheitel 13 Zoll; die Eisenstärke $2\frac{1}{2}$ Zoll; die obere Flanschenbreite 10 Zoll; die Flanschendicke $1\frac{1}{2}$ Zoll, und die Nervenverstärkung an der unteren Kante $4\frac{1}{2}$ Zoll.

An den Enden dieser Träger sind an der Unterkante, soweit derselbe auf den Widerlagern ruht, so wie auch vor der Stirn Platten angegossen, welche die Breite der oberen Flansche erhalten. Die Träger liegen mit ihren Enden auf eine Länge von 1,5 bis 2 Fuß auf den Widerlagern auf.

§. 7. Die Bogensprengwerkbrücken.

Obgleich man im Stande ist, sehr lange eiserne Träger aus einem Stücke zu gießen, und dieses auch, wie aus weiter unten anzuführenden Beispielen hervorgeht, mehrfach und in sehr bedeutender Ausdehnung zur Ausführung gekommen, so ist es doch, wie auch schon im Vorhergehenden mehrfach erwähnt wurde, zur Vermeidung der sehr gefährlichen ungleichförmigen Spannungen im Guß nicht räthlich, darin zu weit zu gehen, weshalb dann auch in neuerer Zeit Bögen von größerer Weite als 20 Fuß aus zwei oder mehreren Stücken zusammengesetzt, und durch Schrauben oder sonstige Verbindungen auf eine angemessene Weise an einander befestigt werden.

Wenngleich nun diese Bogensprengwerke auf sehr verschiedene Weise zu construiren sind, so lassen sie sich doch sämmtlich in zwei Klassen bringen, und zwar:

a) in solche, bei welchen die Holzconstruction, und

b) in solche, bei denen die Steinconstruction nachgeahmt ist.

Was die erste Art der Constructionen betrifft, so fand dieselbe bei den ersten ausgeführten eisernen Brücken Anwendung. Da sie aber immer sehr lange Gußstücke erforderte, wie aus den noch anzuführenden Beispielen zu entnehmen ist, und das Gießen großer Curvenstücke mit sehr vielen Schwierigkeiten verknüpft, sowie überhaupt die aus ungleichförmiger Abkühlung im Guß entstehende größere Sprödigkeit des Eisens an verschiedenen Stellen nicht zu verhindern ist, so wurde schon früher daran gedacht, auf welche Weise dieser Uebelstand zu beseitigen sei. Man glaubte dieses durch die Anwendung von Schmiedeeisen zu erreichen, und namentlich tauchten in Frankreich verschiedene Entwürfe von neuen Constructionen aus Schmiedeeisen auf, die aber nicht zur Ausführung kamen. Ein gewisser Peyne in England war der Erste, welcher auf die Idee kam, eiserne Rahmen so zusammenzusetzen, daß sie, gleich den Kanten eines Wölb-

steins, einen keilförmigen Raum einschließen und gleich diesem an einander gefügt, ein Gewölbe bildeten. Er machte 1790 den ersten Versuch mit einer aus solchen Wölbstücken gebildeten Rippe aus Gußeisen von 86 Fuß Spannweite, welcher Versuch auch vollkommen gelang. Der große Vortheil, den diese Anordnung darbot, nämlich kürzere Eisenstücke anwenden zu können, die nicht so gebrechlich als längere, und ferner auch nicht so schwierig zu gießen waren, veranlaßten bald eine allgemeine Anwendung dieser Construction. Mehrere Jahre später nahm John Nash ein Patent über eine von ihm erfundene Construction eiserner Brücken, welche darin bestand, daß 4 geschmiedete oder auch gußeiserne Platten, als so viel Seitenflächen eines Wölbsteins, mittelst Schrauben oder Niethen mit einander verbunden werden sollten. Diese Platten sollten dann innerlich nach unten eine vorspringende Leiste erhalten, um eine fünfte gekrümmte Platte einlegen zu können. Von dieser Idee wurde aber nie eine Hauptanwendung gemacht; in desto größerem Maße kam aber die Idee von Peyne zur Ausführung und wurden die größten gußeisernen Brücken nach diesem Principe ausgeführt.

Nach diesen allgemeinen Andeutungen wollen wir nunmehr zur Beschreibung der einzelnen Brücken übergehen und zunächst diejenigen anführen, bei welchen die Holzconstruction nachgeahmt ist.

Die erste große eiserne Brücke, welche mehr oder weniger einer Bogenconstruction aus Holz nachgebildet wurde, ist die in Fig. 623 und Fig. 624 in der Ansicht und im Querdurchschnitt dargestellte Brücke bei Colebrookdale über die Saverne. Dieselbe wurde, wie schon oben erwähnt, in den Jahren 1773—1779 von den beiden Hüttenmeistern Abraham Darby und John Willkinson ausgeführt.

Diese Brücke besteht nach der Breite aus fünf, von Mitte zu Mitte 4,746 rhein. Fuß von einander entfernte Rippen, welche die Brückenbahn tragen. Jede einzelne Rippe besteht aus drei concentrischen gegossenen eisernen Curven; die Sehne der innersten Curve ist gleich 98 Fuß und die Bogenhöhe gleich 40 Fuß 1 Zoll; ferner ist der Radius der innern Curve gleich 50 Fuß. Die innere Curve hat eine Stärke (Dicke) von 5,08 Zoll und eine Höhe gleich 8 Zoll. Die beiden anderen Curven haben jede eine Stärke von 5,58 Zoll im Querschnitt. Die einzelnen Rippen ruhen am Bogenanfange in einer 4 Zoll dicken Platte k, welche von Gußeisen ist und aus fünf Stücken zusammengesetzt wurde, die mittelst Schwalbenschwänzen mit einander verbunden sind. Diese Platte, welche in Fig. 625 besonders dargestellt ist, ruht unmittelbar auf dem gemauerten Widerlager und ist mit Vertiefungen zur Aufnahme der Curven versehen. Die Hauptcurven a jeder einzelnen Rippe sind in den eisernen Schlußklotz d am Scheitel eingelassen und durch Schrauben mit demselben verbunden. Die beiden anderen Curven b und c jeder Rippe gehen nur bis unter die Brückenträger und sind an diese mittelst Schrauben befestigt. Die einzelnen Curven jeder einzelnen Rippe sind wieder unter sich durch die Radialsprossen f, f mit einander verbunden. Um die Curven an ihren Enden noch mehr zu befestigen und gleichzeitig um eine Unterstützung der Brückenbahn zu erzielen, sind an jeder Rippe die eisernen Stützsäulen h und l angeordnet, und diese, wie

die Curven, einige Zolle in die Widerlagsplatten k eingelassen. Die hintere Curve c ist in der Stückſäule h fest eingeschlossen. Die Stützsäulen sind doppelt und umschließen jede Curve, wie aus Fig. 624 ersichtlich ist. Unter sich sind diese Stützsäulen aber wieder durch die Riegel n, n mit einander verbunden; diese Riegel sind auf einer Seite in die Mauer eingelassen und auf der anderen an die an die Curven angegossenen Klötze o, o versetzt. Die Riegel umfassen aber, wo sie mit den Curven zusammentreffen, diese letzteren ebenfalls wieder. Durch diese verschiedenen hier angedeuteten Verbindungen werden die einzelnen Curven a, b, c jedesmal zu einer Rippe vereinigt. Zur größeren Verspannung der einzelnen Rippen sind ferner noch die Ringe m angeordnet, die mittelst eines Blattes in die Stützsäule l und in die obere Curve c eingelassen ist. Diese Ringe, so wie auch die Federn l, l, welche in die Stützsäulen eingelassen und von Schmiedeeisen angefertigt sind, und eben so auch die Radialsprossen ff dienen nicht allein zur bessern Verspannung der Curven und Stützsäulen, sondern sie haben außerdem auch noch den Zweck, die dem Gußeisen so sehr gefährlichen Stöße der darüberrollenden Fuhrwerke aufzufangen und durch ihre Federkraft unschädlich zu machen.

Die sämmtlichen Rippen sind nach der Breite der Brücke unter sich durch die horizontalen Verbindungsstäbe q, q und durch die Streben r und s verspannt. Die Stützsäulen h und l haben oberhalb dieser Verbindungsstäbe q eine Stärke von 11,3 Zoll und 5,58 Zoll. Auf die Rippen sind nach der Länge der Brücke hölzerne Straßenträger t gelegt, welche besonders dazu beitragen, die Stöße der darüberrollenden Fuhrwerke möglichst unschädlich zu machen. Auf diesen Straßenträgern liegen 3 Zoll starke zusammengefügte eiserne Platten, die durch Schrauben mit einander verbunden sind. Diese Platten sind dann mit einer Mischung von Lehm und Eisenschlacken mehrere Zoll hoch überladen und bilden somit den 24 Fuß breiten Fahrweg zwischen den eisernen Geländern.

Wenngleich diese Brücke sich im Ganzen sehr gut erhalten hat, mit Ausnahme kleiner Versenkungen, die sich am Widerlager gezeigt haben, so ist dieses Ergebniß doch keineswegs der Construction zuzuschreiben, sondern lediglich der ausgezeichneten Güte des dazu verwendeten Eisens und der großen Sorgfalt, welche auf den Guß des Eisens verwendet worden ist. Denn wäre das Eisen weniger gut, und der Guß weniger sorgfältig ausgeführt worden, so würden sich schwerlich die ca. 68 Fuß langen Curven a erhalten haben. Wie mißlich überhaupt diese Construction ist, läßt sich auch noch daraus abnehmen, daß eine nach diesem Muster zu Stramford aufgestellte Brücke, deren Spannweite 90 Fuß engl. betrug, bei der Ausrüstung gerade im Scheitel zusammenbrach, ohne daß die Widerlager gewichen waren. Das sämmtliche Eisenwerk zu der Brücke bei Colebrookdale soll 785150 Pfd. cölnisch gewogen und ca. 180000 Franken gekostet haben.

Eine andere eiserne Brücke, welche Telford 1795 über die Saverne zu Buildwas unweit Colebrookdale baute, ist in den Figuren 630 und 631 näher dargestellt.

Da die Ufer hier nur eine geringe Höhe hatten und somit nicht erlaubten, dem eisernen Bogen, welcher eine Spannweite von ca. 130 Fuß erhielt, eine große Höhe zu geben, ohne den Anfang desselben sehr niedrig zu stellen, oder hohe Auffahrten zu machen, so ordnete Telford noch einen zweiten Bogen an, welcher mit dem unteren als Sprengwerk dienenden Bogen ein Bogenhängwerk bildete und zwar in folgender Art: Die Brücke, welche eine Breite von 18 Fuß hat, besteht aus zwei Hängewerks- und drei Sprengwerksrippen g, welche letztere in gleichen Abständen von einander, nämlich eine an jeder Außenseite und die dritte in der Mitte unter den Brückenweg angebracht sind. Die Hängewerksrippen fangen an dem Widerlager etwa 9 Fuß niedriger an, als die Sprengwerksrippen; die Bogenhöhe dieser Hängewerksrippen beträgt 34 Fuß, dagegen haben die Sprengwerksrippen nur eine Bogenhöhe von 17 Fuß. Die Hängewerksrippen haben einen Querschnitt von 18 Zoll Höhe und $2^5/_8$ Zoll Stärke; die Sprengwerksrippen haben aber nur eine Höhe von 15 Zoll und eine Stärke von $2^1/_2$ Zoll im Querschnitt. Jede dieser Rippen besteht aus 3 Stücken, und sind dieselben mittelst Flanschen und Bolzen mit einander verbunden. Die Verbindung dieser beiden Rippen zu einer Hauptrippe ist in der Nähe der Widerlager durch Hängesäulen b c und durch die Kreuzstreben a b und c d, welche in die einzelnen Rippen schwalbenschwanzförmig eingelassen und damit verschraubt sind, beschafft, wie dieses auch aus Fig. 631 A näher hervorgeht. Diese Verbindungsstücke haben eine Breite von 5 Zoll und eine Dicke gleich 3 Zoll. Am Scheitel sind die Rippen ebenfalls durch schwalbenschwanzförmig eingelassene Hängesäulen von $10^1/_4$ Zoll Breite und $4^1/_2$ Zoll Dicke mit einander verbunden, wie dieses aus Fig. 631 B näher ersichtlich ist. Am Widerlager ruhen die drei Rippen auf eisernen Platten von 3 Fuß Breite und 3 Zoll Dicke, stoßen aber nicht unmittelbar gegen die Widerlagsmauern, sondern gegen an dieselben vertical angelehnte eiserne Stangen, welche $4^1/_2$ Zoll nach allen Seiten hin stark sind; diese Stangen sind in den Widerlagsmauern mittelst starker Anker befestigt. Die Anordnung der eisernen Widerlagsplatten ist in Fig. 631 C angedeutet.

Was den Belag dieser Brücke betrifft, so besteht derselbe aus gußeisernen Platten. Nach der Breite der Brücke hin, sind diese Platten aus vier Stücken zusammengesetzt, welche bei ihrer jedesmaligen Zusammenfügung einen 4 Zoll hohen vorstehenden Rand haben, durch welchen Verbindungsschrauben gehen. Nach der Länge der Brücken sind sie ebenfalls in ihren Stoßfugen zusammengeschraubt, zu welchem Ende sie auch an diesen Seiten mit vorstehenden Rändern versehen sind. Diese Platten bilden, da sie sich gegen die Widerlager stemmen, ebenfalls wieder einen Bogen, der, wenn auch nicht sich allein tragend, doch jedenfalls die Last, welche auf die Rippen sonst drücken würde, etwas verringert. Die Widerlager sind hier hohl angeordnet und äußerlich mit eisernen Platten verkleidet.

Das Gewicht des zu dieser Brücke verwendeten Eisens soll $137^1/_2$ Tons, und die Gesammtkosten der Brücke mit Inbegriff der Widerlager nur gegen 6000 Pfund Sterling betragen.

Eine ebenfalls zu der ersten Gattung gehörende Brücke ist der Pont des

arts oder die Louvrebrücke zu Paris, welche Brücke in den Figuren 646 und 647 in der Ansicht und im Querschnitt dargestellt ist.

Die ganze Brücke, wovon hier nur ein Theil dargestellt ist, besteht aus neun Bögen, wovon jeder eine Spannweite von 57,8 Fuß und eine Pfeilhöhe von 10 Fuß hat. Die Pfeiler haben an ihrem oberen Ende eine Stärke von 6,2 Fuß in der reinen Mauer. Jeder Bogen hat 5 Rippen, die 7,75 Fuß von Mitte zu Mitte von einander entfernt, und aus einer Verbindung von Curven in Kreisbogen gebildet sind. Das Hauptstück jeder einzelnen Rippe ist eine gußeiserne Curve von 61,7 Fuß Weite mit einem rechteckigen Querschnitt von 0,54 Fuß Höhe, und 0,27 Fuß Dicke, die aus zwei Stücken besteht, welche im Scheitel in einem Schlußklotz, Fig. 648 A und B, zusammenstoßen. Diese Curve steht in gußeisernen Lagern, welche in die Pfeiler eingelassen sind. In den Gewölbewinkeln sind andere, im Querschnitt weniger hohe und breite Curven a so angebracht, daß sie sich auf die vorigen unmittelbar stützen und auch gleichzeitig dazu dienen, diese in der Mitte ihrer Schenkel zu verstreben. Auf der Mitte eines jeden Pfeilers stehen 5 senkrechte starke Stäbe, die die einzelnen Strebebögen unterstützen und gleichzeitig mit den Hauptcurven noch durch schräge Stäbe verbunden sind. Die einzelnen Rippen werden in ihrer Lage gegen einander durch Verbindungsschwellen gehalten, welche auf den Hauptcurven liegen und auf jeder Seite eine Nase haben, wodurch sie dieselben fassen. Die fünf Stützen auf jedem Pfeiler sind einmal verriegelt und verstrebt, wie aus Fig. 647 ersichtlich ist. Ueber jeder Rippe sind, in gleichen Entfernungen schmiedeeiserne Stäbe c, d, e befestigt, welche die Querhölzer tragen, worauf die Brückenbahn ruht und welche Verbindung in Fig. 649 nach vergrößertem Maßstabe angegeben ist. Auf diesen Querhölzern, zwischen denen noch Windruthen angebracht sind, liegen die Bohlen, welche die Bahn der Brücke bilden. Wenngleich diese Brücke sehr sinnreich combinirt ist, so hat sich dennoch bei mehrfachen Gelegenheiten gezeigt, daß derselben eine hinreichende Verbindung fehlt, indem bei einer Ansammlung von Menschen auf dieser Brücke dieselbe nicht unbedeutend ins Schwanken gerathen ist. Dieses rührt nun wohl hauptsächlich daher, daß die Hauptquerverbindung, welche namentlich über jedem Pfeiler sich befindet, nur aus einer einmaligen Verriegelung und aus den vier blos am unteren Theile angebrachten Streben besteht. Die Schwankungen wären jedenfalls sehr bedeutend vermindert worden, hätte man statt dieser einfachen Verstrebungen eine doppelte Kreuzverbindung zwischen je zwei Streben bis unter die Querhölzer der Brückenbahn reichen lassen. Ferner aber wäre auch jedenfalls sehr zweckmäßig gewesen, eine ununterbrochne Verbindung der Bogenscheitel anzuordnen, indem dadurch einer Veränderung der Curven nach ihrer Längenrichtung unbedingt vorgebeugt worden wäre. Die Stäbe, welche die Querhölzer der Brückenbahn tragen, hätten dann diese Veränderung umschließen müssen, und hätten ihren Stützpunkt ebenfalls wieder auf den Curven erhalten.

Die Brückenbahn wird durch ein leichtes schmiedeeisernes Geländer begränzt.

Diese Brücke ist die erste eiserne Brücke, welche in Frankreich erbaut wurde. Dieselbe war von de Cessart entworfen, doch wurde dieselbe von Dillon, welcher den Bau leitete, modificirt. Im Jahr 1803 wurde dieselbe vollendet. Während des Baues der Brücke machte man einige Versuche über die Tragkraft einer einzelnen Rippe. Sie wurde auf unbewegliche Widerlager gestellt, und an mehreren Punkten derselben hing man Kisten mit dem doppelten Betrag derjenigen Last angefüllt, welchen sie im äußersten möglichen Fall tragen sollte. Während der Belastung bemerkte man, daß die Hauptcurve sich nahe am Scheitel etwas senkte und in den Schenkeln aufschwoll, daß sie aber nach der Entlastung sogleich wieder ihre erste Gestalt annahm. Die Größe der Senkung, so wie auch die Größe der Belastung sind jedoch nicht angegeben.

Eine andere zu derselben Klasse gehörende Brücke ist die in den Figuren 620 und 621 dargestellte neue Friedrichsbrücke in Berlin.

Diese Brücke hat sieben Oeffnungen, deren Weiten aber verschieden sind und von 21 Fuß bis 29 Fuß 7 Zoll abwechseln, was daher rührte, daß man wegen Kostenersparung alte Pfeiler beibehielt. In jeder der sieben Oeffnungen befinden sich neben einander 8 eiserne Bögen, die nach der Mitte hin etwas enger zusammengestellt sind, wie dieses in Fig. 621 näher angedeutet ist, welche Figur einen Theil des Querschnitts der Brücke darstellt. Der Grund, warum man die Bögen nach der Mitte hin etwas näher zusammengestellt hat, ist, um der auf der Mitte der Brücke sich bewegenden größeren Last einen stärkeren Widerstand leisten zu können. Es sind daher die Bögen so gestellt, daß die äußeren von Mitte zu Mitte 5 Fuß, die darauf folgenden 4 Fuß 3 Zoll und die drei mittleren 3 Fuß 10 Zoll von einander entfernt sind.

Die Widerlager der Bögen liegen mit ihren niedrigsten Kanten in einer Ebene und sind abgeschrägt; auf diesen abgeschrägten Flächen liegen die eisernen Sohlplatten Fig. 622 A und B, welche den Bögen als Unterlager dienen, wie bei a Fig. 620 ersichtlich. Diese Platten, um sie am Herabgleiten zu hindern, haben an der unteren dem Steine zugekehrten Fläche eiserne Dübel, welche in den Stein eingelassen und in denselben vergossen sind.

Die eisernen Bogen bestehen jeder aus zwei Hälften, die in der Mitte (im Scheitel) sich gegen einen Schlußbalken lehnen, der aus 8 einzelnen Stücken, wie in Fig. 622 C und D angegeben, besteht, die aber wieder durch eiserne Verbindungsplatten (s. Fig. 621 bei b) vermittelst eiserner Schraubenbolzen zusammen verbunden sind und somit einen durchgehenden Schlußbalken bilden. Quer über die Bögen liegen 1 Fuß breite, an jedem Ende mit einem Medillon verzierte eiserne Platten (s. Fig. 622 E und F). Diese Platten, welche immer aus zwei Stücken von 14 und 18 Fuß Länge bestehen, und abwechselnd über dem vierten und fünften Bogen zusammengestoßen sind, haben an ihrer unteren Seite vorstehende Knaggen in gleichen Entfernungen wie die der Bögen, welche sie umfassen. Diese Knaggen sind gleich mit angegossen und zur Verstärkung der Platte ist zwischen denselben eine eben so hohe Nervenverstärkung, wie die der Knaggen gleichzeitig mit angegossen. Diese Platten haben eine Dicke von 1 Zoll.

Wo der Bogen an den Pfeiler lehnt, ist jedesmal ein eisernes Widerlagsstück angebracht, welches in dem Pfeiler befestigt und mit Knaggen ebenfalls

versehen ist, um mittelst derselben den Bogen an der hintern Seite, welche in dem Pfeiler steht, zu umschließen.

Eine der vorigen ähnliche Brücke ist die in den Figuren 653—657 dargestellte Weidendammer Brücke zu Berlin.

Diese Brücke hat fünf Oeffnungen, von denen die mittelste als Durchfahrtsöffnung mit Zugklappen versehen ist. Jede der vier Bogenöffnungen zu beiden Seiten der Durchfahrt ist im Lichten 28 Fuß 8 Zoll weit; dagegen hat die Durchfahrt in der Mitte eine lichte Weite von 26 Fuß 5 Zoll. Die ganze Länge der Brücke beträgt mit Einschluß der Stirnpfeiler an den Ufern 177 Fuß.

Diese Brücke unterscheidet sich von andern eisernen Brücken hauptsächlich darin, daß ihre gußeisernen Bogen nicht auf massiven gemauerten, sondern auf eisernen Pfeilern ruhen, die wieder von einem eisernen Roste, welcher stets unter Wasser bleibt, getragen werden. Der Rost unter jedem eisernen Pfeiler besteht hier aus zwei Pfahlreihen, deren jede besonders verholmt ist; darüber ist ein Bohlenbelag gelegt; gleichzeitig sind aber auch Zangen auf die Holme gekämmt und darüber sind dann eiserne Winkelbänder so angeordnet, daß ihre Schenkel an zwei einander gegenüber stehenden Pfählen heruntergehen und mittelst eines durch die ganze Breite des Rostes durchgehenden eisernen Schraubenbolzens an dieselben befestigt sind. Diese Anordnung hat den Zweck, das Ausweichen der einen oder der anderen Pfahlreihe zu verhindern. Diese Anordnung geht aus den Figuren 655 A und 656 deutlich hervor und bedarf keiner weiteren Erklärung.

Was die Widerlagspfeiler der Durchfahrt betrifft, so sind unter jedem derselben zwei Reihen Pfähle befindlich und diese mit Spundwänden umgeben, deren Mitten zwei Fuß vom Mittel der bezüglichen Pfahlreihe abstehen. An der dem Strome zugekehrten Seite laufen diese Spundwände in einem spitzen Winkel zusammen. Die Pfahlreihen sowohl, als auch die Spundwände sind verholmt und liegt der darüber gelegte Bohlenbelag $1\frac{1}{2}$ Fuß unter dem niedrigsten Wasserstande. Mit diesem Bohlenbelage bündig sind 8 Zangen auf die Holme gekämmt und zwar dergestalt, daß unter jedes Paar Säulen und Pilaster eine solche Zange trifft, die dann wieder mittelst eiserner Winkelbänder an die Spundwand befestigt ist. Außerdem sind innerhalb zwischen den beiden parallelen Langspundwänden 5 hölzerne Ankerriegel b Fig. 657 in sechsfüßiger Entfernung von einander angebracht und mittelst eiserner Bügel an die, an der äußeren Fläche der Spundwände herumlaufenden Halbfalzrähmen e verklammert. Der innere Raum zwischen diesen Spundwänden ist größtentheils mit Schutt ausgefüllt und dieser festgestampft; etwa bis $1\frac{1}{2}$ Fuß unter dem Bohlenlager ist der Raum aber mit Mauersteinen ausgemauert.

Unmittelbar auf dem Bohlenbelage der Pfeiler an der Durchfahrt liegt eine eiserne Sohlplatte, welche $34\frac{1}{2}$ Fuß lang, 11 Fuß breit und 2 Zoll stark ist. Dieselbe ist nicht voll ausgegossen, sondern mit offenen Zwischenräumen versehen, und an den Stellen, wo die 16 eisernen Säulen und Eckpilaster, welche den eigentlichen Brückenpfeiler bilden, aufgestellt sind, sind Kränze angegossen, welche ein jedes Verschieben der Säulen verhindern. Ueber den Pfeilern liegt eine in der Form gleiche, jedoch etwas kleinere Sohlplatte

CC Fig. 654. Mit beiden Platten sind die Säulen und Pilaster, welche an beiden Enden vorstehende Ränder haben, durch vier Schrauben jedesmal verbunden. Sowohl die unteren Sohlplatten, als auch die Deckplatten bestehen jede aus drei Stücken, die in den Stoßfugen über einander greifen und daselbst mit Schrauben verbunden sind.

Um die Sohlplatte recht fest mit dem Roste zu verbinden, so gehen durch die Oeffnungen derselben sechs kurze eiserne Anker k Fig. 657, durch deren untere Köpfe eiserne Splinten l gesteckt sind, die mit einem Ende in den Rostpfählen festsitzen, mit dem anderen Ende aber durch die Spundpfähle reichen. Durch die oberen Köpfe sind keilförmige Splinten m getrieben, die vermittelst eiserner Balken, welche letztere mit ihren Enden auf den vorstehenden Rändern der Säulenfüße liegen, eine feste Verbindung hervorbringen. Außerdem gehen aber auch noch zwei längere Anker o Fig. 655B und Figur 657 durch die untere Sohlplatte bis zur Deckplatte hinauf. Am unteren Ende sind diese Anker mit einem länglich viereckigen Loche versehen, dessen Mittel auch das Mittel der oberen Deckplatte trifft, so daß zwei daselbst hindurchgetriebene eiserne Keile auf der oberen und unteren Fläche der genannten Platte festsitzen. Hierdurch hat man den Zweck zu erreichen gesucht, einmal die untere Platte mit dem Pfahlroste zu verbinden, ferner aber, eine Verankerung der oberen mit der unteren Platte zu bewerkstelligen.

Bei den Doppelpfeilern sind die Seiten, welche der Durchfahrtsöffnung zugekehrt sind, zwischen den Säulen mit Bohlen ausgesetzt und zwar die fünf inneren Zwischenräume mit hölzernen Bohlen, die beiden äußeren aber mit eisernen Platten. Da, wo diese Theile an die Säulen und Eckpilaster stoßen, sind an letztere $2^1/_2$ Zoll breite Leisten gegossen, woran die Bohlen mit ihren Enden angelegt und dann durch eiserne Schienen, welche auf der anderen Seite übergelegt werden, gemeinschaftlich an die angegossenen Leisten festgeschraubt sind. Auf der entgegengesetzten Seite des Doppelpfeilers findet in den beiden äußersten Zwischenräumen der Säulen und Pilaster dieselbe Verkleidung mit eisernen Platten statt; außerdem sind aber die vier mittelsten auf dieser Seite unter sich (s. Fig. 655B) und mit den correspondirenden Säulen der anderen Seite durch starke eiserne Kreuze s Fig. 657 verstrebt, um jeden Seitenschub zu verhindern oder doch entgegenzuwirken. Die Stirnseiten sind ebenfalls mit eisernen Platten verblendet, an welchen passende Verzierungen angebracht sind.

Die runden Säulen der Pfeiler haben unten 18 Zoll und oben 14 Zoll äußeren Durchmesser. Dieselben, so wie auch die Eckpfeiler sind innerhalb hohl gegossen und beträgt die Wandstärke $1^1/_2$ Zoll.

Die eisernen Bogen ruhen unmittelbar auf den oberen Sohlplatten; an diese Bogenrippen sind unterhalb Zapfen angegossen, welche in die viereckigen Oeffnungen u der Sohlplatte Fig. 654 passen. In diesen Zapfen sind Löcher, durch welche eiserne Keile eingetrieben sind, wodurch die Rippen mit der Sohlplatte fest verbunden werden. Im Schlusse stoßen die eisernen Bogen stumpf zusammen und werden durch besonders dazu geformte Queranker, die auf beiden Enden mit keilförmigen Platten versehen und gerade so lang sind, als der lichte Abstand zweier Bogenrippen beträgt, mit einander verbunden, und zwar

so, daß jede Platte des Queranker s an den zusammenstoßenden Bogenscheiteln mittelst 4 Schraubenbolzen befestigt ist. An den Bogenscheiteln sind ferner noch verticale vortretende Leisten angegossen, zwischen welchen die keilförmigen Platten der Queranker genau passen. Außerdem sind aber noch andere Querverbindungen angeordnet, und zwar eine jedesmal zwischen dem Bogenanfange und dem Scheitel, welche aus eisernen Stangen bestehen und zwischen je zwei Bogenrippen mit ihren Enden festgeschraubt sind. Eine zweite Verankerung nach der Quere besteht aus eisernen Kreuzverbindungen, die über den Säulen zwischen den Bögen angebracht sind (s. Fig. 655 bei v). Die Bogenrippen sind im Scheitel 15 Zoll hoch und haben durchweg eine Stärke von 2 Zoll.

Auf den Bogenrippen unmittelbar liegen eiserne Deckplatten, von denen jede in zwei Stücken gegossen ist und die auf den beiden mittleren Rippen abwechselnd zusammenstoßen. Von diesen Deckplatten ist immer die sechste an den Bogenrippen festgeschraubt, wozu die Lappen y dienen, die gleich an die Bogenrippen angegossen sind (s. Fig. 657). Diese Deckplatten haben eine Stärke von $^5/_4$ Zoll.

Ueber den Deckplatten sind zwei verschiedene Verankerungen angebracht, und zwar eine Längen- und eine Diagonalverankerung. Die Längenverankerung besteht aus drei nach der Länge der Brücke mit einander parallel laufenden 6 Zoll breiten 1 Zoll dicken Schienen α Fig. 655B, 656, 657, auf welchen in der Mitte eine 7 Zoll hohe und 1 Zoll dicke Rippe angegossen ist. Diese Verankerungen sind sowohl in dem Stirnpfeiler durch Verankerung befestigt, als auch mit den Ankern o verbunden. Zwischen diesen Verankerungen sind dann noch nach diagonaler Richtung ähnliche Schienen gelegt und mit diesen und unter sich verbunden.

Die Fugen der Deckplatten sind mit einer Mischung von Lehm, Tuchhaaren und Ziegelmehl ausgestrichen, und eine dünne Lage derselben Mischung ist über die sämmtlichen Deckplatten verbreitet, darauf gewöhnliche trockene Dammerde geschüttet und auf diese sind die beiden Fußwege mit Granitplatten, so wie der Fahrdamm mit Feldsteinen gepflastert. Das auf der Brücke sich sammelnde Wasser wird durch Abflußröhren, die durch die Deckplatten gehen, abgeleitet.

Das Brückengesimse, welches auf den Deckplatten an deren äußersten Enden angebracht ist, bildet im Querdurchschnitt einen rechten Winkel, dessen senkrechter Schenkel die Glieder des Gesimses enthält, während der horizontale Schenkel an den Deckplatten angeschraubt ist. Außerdem wird aber das Gesimse noch durch doppelte Winkelbänder in der bestimmten Stellung gehalten. Da, wo die Brückenklappen sich um ihre Achsen drehen, sind in dem Gesimse Einschnitte gemacht, Fig. 653, und das Geländer ist an der bezeichneten Stelle mit Thüren versehen, die geöffnet werden, wenn die Zugklappen aufgehen sollen.

Die Zugklappen bestehen aus drei Paar correspondirenden Zugklappen, die an ihrem vorderen und hinteren Ende durch Querbalken noch besonders befestigt sind. Die Einrichtung zum Oeffnen der Klappen ist ähnlich der bei der Marschallsbrücke in Berlin angewendeten (s. Fig. 457 und 458).

Was schließlich die Construction der einzelnen Pfeiler betrifft, so ist dieselbe zwar fest genug, allein nur da anwendbar, wo einmal kein Eisgang und ferner auch keine starke Strömung stattfindet; denn bei aller Festigkeit würde sie doch gegentreibenden Körpern wenig Widerstand entgegensetzen können. Auch selbst, wenn die einzelnen Säulen anstatt hohl, voll wären, würde diese Construction nicht vortheilhaft sein für Flüsse, die Eisgang führen und eine starke Strömung haben. Durch gegentreibende Körper würden sehr leicht die seitlichen Erschütterungen so bedeutend werden können, daß die einzelnen Verbindungstheile wegen der größeren Sprödigkeit des Gußeisens absprängen, und sobald dieses einmal der Fall, würden sich bald mehrere Theile lösen und somit die Stabilität der Brücke untergraben und diese vielleicht gar zum Einsturz gebracht werden.

Es entsteht übrigens noch hierbei die Frage, ob überall die obenbeschriebene Anordnung den steinernen Pfeilern vorzuziehen ist. Es ist nicht zu verkennen, daß die vorliegende Anordnung weniger Kosten verursacht, aber sobald man steinerne Pfeiler anwendet, so ist man auch im Stande, die Oeffnungen zwischen den Pfeilern bedeutend vergrößern zu können, weil ein solcher Pfeiler weit mehr Stabilität besitzt und ferner dem Bogenschub vermöge seiner Schwere einen weit größeren Widerstand entgegensetzt.

Diese bisher angeführten Beispiele werden genügen, das charakteristische dieser Arten von Brücken zu zeigen und wollen wir nunmehr zur zweiten Klasse übergehen, welche diejenigen Brücken enthält, bei welchen die Steinconstruction nachgeahmt ist.

Wie wir schon oben angeführt haben, war Peyne der Erste, welcher auf die Idee kam, bei gußeisernen Brücken die Steinconstruction nachzuahmen, indem er die einzelnen Rippen aus einer Menge keilförmiger Bogenstücke bestehen ließ. Nachdem man diese Idee durch Versuche, die vollkommen gelungen waren, erprobt hatte, suchte man auch gleich dieselbe in der Praxis auszuführen und entwarf nach dieser Idee Rowland Burton eine Brücke von 229 Fuß Spannweite und einer Bogenhöhe von 33 Fuß, also beiläufig von $1/7$ Sprengung. Diese Brücke ist bei Wearmouth nahe bei Sunderland über den Wearfluß ausgeführt vom Ingenieur Wilson.

Diese Brücke, welche in den Figuren 662 und 663 dargestellt ist, besteht, wie schon erwähnt ist, nur aus einem einzigen Bogen, dessen Anfänge 92 Fuß über dem Flußbette liegen. Die innere Wölblinie ist ein Kreisbogen von 215 Fuß Halbmesser. Die Brückenbahn wird von 6 Rippen getragen, die 5,83 Fuß von Mitte zu Mitte von einander entfernt sind. Dieselben bestehen aus an einander gesetzten Gewölbstücken von Gußeisen, welche zusammen drei concentrische 0,487 Fuß hohe, 0,277 Fuß breite Curven bilden, die durch darauf senkrechte 1,696 Fuß lange, 0,163 Fuß breite, 0,972 Fuß im Lichten von einander entfernte Radialsprossen mit einander verbunden sind. In jedem Wölbstücke sind nur zwei Sprossen, und es ist daher im Mittel 2,281 Fuß breit und 4,855 Fuß hoch. Die einzelnen Wölbstücke sind durch bogenförmige geschmiedete eiserne Schienen, welche in drei beim Guß der Wölbstücke an jeder Seite gelassenen Rinnen liegen, und durch Schraubenbolzen, für welche auf einander

treffende Löcher in den Schienen und den Curven vorhanden sind, mit einander verbunden. Um die Rippen nach der Quere mit einander zu verbinden und dieselben in unveränderlicher Entfernung von einander zu halten, sind dazwischen, je von zwei zu zwei Wölbstücken, gußeiserne Röhren mit Blättern als Riegel angebracht und zwar abwechselnd in der äußeren und in der inneren Wölbung. In jedem Blatte dieser Verbindungsröhren befinden sich zwei Löcher, welche genau auf diejenigen in den Wölbstücken passen und durch welche dann ebenfalls die Bolzen gesteckt sind. Die Gewölbwinkel sind mit gußeisernen Ringen ausgefüllt, deren Durchmesser von den Anfängen nach dem Scheitel zu immer kleiner werden. Auf diesen Ringen, welche nicht nur mit den Wölbstücken, sondern auch mit einander verbunden sind, ruhen die Straßenbalken, welche den Belag der Brücke tragen.

Kurze Zeit nach Vollendung der Brücke und während des Gebrauchs derselben hatten sich Mängel gezeigt, welche darin bestanden, daß die Rippen in der Mitte aus der verticalen Ebene gewichen, indem die Blätter an mehreren Verbindungsröhren abgesprengt waren. Bei der großen Anzahl von Wölbstücken, aus welchen jede einzelne Rippe besteht, und bei der geringen Bogenhöhe ließ sich solches wohl auch nicht anders erwarten, zumal die sehr merkliche Converität der Fahrbahn keineswegs dazu beitrug, die Bewegungen, durch darüberrollende Lasten hervorgebracht, zu mindern. Die dadurch entstandenen Mängel wurden ausgebessert und zur besseren Querverbindung in der Höhe des Mittelbogens noch große Kreuzbänder zwischen den Bindern angebracht.

Um den hölzernen Belag gegen Fäulniß zu schützen, ist derselbe mit einer Mischung von Kalk und Theer überzogen, worauf eine Kiesschüttung liegt.

In den Figuren 663 ist die Verbindung der Curven nach einem vergrößerten Maßstabe angegeben.

Die Brücke zu Staines, welche in den Figuren 664 und 665 dargestellt ist, wurde 1802 von demselben Ingenieur erbaut, welcher die vorige Brücke ausgeführt.

Diese Brücke bestand nur aus einem Bogen von 54,85 Meter Spannung, 4,88 Meter Höhe und 79,23 Meter Halbmesser. Die 6 Rippen waren von Mitte zu Mitte 1,83 Meter von einander entfernt und aus Wölbstücken von Gußeisen zusammengesetzt. Da man bei der Brücke von Sunderland sich davon überzeugt hatte, daß es für die Tüchtigkeit des Bauwerks weniger zweckmäßig sei, die einzelnen Rippen aus einer zu großen Anzahl von Wölbstücken zusammenzusetzen, indem durch die größere Anzahl von Fugen auch nothwendig eine größere Beweglichkeit entstehen muß, so suchte man diesen Nachtheil bei der Brücke zu Staines dadurch aufzuheben, daß man den Wölbstücken beinahe eine doppelte Länge der Wölbstücken der Brücke von Sunderland gab, aber gleichzeitig verringerte man auch die Höhe derselben. Jedes Wölbstück erhielt eine Höhe von 1,16 Meter und eine Länge von 1,474 Meter; dasselbe bestand aus zwei, durch radiale Sprossen mit einander verbundenen, 0,15 Meter im Querschnitt hohen, 0,108 Meter breiten Curvenstücken. Die bei der Sunderlandbrücke angewendeten Schienen von geschmiedetem Eisen auf den gegossenen Bogenstücken waren hier weggelassen und, um die einzelnen Stücke

mit einander verbinden zu können, wendet man bewegliche Zapfen an. Die Anordnung dieser Verbindung war folgende: In den Enden der Curvenstücke waren Zapfenlöcher befindlich, und in je zwei solche gegen einander treffende Zapfenlöcher zweier gegen einander stoßender Curvenstücke wurde ein gußeiserner Zapfen gesteckt, und dieser dann durch zwei geschmiedete eiserne Pflöcke befestigt wie dieses in Fig. 665 durch punktirte Linien angedeutet ist. Die Rippen wurden durch Verbindungsrahmen in ihrer Lage gegen einander erhalten, und bestand jeder Rahmen aus zwei wagerechten, von einem Haupte bis zum andern reichenden Querstücken, welche durch Sprossen mit einander verbunden waren. Auf jeder Seite einer Rippe befand sich eine Sprosse, so daß jeder Stoß einer Curve von einem Verbindungsrahmen ganz umfaßt wurde.

Die Gewölbwinkel waren mit gußeisernen Ringen ausgefüllt, welche in jeder Rippe zwei Schienen unterstützten, auf welchen die ebenfalls gegossenen Belagplatten ruhten, die durch kreisbogenförmige Stücken verstärkt waren. Die Belagplatten waren 0,609 Meter breit und so lang, daß sie abwechselnd je auf zwei und drei Rippen auflagen.

Bei dieser Brücke zeigten sich mehrere Jahre nachher bedeutende Mängel und nach vielen fruchtlosen Reparaturen ist dieselbe zuletzt eingestürzt. Die Ursache dieses Einsturzes wurde der Unzulänglichkeit der einen Ufermauer zugeschrieben, welche auf ihrer Basis horizontal fortgeschoben war, ohne daß man eine Veränderung in ihren Theilen wahrgenommen hatte. Dieser Umstand mußte bei der vorliegenden Construction um so nachtheiliger hervortreten, weil mit einer Veränderung der Bogenlinie auch nothwendig der Bruch eines oder mehrerer Zapfen erfolgen mußte und eine hinreichende Verbindung wieder herzustellen sehr schwierig war. Weit zweckmäßiger würde es jedenfalls sein, wenn der Erbauer die Verbindung der Curvenstücke auf eine ähnliche Weise wie bei der Brücke von Sunderland hergestellt hätte, wo dann die Festigkeit der schmiedeeisernen Schienen zur Erhaltung der Brücke bedeutend würde beigetragen haben, trotz der Ausweichung des einen Widerlagers.

Fig. 664 zeigt die Hälfte der Ansicht dieser Brücke; Fig. 664 A einen Querschnitt derselben und Fig. 665 eine perspectivische Ansicht der Verbindung zweier Curvenstücke durch die Verbindungsrahmen.

Eine andere ebenfalls sehr großartige eiserne Brücke ist die in Fig. 632 dargestellte Southwork-Brücke, welche in London zwischen der London- und Blackfriars-Brücke über die Themse erbaut ist.

Zu dieser Brücke waren verschiedene Entwürfe eingereicht, die wir aber hier nicht weiter anführen wollen, mit Ausnahme desjenigen Entwurfes von Telford. Nach diesem Entwurfe sollte die Brücke aus einem Bogen von 600 Fuß Oeffnung bestehen; die Anfänge desselben sollten so hoch gestellt werden, daß sie bei hoher Fluth noch nicht erreicht würden; ferner sollte der Bogen selbst eine Höhe von 65 Fuß erhalten. Die Brücke sollte an dem Widerlager eine Breite von 90 Fuß erhalten und in der Mitte sich bis zu 45 Fuß verengen. Innerhalb dieser Breite von 45 Fuß aber sollten 7 gegossene eiserne Rippen auf gleichen Abständen, parallel mit einander laufend, angebracht werden. 22 Fuß, auf jeder Seite des Widerlagers, außerhalb dieser eigentlichen

Breite der Brücke sollte die erste, 14 Fuß außerhalb derselben die zweite, und 6 Fuß außerhalb die dritte Diagonalrippe anfangen; die äußerste aber sich in der Mitte mit der äußersten gerade laufenden, die zweite Diagonalrippe aber mit der dritten gerade ausgehenden und die beiden dritten Diagonalrippen mit der dritten Parallelrippe sich vereinigen. Zur Verbindung der einzelnen Rippen zu einem Ganzen sollten jedesmal auf etwa 10 Fuß Abstand, quer über die ganze Brückenbreite, Eisenstangen gehen, welche in die Rippen eingelassen würden. Alle Rippen sollten endlich bis in die Widerlagskammern verlängert werden und daselbst gegen eiserne Ruheplatten von 23 Fuß Länge anstoßen.

Die Diagonalrippen sollten dazu dienen, um die jedenfalls sehr nachtheiligen Seitenschwingungen des großen Bogens zu vermindern, ferner aber auch, um die Stabilität zu vergrößern.

So großartig und so durchdacht dieses Project nun auch sein mochte, so zweifeln wir doch an der Ausführbarkeit desselben; denn erstlich wären durch die Diagonalrippen die Schwankungen nicht verhindert worden, indem sie den Bogen, der hier ebenfalls aus vielen Stücken zusammengesetzt werden mußte, da wo sie mit einer Rippe zusammentreffen sollte, dieselbe ungleich beschwerten. Die Diagonalrippen mußten ferner in ihrem Scheitel einen festen Stützpunkt erhalten; dieser konnte aber nicht in der gehörigen Weise geschaffen werden, indem der nothwendige Gegendruck nicht vorhanden war. Weit zweckmäßiger und besser würden jedenfalls Diagonalstreben zur Erhaltung des Gleichgewichts des Bogens angewendet worden sein, statt der Diagonalrippen. Doch wir wollen auf diesen Gegenstand nicht weiter eingehen; manche Zeitumstände verhinderten die Ausführung und man gab später, als die Erbauung dieser Brücke wieder aufgenommen wurde, dem Projecte von Rennie, die Brücke aus drei Bogen zu erbauen, den Vorzug, weil man dasselbe für ausführbarer und die darnach gebaute Brücke auch für dauerhafter hielt.

Nach diesem von Rennie ausgearbeiteten Projecte ist nun die in Fig. 632 dargestellte Brücke ausgeführt.

Diese Brücke hat drei Bögen; die Oeffnung des mittleren Bogens, welcher in der Zeichnung nur zur Hälfte dargestellt ist, beträgt 240 englische Fuß und die Bogenhöhe 24 Fuß; die Oeffnung der beiden äußeren Bögen ist aber 210 Fuß und ihre Höhe 21 Fuß. Es ist also der mittlere Bogen noch größer und flacher als der Bogen der Brücke bei Sunderland. Die Stärke eines Widerlagers beträgt 46 Fuß und die eines Pfeilers, die bis zum Brückenbelag fortgesetzt sind, 24 Fuß; die Länge dieser Pfeiler beträgt 74 Fuß. Die Breite der Fahrbahn über die Brücke beträgt 28 Fuß und die der Fußwege auf jeder Seite 7 Fuß.

Jeder Bogen der Brücke besteht aus 8 Rippen, die in gleichen Entfernungen von einander aufgestellt sind. Jede einzelne Rippe besteht wieder aus 13 Gewölbeplatten; diese Gewölbeplatten sind in dem mittleren Bogen jede 20 Fuß 6 Zoll 6 Linien lang, 7 Fuß 5 Zoll hoch und 3 Zoll 2 Linien dick. Diese Platten, so wie alle übrigen Hauptconstructionstheile sind von gegossenem Eisen. Aeußerlich haben diese Blätter Ränder, die 2 Zoll 9 Linien hervortreten und 4 Zoll 9 Linien hoch sind; diese Ränder umgeben die ganze Platte und bilden

äußerlich einen Rahmen, wie dieses aus Fig. 632 näher ersichtlich ist. An den beiden Enden jeder solchen Platte ist ein Rand von ebenfalls 4 Zoll 9 Linien Breite und 4 Zoll 3 Linien Höhe angegossen; derselbe endet in einem prismatischen Einschnitt e, dessen Tiefe 5 Linien beträgt, wie solches in Fig. 634B näher angedeutet ist. Zwischen je zwei dieser Gewölbeplatten a a Fig. 634A geht ein Verbindungsstück f f rechtwinkelig mit denselben, quer durch die ganze Brückenbreite, und dient daher nicht allein zur Verbindung der einzelnen Gewölbeplatten einer Rippe, sondern auch, um eine Verbindung sämmtlicher Platten unter sich hervorzubringen. An die zu diesem Zwecke an die Gewölbeplatten a a Fig. 634B gegossenen Vorsprünge d d stoßen die Hervorragungen g g der Verbindungsstücke f f; durch zwei derselben und durch zwei Vorsprünge d d einer Gewölbeplatte werden nach der ganzen Höhe der Platten vier Schrauben i i (s. auch ferner Fig. 634) durchgezogen. Der leere Zwischenraum, welcher durch den prismatischen Einschnitt e entstanden ist, ist mittelst eines eisernen Keils, von oben herab ausgefüllt, und hat dieser Keil eine solche Gestalt, daß er genau in den prismatischen Einschnitt paßt. Diese Verbindungsplatten f f (Fig. 634) sind nach ihrer Länge aus zwei Theilen zusammengesetzt, Der eine Theil ist 30 Fuß 6 Zoll und der andere 17 Fuß 3 Zoll 6 Linien lang; dieselben sind jedesmal in der Mitte zweier Rippen zusammengesetzt, wie in Fig. 634 C angegeben ist. An jede Verbindungsplatte ist ein hakenförmiger Ansatz gegossen, welche bei der Zusammensetzung in einander greifen und wo dann in den Zwischenraum zum festeren Anspannen ein eiserner Keil eingetrieben ist. Zur Vermehrung der Steifigkeit der einzelnen Bögen und um die Seitenschwingungen möglichst zu vermindern, sind Diagonalstreben, wie in Fig. 633 angedeutet, angeordnet. Diese Diagonalstreben sind ebenfalls von Gußeisen und mit den einzelnen Gewölbeplatten an eigends dazu angegossene Ansätze durch Schraubenbolzen verbunden.

Die Gewölbewinkel sind hier durch eine Verbindung diagonal sich kreuzender Streben ausgefüllt, welche auch gleichzeitig dazu dienen, um das Gewölbe mit dem Brückenweg in Verbindung zu setzen. Diese Strebenverbindungen bestehen, wie Fig. 635 zeigt, aus einzelnen Stücken, die an einer Seite vorstehende Ränder haben, die mittelst durchgehender Schrauben mit einander verbunden sind. An den Gewölbeplatten sind an der oberen Seite ebenfalls Hervorragungen, an welche die Verbindungsstücke festgeschraubt sind.

Ueber sämmtlichen Rippen liegen gußeiserne Platten, welche den mit Steinen gepflasterten Fahrweg, so wie die steinernen Fußwege aufnehmen.

Vergleichen wir die Construction dieser Brücke mit der der Brücke bei Sunderland, so ist leicht zu erkennen, daß diese letztere vielfach nachsteht gegen die erstere; denn nicht allein; daß der Bogen aus einer weit größeren Anzahl Stücken besteht, sondern es fehlt auch die Querverbindung in dem Grade, wie solche bei der Southwark-Brücke angegeben ist. Bei dieser Brücke ist durch die Querverbindungsstücke die Construction zu einem Ganzen geschaffen. Bei der Sunderland-Brücke müssen hauptsächlich die schmiedeeisernen Stangen, welche die einzelnen Wölbstücke mit einander verbinden, die Hauptverbindung herstellen, was aber immer sehr mißlich und durchaus so eingerichtet ist, daß

leicht Schwankungen entstehen müssen, wie sich dieses auch in der Wirklichkeit ergeben hat und man genöthigt gewesen ist, nachträglich noch bedeutende Querverbindungen anzubringen. Dieser nachtheilige Umstand mag auch hauptsächlich in der ungleichen Ausdehnung des Guß- und Schmiedeeisens gelegen haben.

Nach dem Muster der Southwark-Brücke wurden die meisten gußeisernen Brücken Englands ausgeführt, nur mit dem Unterschiede, daß immer kleinere Spannweiten angenommen wurden. Wir werden hier noch einige kleinere Brücken Englands näher anführen.

Dahin gehört zunächst die bei Trent über den Lary erbaute Brücke, welche in Fig. 658 näher dargestellt ist. Diese Brücke hat einen Bogen, dessen Weite 44 Meter beträgt. Dieser Bogen besteht aus 5 Rippen (s. Fig. 658B), die jede aus 7 einzelnen Wölbplatten bestehen; zwischen diesen Gewölbeplatten gehen auch wieder Verbindungsstücke rechtwinkelig mit denselben, quer durch die ganze Brückenbreite. Die Anordnung der Verbindung dieser Theile, und zwar bei einer innern Rippe, ist in Fig. 659D ersichtlich, wo d d die beiden Gewölbeplatten mit den angegossenen Rändern bezeichnen, durch welche auf jeder Seite 3 Schraubenbolzen gehen, die die Wölbplatten mit dem Verbindungsstücke e verbinden. In Fig. 659E ist die Verbindung einer äußeren Rippe angegeben, wo d d ebenfalls die Gewölbeplatten und e das Verbindungsstück bezeichnen. In Fig. 659A ist diese letztere Verbindung im Durchschnitt angegeben, und haben hier die Bezeichnungsbuchstaben dieselbe Bedeutung, wie in 659D. — Fig. 659B zeigt einen Durchschnitt der Verbindung einer Mittelrippe.

Die Bogenschenkelausfüllung wird hier ebenfalls durch diagonal sich kreuzende, die Segmente mit der Bahn verbindende gußeiserne Streben bewirkt. Diese Strebenverbindungen, welche wieder aus einzelnen Rahmen bestehen, die mit einander verschraubt werden, haben an ihrer unteren Kante eine Feder, die angegossen ist und in eine Nuthe paßt, die in der oberen Seite der Gewölbeplatten sich befindet; ferner aber sind an der hinteren Seite noch Ansätze angegossen, durch welche Löcher gehen. Diese Ansätze passen mit den an den Wölbplatten befindlichen Ansätzen, in welchen ebenfalls Löcher befindlich sind, zusammen; durch die auf einander treffenden Löcher sind Schraubenbolzen gesteckt und somit die Schenkelausfüllung mit den Wölbplatten fest verbunden. Bei den mittleren Rippen sind an beiden Seiten jeder einzelnen Rippe solche Ansätze angegossen. Diese Anordnung geht aus den Figuren 659A bei f und 661 bei k deutlich hervor.

Um Seitenschwingungen zu verhindern, ist hier eine über das ganze Bauwerk verbreitete Diagonalverstrebung angeordnet, wie aus Fig. 658B hervorgeht. In den Fig. 659B und C ist die Verbindung der Diagonalstreben mit den Wölbstücken in der Ansicht und im Grundriß nach vergrößertem Maßstabe dargestellt.

Die oberen Schenkelausfüllungen sind durch gußeiserne Röhren, als Riegel angebracht, der Quere nach verbunden, wie bei f Fig. 661 ersichtlich. Aus dieser Figur ist auch ferner ersichtlich, daß die unteren Wölbstücke, wo sie auf

die Widerlager treffen, auf eisernen Tragplatten ruhen, die an den Stellen, wo die Rippen darauf treffen, mit tiefen Nuthen versehen sind, in welche die einzelnen Wölbstücke eingreifen. Der Belag dieser Brücke besteht ebenfalls aus gußeisernen Platten.

In Fig. 660 ist die Verbindurg des Gesimses, welches aus gußeisernen kastenförmigen Rahmen besteht, mit dem unteren Brückentheil nach vergrößertem Maßstabe angedeutet.

In Fig. 625 ist ein Theil der Brücke Pont d'Austerlitz, welche im Jahre 1805 von Lamande über die Seine in Paris erbaut wurde, dargestellt. Dieselbe besteht aus 5 flachen und gleichweiten Bogen, von denen jeder 103 Fuß Weite und eine Bogenhöhe von 10,3 Fuß hat, so daß also die Sprengung gerade ein Zehntel beträgt. Die Pfeiler, welche nur bis zu den Anfängen der Bogen gehen und bis dahin sich 21,66 Fuß über den niedrigsten Wasserstand erheben, sind daselbst 9,55 Fuß stark. Die Wölblinie der Bogen ist eine Kreislinie von 134 Fuß Halbmesser.

Die Bögen bestehen aus sieben, 6,4 Fuß von Mitte zu Mitte von einander entfernten Rippen. Diese Rippen bestehen wieder aus einzelnen Wölbstücken von 6,14 Fuß Länge, deren jedes 3 concentrische, 0,43 Fuß hohe und 0,22 Fuß breite Curvenstücke enthält, die durch 0,19 Fuß in der Ansicht breite und 0,22 Fuß dicke normale Sprossen mit einander verbunden sind. Diese Wölbstücke haben bei b und c Fig. 627 hervorstehende Lappen, die durchlocht sind. Beim Aneinanderstoßen zweier Wölbstücke lassen diese Lappen einen Zwischenraum, in welchen eine Radialsprosse der Bogenausfüllung paßt und mit jenen verbunden wird. Ferner sind an den beiden Seitenkanten der Wölbstücke abwechselnd kleine schmale Falze und vorstehende Leisten, die beim Zusammensetzen der Wölbstücke in einander passen.

Die Gewölbwinkel sind mit ähnlichen Wölbstücken ausgefüllt, deren Sprossen sich auf die Hauptwölbstücke stemmen. Die mittleren Sprossen eines jeden dieser Wölbstücke sind unterhalb gabelförmig und umfassen die obersten Curven; die äußeren Sprossen dieser Stücke setzen sich aber, wie schon erwähnt, mit einer Verstärkung zwischen zwei Lappen, die an den beiden anliegenden unteren Wölbstücken befindlich sind, durch welche und die Verstärkung ein Schraubenbolzen geht.

Die Rippen werden unter einander durch 0,22 Fuß im Quadrat starke und 6,2 Fuß lange gußeiserne, an jedem Ende mit 2 Blättern versehene Riegel (Fig. 627 A) verbunden. Diese Riegel treffen auf die Stöße der Wölbstücke; in den Blättern sind Löcher, welche auf andere in den Curven treffen, durch welche beide dann Schraubenbolzen gehen, wodurch unter den Wölbstücken jedenfalls eine einfache und feste Verbindung hervorgebracht worden ist. Außerdem werden die Rippen noch durch eiserne Stangen verstrebt, wie dieses aus Fig. 625 A ersichtlich.

Die Mittelpfeiler gehen, wie schon oben angeführt, nicht weiter als bis zu den Anfängen der Bögen und dienen hier zu den Anläufen der Bogen-Pyramidalstücke (s. Fig. 626), mit welchen die Wölbstücke eben so verbunden sind, wie unter einander und oben angegeben ist. Diese Pyramidalstücke, die

übrigens aus einem Guß hergestellt sind, ruhen jedesmal auf einer eingemauerten Grundlage, die ebenfalls von Gußeisen ist. Diese letztere ist selbst einige Zoll tief in die Mauer eingelassen und greift ferner noch mit einem 5 Fuß langen Zapfen in die Mauer. In der Mitte derselben ist ein Zapfenloch, in welches der am Pyramidalstücke vorhandene Zapfen eingreift; das Pyramidalstück greift mit seiner Basis außerdem noch einige Zoll in die untere Grundlage ein. Um die äußeren Rippen an den Widerlagern zu befestigen, hat man in die Steine des Haupts der Ufermauern große Falze von Gußeisen (s. Fig. 626 A) eingelassen und befestigt, in welche die ersten Wölbstücke der Bögen eingesetzt sind.

Die Fahrbahn der Brücke ist von Zimmerholz und besteht aus starken Tragschwellen, die nach der Breite hin rechtwinkelig auf die Rippen gelegt und mit zusammengefügten Bohlen bedeckt sind. Diese Balken (Tragschwellen) werden durch Bänder von geschmiedetem Eisen, in der Form eines Andreaskreuzes, außerdem noch in ihrer Lage und Entfernung festgehalten. Die Fahrbahn ist mit Kieselsteinen chaussirt und hat Fußwege von Steinplatten. Das Brustgeländer ist von geschmiedetem Eisen.

Beim Aufstellen der Bögen überhöhte man den Scheitel um 2 Zoll, und damit die rauhe Fläche des Gußeisens sich desto inniger berühren möge, legte man in alle Fugen dünne Kupferplatten. Unmittelbar nach der Ausrüstung setzten sich die Bogen um etwa ½ Zoll und vergrößerte sich dieses Setzen bis auf etwa 3 Zoll. Dieses Setzen muß nun zunächst wohl dem Umstande zugeschrieben werden, daß man durch das Einlegen von Kupferstreifen die Bogenform und in Folge dessen auch die Radialfugen etwas veränderte; denn als man das Gerüste entfernte, mußte nothwendig eine Bewegung erfolgen, die dadurch entstand, daß der Bogen sich ins Gleichgewicht setzte und überhaupt ein Bestreben vorhanden war, die Radialfugen vollständig schließend zu machen. Ob in Folge dieser Bewegung auch die Brüche in einigen Sprossen in der Nähe der Stirnpfeiler entstanden waren, ist wohl schwer zu bestimmen; allein es läßt sich dieses wohl mit mehr Grund annehmen, als die Voraussetzung, daß dieser Umstand durch das Ueberfahren sehr schwerer Fuhrwerke entstanden sei. Uebrigens haben diese Brüche keinen wesentlichen Nachtheil hervorgebracht, indem es nur einige Sprossen waren, an denen die Brüche entstanden waren und die nur dazu dienen, die Entfernung der Curven von einander zu erhalten. Man hat diesen Schaden dadurch wieder hergestellt, daß man geschmiedete eiserne Schienen auf die zerbrochenen eisernen Sprossen legte und dadurch die Verbindung unter den Curven wieder herstellte.

Die Mittelpfeiler gehen, wie schon oben angeführt wurde, nicht bis unter die Fahrbahn; diese Anordnung finden wir im Allgemeinen nur wenig nachgeahmt. Es sprechen auch mehrfache sehr triftige Gründe dagegen; denn erstlich theilt sich die Erschütterung, welche ein Brückenbogen erleidet, fast gleichzeitig dem andern mit und empfinden somit, wenn die Brücke aus mehreren Bögen besteht, dieselben als ein aus vielen Stücken zusammengesetzter und durch Schrauben verbundener Brückenkörper fortwährend die Erschütterung einer über die Brücke gehenden Last; ferner aber nehmen auch die Schwingungen, welche sich von dem ersten Bogen dem zweiten mittheilen, noch bedeutend

zu, sobald die sich bewegende Last auf den zweiten Bogen selbst kommt. Es ist daher nothwendig eine Trennung der einzelnen Brückenbögen erforderlich, damit jeder einzelne Bogen nur diejenige Erschütterung empfindet, welche die eben sich über ihn bewegende Last verursacht. Diese Trennung erreicht man vollkommen dadurch, wenn man die steinernen Pfeiler bis unter die Fahrbahn aufführt. Dadurch wird die Länge des Körpers, welche erschüttert wird, geringer und folglich auch die Erschütterung selbst.

Dieser Umstand mag ebenfalls dazu beigetragen haben, daß an der eben beschriebenen Brücke mehrere Sprossen zerbrochen sind.

Bei der in Fig. 653 dargestellten Weidendammer Brücke in Berlin finden wir zwar dieselbe Anordnung, allein hierbei ist zu berücksichtigen, daß die einzelnen Rippen jedesmal nur aus zwei Stücken zusammengesetzt sind, also nicht die Beweglichkeit haben, als eine aus vielen Stücken zusammengesetzte Rippe. Ferner äußert sich auch hier der Druck auf die Widerlager in ganz anderer Art, indem derselbe hier größtentheils vertical auf dieselben wirkt, dagegen bei denjenigen Constructionen, die dem Gewölbebau nachgebildet sind, entsteht ein Seitenschub auf die Widerlager wie bei den Gewölben von Stein.

Eine andere Brücke, welche im Jahre 1827 von Rendel in England über den Fluß Lary erbaut wurde und bei welcher die Pfeiler ebenfalls nur bis zu den Anfängen der Bögen aufgeführt sind, ist in den Fig. 676—678 dargestellt.

Der Ingenieur ist bei dieser Brücke von der gewöhnlichen Kreissegmentform der Bogen ganz abgegangen und hat dafür die elliptische gewählt. Die Brücke hat 5 Bögen, wovon der mittlere eine Spannweite von 30,5 Meter und eine Pfeilhöhe von 4,4 Meter hat. Die übrigen, und zwar die zunächst anstoßenden Bogen haben jeder eine Spannweite von 29 Meter und 4 Meter Pfeilhöhe; und endlich die beiden äußersten haben jeder 24,7 Meter Spannweite und 3,2 Meter Pfeilhöhe. Die beiden mittleren Pfeiler haben eine Dicke von 3 Meter am oberen Ende, die beiden anderen Pfeiler aber haben nur an der Stelle, wo sie am dünnsten sind, eine Stärke von 2,9 Meter. Die Landpfeiler sind in ihrer kleinsten Dimension 4 Meter dick und bilden an der Rückseite starke Bogen, welche sich gegen Bogenmauern stützen, um dem Horizontalschube zu widerstehen. Jeder Bogen enthält 5 Rippen, die gleichweit von einander entfernt stehen und die 7,3 Meter breite Fahrbahn tragen. Jede Rippe ist beim Anfange des Bogens 76 Centimeter und am Scheitel 61 Centimeter hoch; ferner 5 Centimeter dick und unten und oben mit angegossenen Flanschen versehen, die bei 5 Centimeter Dicke 15 Centimeter Breite haben. Jede einzelne Rippe ist in 5 Stücken gegossen, die an ihren Enden wieder Flanschen haben. Die einzelnen Stücke stoßen jedesmal gegen Bindplatten, die rechtwinkelig auf die Rippen stehen und womit dieselben durch Schraubenbolzen verbunden sind. Die Bindplatten gehen durch die ganze Breite der Brücke und haben dieselben die Höhe der Rippen. Zwischen diesen Platten sind die Rippen noch durch gerippte Querbalken oder diagonale Querbalken verbunden, welche durch Schraubenbolzen an den Hauptrippen festgehalten werden.

Die Platten, auf welchen die Rippenenden ruhen sind 7,6 Centimeter dick

mit hervortretenden Höhlungen, um die Rippenenden aufzunehmen, welche doppelte Vorsprünge haben. Diese Platten sind in die Mittelpfeiler und Landpfeiler, deren oberste Schichten von Granit sind, jedesmal eingelassen. Die Ständer auf den Pfeilern, welche bis zur Brückenbahn gehen, sind von Gußeisen und durch eiserne Diagonalstreben mit einander in Verbindung gebracht, wie Fig. 677 B zeigt. Die Bogenschenkelausfüllung wird hier ebenfalls durch diagonal sich kreuzende gußeiserne Streben bewirkt, die bis zur Brückenbahn hinaufgeht und somit diese mit der Bogenrippe verbindet. Die Straßenbäume sind 18 Centimeter hoch und 4 Centimeter dick mit einer entsprechenden Flansche oben und unten! sie sind an die Pfeilerständer durch Schraubenbolzen befestigt, wobei aber die Bolzenlöcher groß genug sind, um eine Ausdehnung oder Zusammenziehung durch die Wärme zu gestatten. Die Deckplatten, welche ebenfalls von Gußeisen sind, sind 2,2 Centimeter dick und 91 Centimeter breit, mit Flanschen und Schraubenbolzen verbunden, sie stehen 30 Centimeter über die äußeren Straßenbäume vor und bilden so ein Karnies längs der Brücke.

Diese Brücke hat mit der in Fig. 625 dargestellten Austerlitz-Brücke zu Paris nur insofern Aehnlichkeit, daß die Pfeiler nicht bis unter die Brückenbahn fortgeführt sind; allein in Hinsicht der Construction der Rippen sind sie verschieden von einander. Bei der Austerlitz-Brücke besteht jede einzelne Rippe aus einer großen Anzahl Stücke, die sich gegen einander lehnen und ferner ist die Ausfüllung der Bogenschenkel eine Fortsetzung der einzelnen Stücke des eigentlichen Bogens. Durch diese Anordnung wird jede Schwingung, die durch Uebergehen einer Last über die Brücke hervorgebracht wird, gleichzeitig dem Widerlager mitgetheilt, welches zwar aus einer Dreiecksverbindung besteht, aber nicht diejenige Stabilität besitzt, diesen Schwingungen widerstehen zu können, sondern in diese mit hineingeräth und somit werden dieselben auch auf den nächstfolgenden Bogen fortgepflanzt. Bei der Larybrücke gestaltet sich aber dieses ganz anders, die eigentlichen Bogenrippen lehnen sich mit ihren Anfängen gegen Mauerwerk; die Ausfüllung der Bogenschenkel ist so angeordnet, daß zwar Schwingungen im geringen Grade entstehen, sich aber nicht weiter fortpflanzen können, indem die gußeisernen Ständer über den Pfeilern keine Widerlagen der Bogen und Bogenschenkelausfüllung bilden, und demnach dieselben nur einen verticalen Druck und zwar den der Brückenbahn auszuhalten haben. Ein Hauptumstand ferner, warum bei dieser Brücke nicht solche Schwingungen entstehen können, als bei der anderen genannten Brücke, liegt darin, daß hier die einzelnen Rippen aus einer geringen Anzahl von Stücken zusammengesetzt sind und durch die hier angeordneten Querverbindungen, als namentlich auch durch die Anordnung der Bindplatten, die Seitenschwingungen beinahe gänzlich aufgehoben werden.

Dieses Beispiel zeigt uns nun, daß man auch durch eine zweckmäßige Anordnung der Construction, selbst, wenn man die Mittelpfeiler nicht bis unter die Brückenbahn aufführt, die Fortpflanzung der Verticalschwingungen soweit verhindern kann, daß sie ohne Nachtheil für das Bauwerk sind.

Wir wollen nun noch mehrere kleinere in neuerer Zeit aufgeführte hierher gehörige gußeiserne Brücken anführen.

Zunächst gehört hierher die in den Figuren 650 bis 652 dargestellte Kinzigbrücke bei Offenburg. Diese Brücke, mittelst welcher die Eisenbahn bei der Stadt Offenburg den Kinzigfluß in rechtwinkeliger Richtung übersetzt und in Fig. 651 in der Ansicht zum Theil dargestellt ist, hat eine Gesammtlänge von 240 Fuß und besteht aus 5 Oeffnungen, jede von 38 Fuß Spannweite und 3,8 Fuß Pfeilhöhe. Der Unterbau der Brücke wird aus 2 Land- und 4 Mittelpfeilern gebildet, welche sämmtlich auf Béton gegründet und massiv, von rothen Sandsteinquadern erbaut sind. Der Oberbau ist dagegen von Gußeisen und soll derselbe in Folgendem näher betrachtet werden.

Aus dem in Fig. 651 dargestellten Querschnitt durch die Mitte einer Brückenöffnung, in welchem die Brücke nur etwa zur Hälfte angegeben, ersieht man leicht, daß die ganze Brücke für eine doppelte Bahn bestimmt ist und jeder einzelne Schienenstrang unmittelbar durch einen gußeisernen Bogen getragen wird. Ferner aber sind hier noch Seitenrippen angeordnet; diese dienen dazu, einen Theil der Eindeckung für die Fußwege und das Geländer aufzunehmen; es stehen sonach in jeder Oeffnung sechs Bogenrippen. Die Entfernung der einzelnen Tragrippen beträgt von Mitte zu Mitte 5,5 Fuß, diejenige der Seitenrippen von den Tragrippen 3,1 Fuß und die Höhe jeder Bogenrippe im Scheitel 16 Zoll; die Eisenstärke derselben ist 2 Zoll, während die der Seitenrippen zu $1\frac{1}{2}$ Zoll angenommen worden ist. Jede Bogenrippe ist aus drei Theilen zusammengesetzt, deren Verbindung mittelst Flanschen und Bolzen bewerkstelligt worden ist, wie dies auch aus Fig. 651 ersichtlich ist.

In Fig. 652 ist ein Theil einer Seiten-, so wie einer Tragrippe in der Ansicht dargestellt. Die auf den Pfeilern und Widerlagern aufliegenden Theile der Bogen endigen sich in zwei unter einem stumpfen Winkel gegeneinander geneigten und auf die Richtung des Bogens senkrecht stehenden Platten, welche oben eine Breite von 12 Zoll und unten von 18 Zoll haben. Sämmtliche Bogenrippen einer Oeffnung stemmen sich gegen eiserne Widerlagsplatten, die in dazu hergestellten Einschnitten der Pfeileraufsätze liegen, zwölf Linien-Stücke haben und mittelst vier Bolzen an die Pfeilerquader befestigt sind.

Die Querverbindung der Bogenrippen einer Oeffnung unter einander wird durch zwölf 15 Linien starke schmiedeeiserne Querstangen gesichert, wovon 8 Stück in dem unteren Bogenstücke und die übrigen 4 in dem wagerechten Rahmstücke der einzelnen Rippen angebracht sind. Diese Stangen bestehen der Länge nach aus zwei Theilen, die aber in der Mitte der Brücke durch gußeiserne Muffen mit Keilen verbunden sind.

Auf den gußeisernen Tragbögen liegen ihrer ganzen Länge nach 10 Zoll breite und 7 Zoll hohe eichene Schwellen, die mittelst Schraubenbolzen an den Deckflanschen der ersteren befestigt sind. Auf den Seitenrippen liegen zur Begränzung der Bahn und um der Bahn ein schöneres Ansehen zu geben, aus Eichenholz angefertigte Gurtbalken, deren Befestigung ebenfalls durch mehrere Bolzen bewerkstelligt wird. Zwischen den erwähnten Langschwellen, sowie zwischen den Gurtbalken und Langschwellen sind in Abständen von 4 Fuß von Mitte zu Mitte $4\frac{1}{2}$ und 5 Zoll starke Querbalken eingesetzt, die ihr Auflager auf den oberen Flanschen der Rippen erhalten; auf diese Querbalken ist dann

eine Bedielung von 2 Zoll starken eichenen Bohlen hergestellt, wie dies aus Fig. 651 auch näher hervorgeht.

Um einen möglichst schnellen Abfluß des auf die Bahn fallenden Regenwassers zu erzielen, sind die eichenen Bohlen nicht hart gegen einander gestoßen, sondern zwischen je zweien ist ein freier Raum von 1 Zoll Breite gelassen, wie aus der Figur ersichtlich.

Um die Dauerhaftigkeit der Gurtbalken zu vergrößern, sind die oberen Flächen derselben mit 1 Linie dickem Eisenblech beschlagen und die Fugen zwischen den Geländerstangen und Gurten mit Eisenkitt verstrichen.

Zu beiden Seiten sind auf den Gurtbalken eiserne Geländer angebracht, deren Befestigung aus Fig. 652 A leicht ersichtlich ist.

Diese Brücke stürzte am 1. August 1851 theilweise ein und zwar in Folge der Senkung der Pfeiler, welche bei dem stattgehabten Hochwasser unterspült wurden. Es bildeten sich in den einzelnen Oeffnungen 10 bis 15 Fuß tiefe Kolke, wodurch die Sohle des Flußbettes 9,5 Fuß unter das Bétonbett der Pfeiler gelegt wurde. Dieses verursachte natürlich den Einsturz der Pfeiler und somit auch den Einsturz der Brücke selbst. Eine genaue Beschreibung dieses Unfalls, durch Zeichnungen erläutert, findet man in der allgemeinen Baukunst, Jahrgang 1852 Heft 1.

Daß die Ausführung schiefer Brücken in Stein immer mit großen Schwierigkeiten verknüpft ist, läßt sich aus dem im vorigen Abschnitte darüber Angeführten hinreichend entnehmen und man thut immer wohl, diese Constructionsausführungen soviel als möglich zu vermeiden. Läßt sich aber dennoch nicht die Anlage schiefer Brücken vermeiden, wie dieses in neuerer Zeit vielfach bei Eisenbahnanlagen der Fall gewesen ist, so sollte man dann immer doch nur solches Material verwenden, welches nicht allein eine leichte Ausführung gestattet, sondern auch eine längere Dauer hat. Daß hierzu nun das Gußeisen sehr vortheilhaft anzuwenden ist, liegt klar auf der Hand; denn dieses Material gestattet nicht allein eine sehr leichte Ausführung, sondern es bietet auch außerdem den großen Vortheil, daß bei der großen Festigkeit, welche das Eisen besitzt, man den Bögen nur eine geringe Höhe zu geben braucht, ein Vortheil, der in manchen Fällen und namentlich, wenn das Terrain nicht hoch liegt, und somit eine große Bogenhöhe nicht gestattet, allein hinreichend ist, die Anwendung des Eisens zu bestimmen.

Wir wollen hier ein Beispiel einer schiefen Brücke aus Gußeisen anführen, welche auf der Eisenbahn von London nach Birmingham über den Grand-Junctions-Canal ausgeführt wurde und in den Figuren 666—668 näher dargestellt ist.

Diese 30 Grad gegen die Eisenbahnachse geneigte schiefe Brücke besteht aus einem Bogen von 66 engl. Fuß Spannbreite und 11 Fuß 9 Zoll Höhe. Die Brücke enthält der Breite nach 6 Rippen, von denen jede aus 3 Stücken zusammengesetzt ist, wie aus Fig. 667 ersichtlich. Diese vier mittleren Rippen, welche zum Tragen der Bahnschienen bestimmt sind, liegen je zwei 5 Fuß von Mitte zu Mitte entfernt, während der Zwischenraum zwischen den beiden Schienenwegen und die Entfernung der äußeren von der zunächst liegenden inneren

Rippe je 6 Fuß beträgt. Die einzelnen Rippen sind unter einander verstrebt und gehen diese Streben immer bis auf eines der Widerlager herab; ferner finden aber auch noch Querverbindungen parallel mit den Widerlagern zwischen den einzelnen Rippen statt, wie dies aus Fig. 667 näher ersichtlich wird. Die Bogenschenkelausfüllung wird hier durch diagonal sich kreuzende Streben bewirkt, welche Verbindung aber auch noch bis über den Scheitel des unteren Bogens hervorgeht, wie aus Fig. 666 ersichtlich, so daß also die Fahrbahn nicht unmittelbar auf dem Scheitel des unteren Bogens ruht. Die Belagplatten, welche zur Verbindung der Bogenbinder in der Höhe der Brückenbahn dienen, und ebenfalls von Gußeisen sind, haben die Form eines verschobenen Parallelogramms, dessen Seiten mit der Achse und den Widerlagern der Brücke parallel sind. Diese Platten, welche an ihrer Oberfläche Diagonalrippen angegossen haben und an den Kanten herum mit einem mehrere Zoll hohen vorstehenden Rand versehen sind, reichen immer nur von einer Rippe zur anderen und sind dann in den Stoßfugen durch Schrauben mit einander verbunden. Diese Anordnung ist in Fig. 666 A angedeutet. Ueber die Verstrebung schiefer Brücken folgt weiter unten noch mehr.

In Fig. 668 ist die Verbindung des Brückengeländers mit dem Gesimse und der Stirnrippe angedeutet. Das Gesimse besteht hier aus kastenförmigen gußeisernen Rahmen, die an die oberen Deckflanschen der Stirnrippe durch Schrauben befestigt sind. Das Geländer, welches an der unteren Kante mit hervorragenden, etwa 1 Fuß langen Stangen versehen ist, wird mit diesen Stangen in die Zwischenräume des Gesimses eingeschoben und mittelst eines eisernen Keiles, der durch die Leistenwendungen und durch die Stange eingetrieben ist, befestigt. Die untere Leiste des Geländers, welche nach beiden Seiten hin vorsteht, deckt den Zwischenraum der Gesimse-Rahmen und verhindert dadurch das Eindringen von Wasser.

In den Figuren 679—690 ist die Lange-Brücke bei Potsdam über die Havel dargestellt. Diese Brücke zeichnet sich hauptsächlich wegen ihrer bedeutenden Länge aus, indem sie 627 Fuß $7\frac{1}{4}$ Zoll lang ist; sie hat eine Breite von 30 Fuß, wovon jedes Trottoir 5 und der Fahrdamm 20 Fuß einnimmt. Die eisernen Bögen, deren hier acht sind, haben eine lichte Weite von 60 Fuß und eine Höhe von $5\frac{1}{2}$ Fuß. Die Mittelpfeiler sind 7 Fuß dick. Die Durchlaßöffnung, welche nicht in der Mitte, sondern an einer Seite der Brücke ist, hat eine Weite von 30 Fuß $7\frac{1}{4}$ Zoll und jeder der beiden Pfeiler, welche die Maschinerie zum Aufziehen der Klappen enthalten, ist 30 Fuß 6 Zoll dick.

Jeder Brückenbogen besteht aus sieben, 4 Fuß $7\frac{11}{12}$ Zoll im Lichten von einander entfernt stehenden Rippen von $2\frac{1}{2}$ Zoll Eisenstärke. Diesen Rippen sind jedesmal aus drei Theilen zusammengesetzt, dem Mittelstück ab Fig. 680 und 681 und den beiden Seitenstücken ac und bd. Diese Theile stoßen nicht unmittelbar gegen einander, sondern es sind nach der Breite der Brücke rechtwinkelig auf die Rippen, zwei Bind- oder Stoßplatten angeordnet, gegen welche die einzelnen Theile stoßen. Die einzelnen Bogentheile haben an ihren Enden angegossene Flanschen, deren ganze Breite 9 Zoll beträgt, wodurch Raum

für drei Reihen Schrauben gewonnen wird. Die beiden äußeren Reihen sind durch die jedesmaligen Flanschen gezogen, die mittlere aber ist in der Stärke der Rippe selbst und sind zur Einbringung und Befestigung der Schrauben die Oeffnungen h Fig. 689 in den Rippen befindlich.

Die beiden Stirnrippen jedes Bogens haben nur an der inneren Seite diese Flanschen. Damit aber hier durch das Hervortreten der Bindplatte die Verzierung der äußeren Fläche nicht gestört werde, ist diese Platte durch einen $^3/_4$ Zoll starken Vorsprung lm Fig. 686 des einen Rippenstückes bedeckt, so daß von außen nur eine Fuge sichtbar wird. In Fig. 686 ist A die Ansicht dieser Verbindung vor ihrer Zusammensetzung, von oben gesehen, B dieselbe von der Seite und C der horizontale Durchschnitt nach der Linie ik.

Die Stoß- oder Bindplatte Fig. 683 ist 29 Fuß $3^1/_2$ Zoll lang, 2 Fuß $10^3/_4$ Zoll breit und besteht aus zwei Stücken, welche bei op durch drei Schrauben, die durch angegossene Verstärkungen gehen, fest verbunden sind. Die Berührungsflächen g mit den Rippen, so wie die Kanten der Platte und die Oeffnungen q derselben sind mit Verstärkungsrändern von $1^1/_2$ Zoll eingefaßt; die Platte selbst ist $1^3/_4$ Zoll stark. Die Verbindung der Rippen mit der Widerlagsplatte und mit den Rippen des anderen Bogens, ist aus den Figuren 688 A und B ersichtlich. Die aus zwei Stücken bestehende und zusammengeschraubte Widerlagsplatte Fig. 682 hat einen Verstärkungsrand von $1^1/_2$ Zoll und in der Mitte eine eben solche Verstärkung. Die Platte selbst ist $1^3/_4$ Zoll stark. Die Rippen stoßen stumpf gegen die Platte und sind durch fünf Schraubenbolzen, die durch eben so viele Verstärkungen der Rippe, durch die Widerlagsplatte und durch die Verstärkungen der folgenden Rippe reichen, fest verschraubt und außerdem durch zwei kleine Zapfen b Fig. 688, welche in den Löchern c′ Fig. 682 stehen, gegen Seitenbewegung vor Einbringung der Schrauben gesichert.

In Fig. 684 ist ein Theil der Sohlplatte dargestellt. Auf dieser steht die Rippe ohne alle Verschraubung oder Verzapfung zwischen zwei auf derselben befindlichen und angegossenen Leisten. Diese Sohlplatte besteht ebenfalls aus zwei Stücken, welche durch eine Ueberblattung mit einander verbunden sind. Zur festen Verbindung der Sohlplatte mit der Widerlagsplatte dienen die angegossenen Lappen p′ mit ihren Bolzenlöchern. Die Widerlagsplatte aber ist mit den in den Verstärkungen q′ Fig. 682 befindlichen Löchern auf lange, in die massiven Pfeiler reichende eiserne Anker gesetzt, welche letztere dann oben mit Schrauben und Muttern versehen sind, um so die Widerlagsplatte vor dem gänzlichen Zusammensetzen der Brücke gegen das Schwanken zu schützen.

Die Rippen der Bögen haben noch eine Querverbindung durch Anker, die in Fig. 687 besonders dargestellt ist. Die Rippen haben zwei angegossene Lappen t′, zwischen denen der Kopf des Ankers u′ eingeschraubt ist, und wodurch jedes mögliche Ausbiegen der Rippen ganz verhindert wird.

Ueber sämmtliche Rippen sind die Kreuzverbandstücke $\alpha\beta$ Fig. 681 so in dieselben eingelassen, daß die Oberfläche dieser Stücke mit den Oberkanten der Rippen in eine Horizontalebene zu liegen kommt. Um diese Kreuzstreben gehörig unter sich und an die Rippen befestigen zu können, sind an die beiden äußeren und an die mittelsten Rippen Lappen γ Fig. 686 A angegossen und

zwar um so viel unter der Oberkante der Rippen, als die Stärke der Kreuzstreben beträgt, mit welchen dann der Kreuzverband verschraubt wird. In der Mitte des letzteren bei β sind zur Verbindung der 4 Stücke $\alpha\beta$, Trageeisen δ angeschraubt, in welche die Streben mit ihren Köpfen β eingelassen sind. Diese Trageeisen δ (Fig. 685 A), deren Befestigungsschrauben an den Rippen mit η bezeichnet sind, haben unten, ihrer Länge nach, eine Verstärkung o.

Ueber die Rippen und Tragstreben sind die eisernen Belagsplatten, deren jede eine Verstärkung μ hat, gelegt. Diese Platten reichen ihrer Länge nach über drei Rippen und stoßen auf der neben der mittelsten Rippe befindlichen Rippe ϱ zusammen, welche zu dem Ende eine Verstärkung ω Fig. 685 A haben, woran die Platten geschraubt sind. An die beiden äußersten Rippen sind nicht alle Platten befestigt, sondern nur einige, zu welchem Zwecke die an diesen Rippen befindlichen Lappen π dienen. Diejenigen Platten, ϱ, welche die Trageeisen δ und die Widerlagsplatten bedecken, so wie ϱ', welche auf die Stoß- oder Bindplatten zu liegen kommen, sind, erstere doppelt, letztere dreimal so breit, als die übrigen und bestehen nur aus zwei Stücken, welche auf der mittelsten Rippe zusammenstoßen und an die Lappen η gebolzt sind.

In Fig. 690 A ist die Befestigung des Geländers dargestellt. Hier ist a die Belagsplatte mit dem darangegossenen Kragsteine b; c ist der Durchschnitt der Rippe, d die durch Schrauben an a befestigte Seitenplatte, e das deckende Glied, welches an d geschraubt ist; f der mit versenkten Schrauben an d befestigte Geländerstiel und g ein Zuganker zur Haltung der Seitenplatte d in senkrechter Richtung. B ist die innere Ansicht der Seitenplatte.

In den Figuren 691, 692, 693 ist die eiserne Brücke über die Wieseck zu Gießen dargestellt. Diese Brücke hat einen Bogen von ca. 49½ Fuß Spannbreite und ca. 5½ Fuß Höhe. Der Bogen hat sechs Rippen, von denen jede aus neun Theilen zusammengesetzt ist. Die einzelnen Bogenstücke stoßen stumpf gegen einander und werden durch bogenförmige und eine gerade geschmiedete eiserne Schienen, welche in Rinnen liegen, die beim Guß der Wölbstücke an jeder Seite eingeformt sind, mit einander verbunden; diese Anordnung ist ähnlich der bei der Brücke bei Sunderland angewendeten Verbindung, nur mit dem Unterschiede, daß hier die einzelnen Wölbstücke gleich in einem Stücke sich jedesmal bis unter die Fahrbahn der Brücke fortsetzen. Diese eben erwähnten Schienen werden mit den Wölbstücken durch Schraubenbolzen verbunden, welche gleichzeitig aber auch die zwischen den Rippen angebrachten Querverbindungen befassen, wie dies auch aus den Figuren 692 und 694 näher ersichtlich ist. Der Brückenbelag wird hier aus hölzernen Balken gebildet, die der Quere nach unmittelbar auf die Rippen gelegt sind. Darüber ist ein Bohlenbelag angeordnet und hierauf ein Klotzpflaster.

Diese Brücke bietet eben nichts Neues und Interessantes dar und haben wir sie nur der Vollständigkeit wegen hier mit aufgeführt. Betrachten wir aber die Construction näher, so leuchtet sehr bald ein, daß diese Brücke beim Befahren mit schweren Lasten sehr bedeutenden Seitenschwankungen ausgesetzt sein muß, trotz der vielen Querverbindungen. Dieses rührt aber nur von der Längenverbindung der einzelnen Wölbstücke mit einander her. Die schmiedeeisernen Schienen

sind alle sechs Fuß etwa, und zwar jedesmal in einer Stoßfuge zweier Wölbstücke mit einander verbunden. Wenn nun auch hier von einem Eindrücken des einen Theils in die Seitenflächen des anderen, wie beim Holze, durchaus gar nicht die Rede sein kann, so sind diese Schienen doch Biegungen ausgesetzt, die zwar nicht bleibend sind, sondern vermöge der Elasticität des Eisens sich augenblicklich wieder ausgleichen. Diese Biegungen, welche durch die Seitenschwankungen hervorgebracht werden, sind bei dieser Anordnung der Construction unvermeidlich und dienen keineswegs zur Erhaltung des Bauwerks. Keineswegs ist diese Construction zu empfehlen und finden wir dieselbe auch nur in sehr seltenen Fällen angewendet. Die Engländer, welche eine große Zahl von eisernen Brücken ausgeführt, haben diese bei der Sunderland-Brücke gebrauchte Construction, bei ihren späteren Brückenbauten nicht wieder, dagegen mit großem Vortheil die Bind- oder Stoßplatten, wie wir bei mehreren oben angeführten Beispielen gesehen, angewendet. Ueberhaupt ist es nicht möglich, in der hier angegebenen Weise zweierlei Arten von Eisen, gegossenes und geschmiedetes, so mit einander zu verbinden, daß sie beim Tragen der Last vollkommen gleichmäßig wirken. Schon die verschiedene Ausdehnung, welche beide bei einer erhöhten Temperatur erleiden, deren Differenz nun zwar unbedeutend ist, bringt schon eine Nachtheilige Wirkung hervor. Diese Nachtheile würden nun beseitigt werden können, wäre man im Stande, die Länge der Verbindungsstangen während aller Veränderungen der Temperatur so adjustiren zu können, daß ein gleimäßiges Tragen der Last erreicht würde. Allein diese Aufgabe ist wohl nicht gut möglich zu lösen, weshalb auch von einer solchen Construction, wie die zuletzt erwähnte, immer abzurathen ist.

Wir hätten hier noch eine Menge hierher gehöriger Brücken anführen können; die gegebenen Beispiele werden aber vollständig genügen, indem daraus hinlänglich die verschiedenartigsten hauptsächlichsten Constructionen zu entnehmen sind, welche bei Aufführung der verschiedenen Brücken zur Anwendung gekommen und im Allgemeinen sich manche sehr ähnlich sind.

Am Schlusse dieses Capitels wollen wir nunmehr noch die Formeln zur Berechnung der Bogenbrücken angeben.

Obgleich die Bogen, welche die Haupttheile einer Bogenrippe bilden, aus mehreren einzelnen Segmenten zusammengesetzt und auch die Bogenschenkelausfüllung, wodurch sie immer wesentlich verstärkt werden, ebenfalls aus mehreren Theilen bestehen, so kann man sie doch immer so ansehen, als seien sie durchaus von gleicher Masse und aus einem Gußstücke bestehend. Zu diesen Annahmen und namentlich zu der letzteren, daß ein aus mehrern Stücken bestehender Bogen als ein Ganzes betrachtet werden könne, ist man wohl um so eher berechtigt, da einmal die Verbindungen der einzelnen Bogentheile meistens in der Weise hergestellt werden, daß ein Bruch eher an jeder andern Stelle, als an der Verbindungsstelle des Bogens eintritt und ferner bei angestellten Versuchen sich gezeigt hat, daß bei der Einwirkung der zufälligen Belastung, die aber hier als eine sich fortbewegende anzunehmen ist, weder Verschiebungen der einzelnen Bogentheile, noch Drehungen um die äußeren oder inneren Kanten der Fugenebenen, wie dieses bei den steinernen Gewölben der Fall ist, statt

finden, sondern nur Formänderungen des Bogens sich zeigen, wie sie bei der ursprünglich gebogenen elastischen Linie vorkommen.

Wäre nun die Belastung der Brücke über dieselbe gleichförmig vertheilt, also in einem ruhenden Zustande, so würde der Tragbogen keine Biegung annehmen, wenn man dem krummen Theile der Rippen die Form eines Parabelbogens gäbe. Allein in der Wirklichkeit ist die Belastung an den Enden immer etwas größer als in der Mitte und ferner giebt man denselben auch gewöhnlich die Form eines Kreisbogen. Ferner ist aber auch die Belastung eine bewegliche, nämlich die zufällige Belastung, die nach einander an allen Punkten des Bogens wirkt.

Diese zufällige Belastung bewirkt nun bei einem isolirten Bogen eine Biegung oder Formänderung, und daher erleidet derselbe nicht nur in jedem Querschnitte eine Längenpressung, sondern es wird auch das Material durch die jeder Formänderung entsprechenden Biegungen an mehreren Stellen des Bogens ausgedehnt und folglich nicht allein auf rückwirkende, sondern auch auf relative Festigkeit in Anspruch genommen. Nichts desto weniger kann man dennoch, ohne einen merklichen Fehler zu begehen, die Kreise, ihrer starken Verdrückung wegen, als Parabeln ansehen und ferner annehmen, als würde der Bogen, ohne durch das Gewicht der Construction und durch die Belastung der Brückenbahn zu einer Biegung angeregt zu werden, nur in der Richtung seiner Achse mit einer gewissen Kraft zusammengedrückt.

Ohne uns nun auf die ziemlich weitläufigen Herleitungen der Formeln zur Berechnung der Bogenbrücken weiter einzulassen, wollen wir dieselben hier anführen, wie wir sie in Navier's Résumé des leçons, données à l'école des ponts-et-chaussées sur l'application de la mécanique, etc. finden, und verweisen wir daher auf dieses Werk oder auf die Uebersetzung desselben, unter dem Titel „Mechanik der Baukunst von G. Westphal."

Es bezeichne nun 2 a die Spannweite des Bogens;
b die Pfeilhöhe oder lichte Bogenhöhe;
f die Senkung im Scheitel des Bogens;
b′ die Höhe des Bogens im Scheitel und
β die Höhe desselben an den Stützpunkten;
a′ die Breite des Bogens oder die Metalldicke;
Q die gesammte Pressung im Scheitel;
T die gesammte Pressung an den Stützpunkten;
R die Pressung auf 1 Quadratmeter, welche in der ganzen Ausdehnung des Bogens erlaubt sei;
p das ganze Gewicht jedes laufenden Meters vom Bogen;
2 π das Gewicht der zufälligen Belastung.

Wir haben hier mehrere Fälle zu betrachten und zwar ist der erste Fall derjenige, wo eine gleichförmige Belastung auf den Bogen wirkt.

In diesem Falle erhalten wir nach Navier
die Gesammtpressung im Scheitel des Bogens

oder
$$Q = \frac{pa^2}{2b}$$

und die Pressung an den Stützpunkten des Bogens,

oder
$$T = \frac{pa}{2b}\sqrt{a^2 + 4b^2}.$$

Da nun, wenn der Querschnitt des Bogens ein Rechteck ist,
$$b'a'\,R = Q$$
und
$$\beta a'\,R = T$$
sein muß, so findet man hieraus leicht die erforderliche Bogenhöhe im Scheitel, so wie auch an den Stützpunkten und zwar erhält man
$$b' = \frac{Q}{a'R} = \frac{pa^2}{2b} \cdot \frac{1}{a'R}$$
und
$$\beta = \frac{T}{a'R} = \frac{1}{a'R} \cdot \frac{pa}{2b}\sqrt{a^2 + 4b^2}.$$

Nehmen wir nun den Fall an, daß in der Mitte des Bogens ein Gewicht 2π wirksam wäre, so erhält man, vorausgesetzt daß die beiden Stützpunkte des Bogens sich nicht von einander entfernen, im Scheitel einen Druck
$$Q = \pi\left(\frac{25a}{32b} - \frac{b}{28a}\right)$$
und die Senkung daselbst, oder
$$f = -\frac{\pi}{\varepsilon}\left(\frac{a^3}{128} - \frac{23ab^2}{6720}\right)$$
in welchem Ausdruck ε das Elasticitätsmoment bezeichnet, dessen Bestimmung aber fortwährend von der Figur des Querschnittes abhängig ist.

Die größte Pressung findet aber in diesem Falle nicht im Scheitel statt, sondern für einen Punkt, dessen Abscisse, deren Anfangspunkt im Scheitel liegt, gleich $\frac{16a}{25}$ ist und den Maximalwerth dieses Druckes erhält man alsdann oder
$$T = \pi\left(\frac{25a}{32b} + \frac{423b}{700a}\right).$$

Ist nun der Querschnitt des Bogens ein Rechteck, so hat man die Bogenhöhe im Scheitel

oder
$$b' = \frac{\pi}{a'R}\left(\frac{25a}{32b} - \frac{b}{28a}\right)$$
und die Bogenhöhe an den Punkten der größten Pressung

oder
$$\beta = \frac{\pi}{a'R}\left(\frac{25a}{32b} + \frac{423b}{700a}\right).$$

Wir haben endlich noch einen dritten Fall, nämlich denjenigen, welcher bei Brücken vorkommt, wo außer der gleichförmig vertheilten Belastung noch eine zufällige Last im Scheitel des Bogens wirkt. Behalten wir nun hier die obige Bezeichnung bei, so erhalten wir hier
$$Q = \frac{pa^2}{2b} + \pi\left(\frac{25a}{32b} - \frac{b}{28a}\right).$$

Die Senkung im Scheitel erhalten wir, wie im zweiten Falle, nämlich

$$f = -\frac{\pi}{\varepsilon}\left(\frac{a^3}{128} - \frac{23ab^2}{6720}\right).$$

Der Druck aber, welchen die einzelnen Theile des Bogens in der Richtung der Länge desselben erleiden, wird durch die Summe der beiden oben angegebenen Werthe von T ausgedrückt, und daher wird hier

$$T = \frac{pa^2}{2b} + 4pb + \pi\left(\frac{25a}{32b} + \frac{45b}{112a}\right),$$

welcher Ausdruck als ein Maximum des Drucks ist, welcher an den Endpunkten des Bogens wirkt für den Fall, daß der Ausdruck $16pa - 25\pi$ positiv wird.

Ist aber $16pa - 45\pi$ negativ, so findet das Maximum des Drucks in dem Punkte, dessen Abscisse ist

$$x = a\,\frac{16\pi}{25\pi - 16pa};$$

für diesen Fall hätten wir ferner

$$b' = \frac{1}{a'R}\left[\frac{pa^2}{2b} + \pi\left(\frac{25a}{32b} + \frac{423b}{700a}\right)\right]$$

und

$$\beta = \frac{1}{a'R}\left[\frac{pa^2}{2b} + 4pb + \pi\left(\frac{25a}{32b} + \frac{45b}{112a}\right)\right].$$

Was die Größe R betrifft, so beträgt nach darüber angestellten Versuchen das Gewicht, welches zum Zerdrücken des Gußeisens erforderlich ist, für den Quadratmillimeter ungefähr 100 Kilogrammes, also für den Quadratmeter ungefähr 100,000,000 Kil. Da aber dieses Resultat nur bei solchen Stücken erhalten worden ist, die zu kurz waren um sich biegen zu können, bei Brücken aber die einzelnen Constructionstheile eine nicht unbedeutende Länge erhalten und nicht allein gegen Druck, sondern auch gegen Stoß Widerstand zu leisten haben, so nimmt man bei Berechnungen der Stärken der Constructionstheile doch immer mindestens 70fache Sicherheit an. Bei manchen Brücken finden wir noch eine weit größere Sicherheit und zwar bietet ein Viaduct bei Freiburg sogar 175fache Sicherheit dar. Nehmen wir nun hundertfache Sicherheit an, so würde die Pressung auf den Quadratmeter im Scheitel eines Bogens oder R sich zu 1,000,000 Kil. ergeben.

Soll nun für eine Bogenbrücke b′ berechnet werden, so läßt sich dieses noch nicht unmittelbar nach den oben für b′ angegebenen Ausdrücken ausführen, indem in denselben jedesmal eine andere Größe, nämlich die Größe p vorkommt, welche von b′ abhängig ist. Man hat daher für p vorläufig einen annähernden Werth anzunehmen, substituirt diesen in den bezüglichen Ausdruck für p und sucht daraus b′. Alsdann berechnet man mit Hilfe des bestimmten b′ den Werth von p und sucht mit diesem nochmals b′, welches Verfahren nöthigenfalls dann noch einmal wiederholt werden muß.

Bei Berechnung der Größe b′ ist es jedenfalls immer zweckmäßig, wenn man den Querschnitt der Rippe oder des Bogens nur als Rechteck annimmt und wenn diese Größe bestimmt ist, den Bogen noch außerdem durch angesetzte Flanschen verstärkt, wodurch die Sicherheit noch bedeutend vergrößert wird,

was in sofern auch zu rechtfertigen ist, weil bei obigen Formeln das lastende Gewicht nur im ruhenden Zustande angenommen wurde, dieses aber bei Brücken nicht der Fall ist und namentlich nicht bei Eisenbahnbrücken, wo die zufällige Belastung mit großer Geschwindigkeit sich darüber fortbewegt, und die dadurch entstehenden Erschütterungen gar nicht in Rechnung zu bringen sind.

§. 8. Die Hängewerksbrücken aus geraden Barren und die Bogenhäng- und Sprengwerksbrücken.

Diese Constructionen sind wieder den Holzconstructionen nachgebildet, und sind sie hauptsächlich in denjenigen Fällen zweckmäßig anzuwenden, wo für die Construction der Brücke unter der Bahnoberfläche zu wenig Raum bleibt, um dieselbe auf eine sichere Weise anzulegen.

Was die Hängewerksbrücken betrifft, so ist ihre Anordnung ganz die eines doppelten Hängewerks, wo der Träger mit dem oberen Hängewerksrahmen vermittelst der Hängesäulen, welche Constructionstheile sämmtlich von Eisen sind, verbunden wird. Daß aber bei dieser Anordnung, die Tragrippen nicht unmittelbar die Brückenbahn unterstützen können, versteht sich wohl von selbst, und sind hier die Tragrippen entweder nur an den beiden Seiten der Brücke, oder es ist auch, wenn dieselbe eine genügende Breite hat, noch in deren Mitte eine nach der Längenrichtung aufgestellte Tragrippe vorhanden. Die Brückenbahn selbst wird dann durch Querschwellen getragen, die nach der Breite der Brücke durch die Hängeeisen getragen werden.

Die gußeisernen Bogenhängwerksbrücken sind ebenfalls den hölzernen nachgebildet. Dieselben bestehen auch aus gußeisernen Tragbögen, die parallel mit der Längenachse der Brücke zu beiden Seiten derselben aufgestellt und ihren Stützpunkt in einem horizontalen Träger haben, welcher die Sehne eines Bogens bildet; der Tragbogen ist dann wieder durch Hängeeisen mit dem unteren Träger verbunden, wodurch dieser so weit verstärkt wird, daß er im Stande ist, die Brückenbahn mit Sicherheit tragen zu können. Bei dieser Anordnung wird der Raum unterhalb der Brücke ebenfalls nicht beschränkt, und findet hier daher die Aufstellung der Tragrippen ganz in derselben Weise statt, wie bei den Hängewerksbrücken.

Was endlich die Sprengwerksbrücken betrifft, so sind sie ebenfalls den Holzconstructionen nachgebildet, und haben mit den Bogenhängwerksbrücken große Aehnlichkeit, nur mit dem Unterschiede, daß außer dem Tragbogen noch ein zweiter Bogen angeordnet ist, der mit dem Träger sich schneidet und unterhalb der Brückenbahn gegen das Widerlager sich stützt.

Es sollen hier nun mehrere Beispiele angeführt werden, woraus die verschiedenen Constructionen in ihren Anordnungen deutlich ersichtlich sind. Die hier folgenden Beispiele sind zum Theil dem Werke, „die gußeisernen Brücken der badischen Eisenbahn u. s. w. von Mar Becker entnommen.

In den Figuren 636 und 636 A ist die Ansicht und ein Theil des Quer-

schnitts einer eisernen Hängewerksbrücke, welche auf der Eisenbahn von Karlsruhe nach Rastatt ausgeführt ist, dargestellt.

Die lichte Entfernung der Widerlager beträgt hier 30 badische Fuß, und die ganze Breite der Brücke von Mitte zu Mitte der äußeren Tragrippen 25,64 Fuß. Es sind hier drei Tragrippen angeordnet. Jede einzelne Rippe besteht aus drei Theilen, nämlich dem Spannriegel und den beiden Streben. Die Spannriegel haben an ihren Enden Flanschen angegossen; desgleichen haben aber auch diejenigen Enden der Streben, die mit dem Spannriegel in Verbindung kommen sollen, angegossene Flanschen, welche beide Flanschen dann jedesmal Löcher für die schmiedeeisernen Verbindungsbolzen haben. Diese Anordnung ist aus den Figuren 638 A, B und C ersichtlich, wo die Verbindung des Spannriegels mit einer Strebe in der Seitenansicht, im Querschnitt und in der Ansicht von oben dargestellt ist. In derselben Höhe bezeichneter Flanschen sind cylinderförmige Löcher, die zur Hälfte aus dem Strebenende, und zur Hälfte aus dem Ende des Spannriegels genommen sind; diese Löcher dienen zur Aufnahme der schmiedeeisernen Bolzen, an welche die Hängesäulen, die ebenfalls aus Eisen und sich oben in einem Oehr endigen, angehängt sind.

An dem zunächst dem Widerlager befindlichen Ende der Strebe, ist eine horizontale Fußplatte angegossen, die nicht allein zur gehörigen Auflage, sondern auch zur Befestigung derselben an das Widerlager dient, (s. die Figuren 637 A, B, C). Die Streben stehen hier unmittelbar auf dem Widerlager, und um daher den Seitenschub aufzuheben, sind an jeder Rippe zwei horizontale schmiedeeiserne Zugstangen angebracht, welche in ihrer Horizontalprojection nicht parallel sind, sondern gegen die Mitte der Brücke hin etwas zusammen laufen, welche Anordnung hier deshalb ausgeführt wurde, damit diese Zugstangen auf der innern Seite der Hängeeisen durchgehen konnten, ohne eine Schwächung des unteren Theiles der Streben zu verursachen.

Eine jede dieser Zugstangen a Fig. 637 besteht aus zwei Hälften, die sich in rechteckige Gewinde endigen und mit einer gemeinschaftlichen Schraubenmutter umfaßt werden. Die Gewinde sind entgegengesetzt geschnitten, und zwar das eine rechts, das andere links.

An jeder Rippe sind vier Hängeeisen, und zwar immer zwei auf einer Seite derselben. Fig. 638 B. Die Brückenbahn wird durch gußeiserne Unterzüge getragen. Jeder Unterzug, welcher durch sechs Hängeeisen getragen ist, besteht aus zwei gleichen Theilen, die in der Mittellinie der mittleren Rippe mittelst Bolzen und angegossener Flanschen zusammen verbunden sind. Für jedes Hängeeisen befindet sich an dem Unterzug ein verticaler hohler cylinderförmiger Anguß, durch welchen das Hängeeisen hindurch geht, und alsdann unterhalb mit einer starken Schraubenmutter versehen ist. Diese Anordnungen sind aus den Figuren 639 A, B, C und D ersichtlich.

Parallel mit der Richtung der Bahn liegen auf den Widerlagern und gußeisernen Unterzügen starke eichene Langschwellen, auf denen die Bahnschienen befestigt und die mit den Unterzügen verschraubt sind. An der Stelle, wo diese Schwellen die Unterzüge kreuzen, hat man zur besseren Auflage derselben die

Verstärkungsnerven verbreitert und diese Ausbreitung wieder durch verticale Nerven unterstützt, wie dieses auch in Fig. 640 näher angedeutet ist.

Die Zwischenräume zwischen den Langschwellen sind mit eichenen Bohlen dicht gelegt, die auf Querschwellen ruhen, die in die Langschwellen eingezapft und durch eiserne Bügel an dieselben angehangen sind.

Soll eine solche Brücke für den gewöhnlichen Verkehr, also nicht als Eisenbahnbrücke dienen, so werden die zu legenden Langschwellen oder Straßenbäume nicht allein in die Mitte, sondern auch unmittelbar an die Tragrippen gelegt, und darüber kommt dann der Bohlenbelag mit einem Klotzpflaster oder auch ohne dieses.

Der Kostenaufwand für diese Brücke war:

Die Herstellung der Widerlager kostete incl. Maurer- und Steinhauerarbeiten	3000 fl.	—	kr.
Das sämmtliche Gußeisen (227 Ctr.) mit Bearbeitung, Bohren der Löcher und Modellen	2460 „	—	„
Sämmtliches Schmiedeeisen für Hänge- und Zugstangen und Bolzen (3912 ℔) mit Bearbeitung	1564 „	48	„
Das Schmiedeeisen für kleinere Bolzen in die Flanschen und zur Befestigung der Traghölzer u. s. w. (1344 ℔) mit Bearbeitung	103 „	12	„
Für Transport des Materials an die Baustelle, so wie ferner für Anfertigung des Gerüstes zur Aufstellung, für Unterhaltung des Baugeschirrs	419 „	30	„
in Summa	7547 fl.	30	kr.

Die Streben und Spannriegel haben hier, wie aus den Figuren 637B und 638B hervorgeht, einen kreuzförmigen Querschnitt, dessen Höhe in der Mitte derselben 12 Zoll und an den Enden 10 Zoll beträgt. Die Breite des Querschnitts ist $6\frac{1}{2}$ Zoll und die Stärke der Verstärkungsnerven 2 Zoll. Der Durchmesser des Querschnitts der Bolzen, an welchen die Hängeeisen befestigt sind, so wie derjenige für die Zugstangen ist gleich 2 Zoll. Die Hängeeisen haben eine gleiche Stärke. Die gußeisernen Unterzüge haben eine Eisenstärke von 1 Zoll; ihre Höhe ist in der Mitte 15 Zoll und an den Enden 10 Zoll. Die obere Flansche dieser Unterzüge ist 5 Zoll breit und die untere Nerve 3 Zoll.

Betrachten wir diese Construction näher, so ist nicht zu verkennen, daß sie sich durch ihre Einfachheit, leichte Ausführung und nicht bedeutenden Kostenaufwand jedenfalls auszeichnet. Es sind zwar im Allgemeinen solche Hängewerke von Gußeisen noch wenig in Anwendung gekommen, indem man meistens Bogensprengwerke zur Unterstützung der Brückenbahn anwendete, und somit hat man anscheinend noch nicht hinreichende Erfahrung über die Haltbarkeit dieser Construction. Nichts desto weniger haben aber die auf den badischen Eisenbahnen nach diesem Systeme ausgeführten Brücken die Zweckmäßigkeit dieser Anordnung genügend bewiesen, indem dieselben schon seit mehreren Jahren in fortwährender Benutzung sich ausgezeichnet gut bewährt haben. Hieraus ersehen wir nun, daß sie nicht allein für diesen Zweck sehr gut, sondern auch zu

gewöhnlichen Fahrbrücken sehr zweckmäßig anzuwenden sind und dieses findet um so eher statt, weil bei diesen Brücken einmal die darüberfahrende Last niemals so groß ist, als dieses bei Eisenbahnbrücken der Fall ist, und ferner auch, weil die Last nicht mit so großer Geschwindigkeit darüber hinwegfährt und also auch keine solche Erschütterung erzeugt, wie bei Eisenbahnzügen.

Ein großer Vortheil, den diese Construction gewährt, besteht darin, daß hier nicht so kostbare Widerlager erforderlich sind, wie bei den Bogensprengwerksbrücken, indem hier nur immer ein verticaler Druck stattfindet, wo dagegen bei den anderen Brücken immer ein bedeutender Seitenschub vorhanden ist, dem Widerstand geleistet werden muß. Der einzige Hauptumstand, welcher bei dieser Construction obwaltet, ist der, daß man dieselbe nicht zu größeren Ueberbrückungen, als bis höchstens 35 Fuß Weite anwenden kann. Bei größeren Weiten würden unbedingt Seitenschwankungen entstehen, die aber nicht allein nachtheilig für die Construction selbst sein würden, sondern wohl gar einen Umsturz derselben herbeiführen könnten, indem man keine andere Seitenverspanung hier anbringen kann, als durch die gußeisernen Querunterzüge. Wollte man oberhalb noch eine Verbindung der Rippen unter sich bewerkstelligen, so verlangte dieses schon eine sehr bedeutende Ueberhöhung der Construction, indem sie dann eine solche Höhe erhalten müßte, daß unbehindert die über die Brücke fahrenden Wagen unter dieser oberen Querverbindung durchkönnten. Hierdurch würde aber die Construction jedenfalls vertheuert werden. Ferner aber müßte auch dann noch eine dritte Hängesäule angeordnet werden, in deren gehörige Befestigung wohl die größte Schwierigkeit liegt. Denn wollte man dieselbe am Spannriegel in dessen Mitte aufhängen, so würden die Senkungen, welche bei der jetzigen Anordnung nur geringe sind, jedenfalls bedeutender werden, indem dann der Spannriegel beim Ueberfahren einer Last, immer bis in seiner Mitte einen einseitigen Druck erleiden würde, was aber jedenfalls ein Heben des nicht belasteten Punktes, also desjenigen Punktes, woran die dritte Hängesäule befestigt ist, herbeiführen würde, wo dagegen jetzt, bei Anordnung zweier Hängesäulen, sobald die Last bis über die erste Hängesäule gekommen, die zweite schon eine bedeutende Last mitzutragen erhält. Man könnte diesem Umstande alsdann dadurch abhelfen, daß man durch Zugstangen, welche von den Aufhängepunkten der beiden äußeren Hängesäulen ausgingen, und am mittleren Unterzuge befestigt wären, das System unverschiebbar machte. Man würde aber ferner nicht beseitigen können, daß bei solchen Anordnungen dreier Hängesäulen die relative Festigkeit des Spannriegels sehr bedeutend in Anspruch genommen würde, wo dagegen jetzt nur die rückwirkende Festigkeit desselben in Betracht kommt. Eine besondere Anordnung von Seitenstreben für die dritte Hängesäule würde nicht statthaft und auch sehr schwierig anzubringen sein auch würde wegen ihrer größeren Länge, die diese Seitenstreben erhalten müßten, der Guß derselben sehr schwierig zu bewerkstelligen sei; dieselben aber aus mehreren Stücken zusammen zu setzen, würde schon wegen der im Ganzen mangelhaften Querverbindungen, die hier erhalten würden, nicht zu empfehlen sein.

Nicht uninteressant wird es sein, wenn wir hier gleich hinterher eine sta-

tische Berechnung dieser Construction folgen lassen. Es wird aber sehr schwierig, eine genaue Berechnung aufzustellen, indem wir die Wirkung nicht kennen, welche ein über die Brücke gehender Eisenbahnzug bei einer gewissen Geschwindigkeit der Locomotive auf dieselbe äußert. Wenn sich diese nun auch annähernd bestimmen läßt, auf vielfache und genau darüber angestellte Beobachtungen basirt, so wird man doch nicht im Stande sein, darauf eine richtige Berechnung gründen zu können. Wir müssen uns daher damit begnügen, eine solche Berechnung aufzustellen, aus welcher zu entnehmen ist, in wie weit die einzelnen Theile der oben beschriebenen Brücke Sicherheit gewähren bei einer gewissen in der Mitte der Brücke angebrachten Belastung. Nehmen wir daher an, in der Mitte der Brücke befinde sich eine Last von 100000 ℔, so hat die mittlere Rippe jedenfalls die doppelte Last zu tragen, als eine der Seitenrippen. Da nun die Rippen sämmtlich gleiche Abmessungen haben, so ist es genügend, wenn man die Festigkeit der mittleren Rippe untersucht, indem dann von dieser auch die Tragfähigkeit der beiden Seitenrippen, welche eine weit geringere Last zu tragen erhalten, von selbst geschlossen werden kann.

Die halbe Last, welche auf die mittlere Rippe kommt, beträgt 50000 ℔; diese vertheilt sich nun auf die beiden Hängesäulen, so daß an jeder derselben eine ruhende Last von 25000 ℔ hängt. Hierzu kommt nun noch das Gewicht eines halben Unterzugs mit 1340 ℔ und das Gewicht eines Theils des Belags mit 360 ℔, so daß also das Gesammtgewicht an jeder der beiden Hängeeisen 26700 ℔ oder 267 Centner beträgt.

Untersuchen wir nun zunächst die absolute Festigkeit der Hängeeisen. Diese haben einen Durchmesser von zwei Zoll, mithin zusammen einen Querschnittsinhalt von 6,28 Quadratzoll, und es kommt daher auf einen Quadratzoll ein Gewicht von 40,7 Centner, oder auf 1 □ Millimeter 3,26 Kilogr.

Nach vielen angestellten Versuchen von Perronet, Sufflot, Rondelet, Minard und mehren Andern beträgt der Mittelwerth des Gewichtes, welches einen schmiedeeisernen Stab von 1 □ Millimeter Querschnitt zerreißt ca: 43,2 Kilogr., folglich ist hier die Sicherheit gegen Zerreißen mehr wie zwölffach. Nach den Versuchen, welche Eytelwein über die absolute Festigkeit des Eisens angestellt, hätte man hier 18fache Sicherheit, indem derselbe das Gewicht, bei welchem ein schmiedeeiserner Stab von 1 □ Zoll Querschnitt zerriß, zu 78,140 ℔ fand.*)

Bei der hier gefundenen Belastung von 3,26 Kilogr. würde das Eisen nicht nachtheilig leiden, wenngleich eine Ausdehnung schon jedenfalls erfolgen würde, wie dieses auch aus den Beobachtungen bei der Prüfung des Eisens, welches zur Construction der Invaliden-Brücke zu Paris bestimmt war, hervorging, wo man ein Mittel fand, daß das Schmiedeeisen unter einer Belastung von 1 Kilogr. für den Quadratmillimeter des Querschnitts sich um 0,00005166 seiner ursprünglichen Länge ausdehnte. Allein man fand auch gleichzeitig bei diesen Versuchen, daß die bis auf 18 Kilogr. für den Quadratmillimeter gebrachte Belastung noch nicht groß genug war, um der natürlichen Elasticität

*) Band I. Seite 52.

des Eisens zu schaden, sondern nahm dasselbe nach seiner Entlastung genau seine ursprüngliche Länge wieder an. Wir finden also auch in dieser Beziehung gegen permanente Ausdehnung eine nahe sechsfache Sicherheit.

Um den Druck zu bestimmen, der nach der Länge der Strecke und des Spannriegels wirkt, haben wir den Verticalzug jeder Hängesäule in zwei Seitenkräfte zu zerlegen, die eine nach der Richtung der Strebe, die andere nach der des Spannriegels.

Zu dem oben angeführten Gewichte von 267 Centnern an jeder Hängesäule kommt nun ferner noch das Gewicht der Hängesäule selbst mit 95 ℔; eben so auch das halbe Gewicht der Strebe mit 9,25 Centnern und das halbe Gewicht des Spannriegels mit 7,2 Centner, so daß also nunmehr das Gesammtgewicht 284,4 Centner beträgt. Da nun die Hängesäule mit der Strebe einen Winkel von 70° einschließt, so erhält man durch die Zerlegung des angeführten Verticaldrucks eine Pressung nach der Richtung des Spannriegels oder

$$H = 284{,}4 \text{ tang } 70^\circ = 781{,}39 \text{ Centner}$$

und ferner eine andere Pressung nach der Richtung der Strebe, oder

$$S = 284{,}4 \text{ Sec } 70^\circ = 831{,}53 \text{ Centner.}$$

Die erstere Kraft H nimmt den Spannriegel, die letztere dagegen die Strebe in Bezug auf rückwirkende Festigkeit in Anspruch. Der Querschnitt des Spannriegels oder der Strebe ist an der schwächsten Stelle 33,1 Quadratzoll, mithin kommt auf den Quadratzoll der Strebe ein größter Druck gleich 25,19 Centner oder auf einen Quadratmillimeter 2 Kilogr. Nach den Versuchen, welche Karsten über das Zerdrücken des Roheisens angestellt hat, ergab sich die geringste Kraft, welche erforderlich war, einen Quadratzoll zu zerdrücken = 1412,80 Centner, mithin ist die erlangte Sicherheit hier groß genug.

Die Kraft, welche nach der Richtung der Streben wirkt, sucht die Widerlager fortzuschieben, was aber durch die horizontalen Zugstangen aufgehoben wird. Um nun die Größe des Zuges kennen zu lernen, hat man die Kraft S wieder nach horizontaler und verticaler Richtung zu zerlegen, wo dann die horizontale Kraft diejenige ist, welche auf ein Zerreißen der Zugstange wirkt, dagegen die letztere einen verticalen Druck auf das Widerlager ausübt.

Aus der Zerlegung findet man nun leicht die horizontale Kraft = 781,39 Centner und die verticale Kraft = 284,4 Centner, wozu aber noch das Gewicht der halben Strebe hinzugerechnet werden muß mit 9,25 Centner, so daß also der Verticaldruck auf jedes Widerlager gleich der halben Last der ganzen Construction oder = 293,65 Centner beträgt, wozu ferner noch das halbe Gewicht der Zugstangen hinzugerechnet werden muß.

Da nun die Zugstangen einen Durchmesser von 2 Zoll haben, so beträgt der Querschnitt bei beiden Zugstangen 6,28 Quadratzoll. Der Zug nach ihrer Längenrichtung ist aber 781,39 Centner, mithin kommt auf jeden Quadratzoll ein Zug = 124,42 Centner, so daß hier nach Obigem auch noch eine genügende Sicherheit erhalten wird, indem hier auf einen Quadratmillimeter 9,95 Kilogr. kommen.

Wir haben nunmehr noch die Bolzen zu untersuchen, an welchen die Hängeeisen aufgehängt sind, und diejenigen, an denen die Zugstangen wirken.

Was die ersteren betrifft, so ist die Last, welche an den Hängeeisen wirkt, nach obigen Bestimmungen 267 Centner, mithin kommt auf jede Hängesäule eine Last = 133,5 Centner, welche gleichzeitig auf Brechen des Bolzens wirkt. Da aber die Bolzen einen Durchmesser von 2 Zoll und also einen Querschnitt von 3,14 Quadratzoll haben, so kommen auf jeden Quadratzoll 42,51 Centner oder auf den Quadratmillimeter 3,4 Kilogr. Nach Tredgold erträgt aber das Eisen nur ohne nachtheilige Veränderung einen Zug von 12,4 Kilogr. für den Quadratmillimeter, mithin ist hier nur etwas über 3fache Sicherheit.

Jede der Hauptstangen hat hier einen Zug auszuhalten = 390,69 Centner; da nun die Bolzen, mit welchen die Zugstangen befestigt sind, ebenfalls einen Durchmesser von 2 Zoll und also einen Querschnitt von 3,14 Quadratzoll haben, so kommt hier auf jeden Quadratzoll 124,4 Centner oder für den Quadratmillimeter 9,9 Kilogr., welche Sicherheit aber jedenfalls bei der angenommenen Belastung zu geringe ausfällt und woraus also hervorgeht, daß diese Bolzen eine noch größere Stärke hätten erhalten müssen. Betrüge hier z. B. der Durchmesser der Bolzen 3 Zoll, so würde der Querschnitt = 7,06 Quadratzoll sein, und also auch jeder Quadratzoll 55,33 Centner oder auf den Quadratmillimeter 4,4 Kilogr. kommen, wodurch beinahe eine 3fache Sicherheit erhalten würde. Aus dieser Berechnung sehen wir, daß die Zugstangen und Zugbolzen zweckmäßiger hätten stärker angenommen werden können. Es ist nun zwar nicht anzunehmen, daß die hier angenommene Belastung je auf der Brücke ruhen wird; allein es ist aber anzunehmen, daß ein die Brücke passirender Zug vermöge der Unebenheiten der Schienenoberfläche eine weit größere Wirkung äußern wird, als wenn dieselbe Last in ruhender Lage auf der Brücke sich befindet.

Was endlich die Unterzüge betrifft, so haben diese eine Stärke von 1 Zoll, in der Mitte eine Höhe von 15 Zoll und an den Enden eine Höhe von 10 Zoll. Lassen wir nun die Nervenverstärkung an der unteren und oberen Kante ganz unberücksichtigt und nehmen an, daß dieselben überall eine gleiche Höhe von 15 Zoll hätten, was hier wohl ohne Nachtheil geschehen kann, so haben wir nach §. 3

$$\varrho = R \frac{b\,c^2}{P};$$

es ist hier nun $R = 30000000$; $b = 0{,}03$ Meter, $c = 0{,}45$ Meter
und also $\varrho = 30375$ Kilogr. $= 60750$ ℔

Die Belastung auf jeden Unterzug, beträgt aber nach unserer Annahme nur 25000 ℔ und berücksichtigen wir ferner, daß dieselben noch durch Nerven verstärkt sind, so ist hier jedenfalls eine mindestens 3fache Sicherheit anzunehmen, welche bei der großen Last, welche hier in Rechnung gebracht, aber in der Wirklichkeit nie stattfindet, als genügend erachtet werden kann, zumal wenn angenommen wird, daß die Last gleichmäßig über die Unterzüge verbreitet sei. Bei der eben geführten Rechnung sind wir von dem Gesichtspunkte ausgegangen, daß die Last in der Mitte der Brücke liege und eine ruhende

sei. Unter diesen Umständen entsteht eine Pressung, die eine Verschiebung der Construction nicht zuläßt. Dieser Fall findet aber in der Wirklichkeit nicht statt, sondern bei der Fortbewegung der Last über die Brücke werden die einzelnen Theile der Construction nach einander belastet, und muß dadurch jedenfalls eine Verschiebung oder doch Veränderung der Construction in dem Augenblicke des Uebergangs der Last entstehen. Dieser Veränderung muß die Construction Widerstand leisten, und zwar sind es namentlich die Bolzen, welche durch die Flanschen der Streben und des Spannriegels gehen, welche dies zu verhindern suchen, und durch welche eine solche augenblickliche Veränderung der Form auch verhindert wird, sobald die Flanschen nur eine hinreichende Stärke haben, um dem Zuge, der auf sie wirkt und die Fuge zu öffnen strebt, widerstehen zu können.

Hierüber eine Rechnung anzustellen, ist wohl nicht möglich, ohne daß man genaue Beobachtungen über die Veränderung der Construction beim Uebergang von Lasten zu Grunde legt. Unseres Wissens sind aber bis jetzt darüber noch keine Untersuchungen angestellt, und haben wir deshalb dieses Umstandes Erwähnung gethan, weil er bei derartigen Constructionen, wie die vorliegende, nothwendige Berücksichtigung verdient.

Dieser eben angeführte Umstand, welcher für die Dauer immer nachtheilig für die Construction sein muß, ließ sich dadurch mehr oder weniger beseitigen oder doch schädlich machen, wenn man die Aufhängepunkte der Hängesäulen durch in der Mitte sich kreuzende Zugstangen in Verbindung brächte, so daß, wenn der eine Unterzug belastet wäre und also eine ungleiche Belastung der Construction stattfände, die mit dem Aufhängepunkte der anderen Hängesäule und diesem Unterzuge verbundene Zugstange, ein Heben dieses Punktes verhinderte. Solche Zugstangen würden nicht allein die Construction unverschiebbar machen, sondern sie würden auch jedenfalls noch zu einer größeren Tragfähigkeit beitragen, vorausgesetzt, daß alle Theile der Construction eine genügend entsprechende Stärke hätten. Namentlich hat man des oben erwähnten Umstandes wegen auch auf die Flanschen Rücksicht zu nehmen, in welchen die Löcher zu den nothwendigen Verbindungsbolzen sich befinden. Diese müssen eine solche Stärke erhalten, daß sie nicht durch den Zug, welcher durch eine ungleiche Belastung des Zuges entsteht, abbrechen können und bei denen also die relative Festigkeit des Gußeisens in Anspruch genommen wird.

Die zweite Art der hierher gehörigen Brücken sind die Bogenhängwerksbrücken. Um diese Constructionen näher kennen zu lernen, sollen einige hierher gehörige Fälle angeführt werden. Die in den Figuren 628 und 629 dargestellte Brücke zeigt eine Bogenhängwerksbrücke und zwar diejenige über die Rench auf der badischen Eisenbahn.

Diese Brücke hat zwei Oeffnungen, deren jede 20,9 Fuß im Lichten weit ist. Die Brückenbahn jeder Oeffnung wird hier von drei Rippen getragen, von denen sich zwei an den Rändern der Brücke und eine in der Mitte, also in der Bahndammachse befindet. Die Rippen beider Oeffnungen stoßen auf dem Mittelpfeiler gegen einander.

Jede einzelne Tragrippe ist ihrer Länge nach in zwei ganz symmetrische

Flächen getheilt (s. Fig. 629) und besteht aus acht Stücken, von denen je vier Stücke eine Halbrippe bilden. Vier Stücke einer Tragrippe sind der Sehne und dem Bogen Fig. 628 gemeinschaftlich und haben sie die Form a b c d e f und m g h i k l; die Ergänzungsstücke zur vordern Hälfte der Rippe sind das Sehnenstück a b g m und das Bogenstück e f l k. Aehnlich wie die eine Halbrippe ist auch die andere zusammengesetzt, nur mit dem Unterschiede, daß dabei eine solche Anordnung getroffen ist, daß die Fugen beider Halbrippen nicht auf einander treffen. Die einzelnen Stücke der Halbrippen sind an ihren Enden mit angegossenen Flanschen versehen, in welchen jedesmal zwei Löcher sich befinden, die genau mit denen der gegenstoßenden Flansche des anderen Stückes zusammentreffen, durch welche Löcher dann Verbindungsbolzen gesteckt werden. Außerdem werden aber je zwei Halbrippen, deren Guß- und Stoßflächen genau abgearbeitet sind, durch fünfunddreißig Schraubenbolzen zu einer ganzen Rippe verbunden.

An jeder Hängewerksrippe befinden sich sechs Hängestangen, von denen je zwei immer an einem durch die Rippe durchgesteckten Schraubenbolzen hängen. Diese Hängestangen sind mit der unteren Sehne der Rippe ebenfalls durch eieinen Schraubenbolzen verbunden, wie in Fig. 629 näher angedeutet. Diese Hängestangen tragen Unterzüge, die nach der ganzen Breite der Brücke durchgehen und auf welchen die Brückenbahn ruht, wie aus Fig. 628 A zu ersehen ist.

Zur bessern Uebertragung der Last ruhen die einzelnen Rippen auf den Widerlagern und dem Pfeiler auf gußeisernen Lagerplatten, die mit den Quadern durch starke Bolzen verbunden sind.

Die Abmessungen dieser Brücke sind folgende:

Die lichte Weite jeder Oeffnung ist, wie schon oben angeführt 20,9 Fuß; die ganze Länge einer Rippe ist 23,5 Fuß; die Entfernung der Rippen von Mitte zu Mitte 12,3 Fuß; die Höhe des Querschnitts in der Mitte einer Rippe 3,8 Fuß; die Höhe des Querschnitts der Sehne oder des Bogens 1,2 Fuß und die Breite des Querschnitts 0,7 Fuß; die Eisenstärke einer Halbrippe ist 0,12 Fuß und die Stärke der Nerven 0,2 Fuß. Die Hängestangen haben einen rechteckigen Querschnitt von 2 Zoll und 1 Zoll und endigen dieselben in Cylinder von 0,15 Fuß Durchmesser; die Hängebolzen haben eine Stärke von 0,2 Fuß.

Die Unterzüge wurden anfänglich von Eichenholz projectirt, und hätten die Hängestangen alsdann durch dieselben durchgebohrt werden müssen; man änderte dieses aber dahin um, daß man dieselben von Gußeisen herstellte und denselben eine Stärke von 1 Zoll und eine Höhe von 12 Zoll gab.

Bei einer dieser ganz gleichen Brücke, nämlich der Brücke über den Hurstgraben bei Renchen stellte man mehrfache genaue Untersuchungen an über die Senkung, welche dieselbe erlitt beim Uebergang einer Locomotive und zwar bei verschiedenen Geschwindigkeiten. Aus diesen Versuchen ergab sich, daß bei einer Geschwindigkeit von 0 Fuß und bei einem Gewichte der Locomotive von 15,5 Tons die Senkung 0,6 Linien betrug; dagegen betrug bei einer Geschwindigkeit von 57,10 Fuß unter derselben Last die Senkung nur 0,73 Linien. Dieses

Ergebniß ist jedenfalls als sehr günstig anzunehmen und geht daraus hervor, daß das Tragvermögen der Hängerippen nicht allein sehr bedeutend ist, sondern dieselben auch eine sehr große Steifigkeit besitzen. Keinenfalls ist diese Construction bei ungleichförmiger Belastung so dem Verschieben ausgesetzt, wie die vorhin erwähnte Hängewerksbrücke, denn es kann hier füglich die ganze Rippe als aus einem Stücke bestehend betrachtet werden, vorausgesetzt, daß die Stoß- und Gußflächen möglichst genau zusammengearbeitet sind. Wäre dieses aber nicht der Fall, so würden wegen des ungleichen Drucks, den die einzelnen Theile der Rippen dann erleiden würden, auch Ausbiegungen entstehen, die aber nur zum größten Nachtheil der Construction selbst ihre Wirkung äußern würden.

Die hier angewendete Spannweite kann jedenfalls noch vergrößert werden, sobald man nur die Anordnungen treffen kann, daß die ganzen Rippen nicht nach einer oder der anderen Seite ausweichen können. Kann man daher solche Querverbindungen anbringen, wodurch die Rippen in ihrer Stellung unverändert erhalten werden, so kann man ohne Gefahr diese Construction bis zur Spannweite von 40 Fuß anwenden, wo natürlich aber dann die Eisenstärke bedeutender angenommen werden muß.

Ein anderes hierher gehöriges Beispiel ist in den Figuren 708—714 dargestellt und zwar die Seitenansicht, ein Theil des Grundrisses und des Durchschnittes einer Brücke auf der London-Birmingham-Eisenbahn. Die Brücke hat zwei Bahnen und werden diese durch drei Tragrippen getragen. Jede Rippe besteht aus zwei Rahmen, die durch Querrahmen wieder mit einander verbunden sind und somit jedesmal einen kastenförmigen Rahmen darstellen. Die Seitenrahmen bestehen aus einer Verbindung geradliniger Rahmstücke mit einem Tragbogen, dessen untere Enden durch Zugstangen verbunden und so am Ausweichen verhindert werden. Bei den beiden äußeren Rippen sind an jedem Rahmen jedesmal nur zwei Zugstangen, dagegen an der mittleren Rippe deren vier. Die Brückenbahn wird durch gußeiserne Träger unterstützt, die der Quere nach von einer Rippe zur andern gehen. Die Träger hängen an schmiedeeisernen Stangen, die mit den inneren Querrahmen jeder Rippe verbunden sind. Auf diesen gußeisernen Trägern liegen dann rechtwinkelig darauf Langschwellen, auf denen die Eisenbahnschienen befestigt sind.

Diese einzelnen Verbindungen sind aus den in den Figuren 711, 712, 714 A und B beigefügten Detailzeichnungen genügend zu entnehmen und bedarf es daher keiner weitern Erklärung.

Die lichte Oeffnung dieser Brücke beträgt ungefähr 17 Meter oder 56 Fuß badisch. Da nun bei der hier nothwendigen Höhe der Tragrippen, welche der Länge nach aus mehreren Theilen zusammengesetzt sind, sich sehr leicht Seitenausweichungen der Rippen hätten einstellen können, so hat man hier sehr zweckmäßig ihre Basis nach der Breite hin vergrößert, indem man dieselben aus zwei Seitenrahmen zusammensetzte, die durch Querrahmen mit einander wieder verbunden sind. Die einzelnen Theile, woraus eine Rippe zusammengesetzt ist, bilden kastenförmige Rahmen, die an ihren Berührungsflächen durch Schraubenbolzen mit einander verbunden sind, wie aus Figur 713 ersichtlich ist.

Diese Beispiele werden vollständig genügen, um das Eigenthümliche dieser Construction erkennbar zu machen und wollen wir nunmehr zur nähern Beschreibung der dritten Gattung, nämlich der Bogenhäng- und Sprengwerksbrücken übergehen.

Diese Bogenhäng- und Sprengwerksbrücken nähern sich im Wesentlichen den Bogenhängwerksbrücken, nur mit dem Unterschiede, daß hier noch ein zweiter Bogen angebracht ist, dessen Schenkel die Sehne des oberen Bogens durchschneiden und sich gegen die Widerlager lehnen, und somit die Brückenbahn auch von unten her unterstützen. Da aber der Haupttheil der Construction oberhalb der Brückenbahn sich befindet, so kann man bei dieser Construction auch nur einzelne Tragrippen aufstellen, an denen Unterzüge befestigt werden, worauf die Brückenbahn zu liegen kommt.

Eine streng genommen hierher gehörige, nämlich die in den Figuren 630, 631 dargestellte Brücke über die Savern bei Buildwas haben wir schon oben näher beschrieben und zwar aus dem Grunde, weil die Construction derselben von der hier folgenden sich sehr wesentlich unterscheidet, indem bei obiger Brücke beide Bögen, nämlich der Hängwerksbogen so wie auch der Sprengwerksbogen, für sich bestehend waren und durch eingelassene und später verschraubte Stangen mit einander verbunden wurden. Bei den im Folgenden angegebenen Beispielen aber sind die Bögen mit der durchlaufenden Sehne zugleich in eins gegossen. Es sollen hier nur zwei Beispiele angeführt werden, nämlich die Elzbrücke bei Kenzingen und die Elzbrücke bei Serau; diese beiden Brücken sind in Hinsicht ihrer äußeren Form einander sehr ähnlich, dagegen hinsichtlich ihrer Zusammensetzung sehr verschieden von einander, wie dieses auch aus der nachfolgenden Beschreibung deutlich zu entnehmen ist.

In den Figuren 715—720 ist die Elzbrücke bei Kenzingen dargestellt. Diese Brücke, welche mit der Richtung des Flusses einen Winkel von 80 Grad bildet, hat zwei Pfeileröffnungen, deren jede lichte Weite 40 Fuß beträgt. In jeder Oeffnung sind drei Tragrippen angeordnet, welche sich mit ihren Stützpunkten $4^1/_2$ Fuß unter der Bahn befinden und in der Mitte des Pfeilers gegen einander stoßen. Die Auflagerungsplatten der Bogenenden sind unterwärts horizontal und an ihren Rückenden vertical; sie liegen auf gußeisernen Platten, die mit den unteren Quadern durch Schraubenbolzen verbunden sind.

Was die Tragrippen betrifft, so bestehen dieselben hier aus drei Stücken, welche mittelst Flanschen und Bolzen verbunden sind und somit ein Ganzes bilden. An sechs Punkten dieser Tragrippen sind Hängesäulen angebracht, zu welchem Zwecke der obere Bogennerv an den bezüglichen sechs Punkten nach horizontaler Richtung durchbohrt ist, um die Bolzen für die Hängestangen aufzunehmen. An diese Hängestangen, deren an jedem Punkte zwei vorhanden sind und zwar in jeder Seite der Rippe immer eine, sind die Unterzüge befestigt, welche hier von Gußeisen sind und parallel mit den Widerlagern laufen. Diese Unterzüge haben an den Verbindungsstellen mit den Hängestangen cylinderförmige Hülsen, durch welche die unteren Enden der Hängestangen durchgreifen und daselbst mittelst einer Schraubenmutter verschraubt werden. Diese Un-

terzüge gehen nach der Breite der Brücke in einer Länge durch, so daß also jeder von sechs Hängestangen getragen wird.

Um die möglicher Weise entstehenden horizontalen Schwingungen der Brücke beim Darübergehen eines Bahnzuges zu vermeiden, so sind hier noch gußeiserne Spannrippen angeordnet. Diese Spannrippen, deren Anordnung aus Fig. 716 hervorgeht, stützen sich gegen den Pfeiler und gegen die Widerlager mit ihren äußersten Enden, und stoßen gegen die Unterzüge mit denen sie durch Schraubenbolzen verbunden sind und so an Veränderung ihrer Lage verhindert werden.

Die Rippen stehen von Mitte zu Mitte 12,7 Fuß von einander entfernt und haben im Ganzen eine Länge von 45,2 Fuß, wo jedoch die freitragende Weite nur 40 Fuß beträgt. Die ganze Höhe der Rippe in der Mitte ist 3,6 Fuß und die Eisenstärke derselben 0,2 Fuß; die Verstärkungsnerven derselben sind 11 Linien hoch, unten 24 Linien und oben 16 Linien breit, so daß also die ganze Eisenstärke der Rippe in der Mitte des Bogens oder der Sehne 0,31 Fuß beträgt. Die Verbindungsflanschen haben eine Breite von 0,42 Fuß. Die Auflagerungsplatten haben 2,5 Fuß Länge und 1,4 Fuß Breite. Die Stärke der Hängeeisen 0,15 Fuß.

Die Höhe der Unterzüge beträgt in der Mitte 1,65 Fuß und ihre Stärke 0,18 Fuß und ferner die Entfernung von einander 5,2 Fuß. Hieraus geht also hervor, daß man die Stärken der Unterzüge in Vergleich zu den obenerwähnten Brücken sehr erheblich vergrößert hat.

Es ist hier Fig. 715 ein Theil der Ansicht der Brücke; Fig. 716 ein Theil des Grundrisses und Fig. 717 der Querschnitt derselben.

Fig. 719 zeigt die Ansicht einer Rippe und Fig. 718 dieselbe im Grundriß, beide nach vergrößertem Maßstabe.

Fig. 720 A zeigt ein Paar Hängestangen; B ist ein Querschnitt der Rippe nach der Linie a b; C nach der Linie c d; D ist ein Querschnitt des Bogens nach der Linie h g; E ein Querschnitt der Sprossen nach der Linie e f.

Fig. 720 F und G sind der Querschnitt und die Ansicht eines Unterzuges; endlich H ist der Querschnitt einer Spannrippe.

Die Gesammtkosten dieser Brücke betrugen 37,329 Gulden.

Was die Construction dieser Brücke betrifft, so kommen dabei mehrere Umstände vor, welche derselben sehr leicht zum Nachtheile gereichen können. Zunächst kommt hierbei in Betracht, daß bei der vorliegenden Construction jedenfalls ein sehr bedeutender Horizontalschub stattfindet und dieser einzig und allein durch die Widerlager aufgehalten wird und zwar an einer Stelle, wo dieselben am wenigsten Widerstand zu leisten vermögen, nämlich an ihrem oberen Theile. Die horizontale Sehne des oberen Bogens trägt zur Verminderung dieses Horizontalschubes gar nichts bei, indem sie ebenfalls einen Theil der Bogenconstruction mit bildet. Es wäre daher sehr zweckmäßig gewesen, wenn man die beiden Enden einer Tragrippe unterhalb der Unterzüge noch durch Zugstangen mit einander verbunden hätte, welches ohne Schwierigkeit geschehen konnte. Weicht hier eines der Widerlager aus, so daß also die Auflagerungen auf den Pfeilern und Widerlagern nicht völlig unveränderlich und unverrückbar sind, so zeigt sich gleich die Tendenz zur Drehung um die oberen Kanten der

Verbindungsflanschen, wobei aber die Bolzen zur Verbindung der Bogenstücke sehr leiden. Dieses wird aber noch mehr der Fall sein, sobald eine Last über die Brücke fortrollt. Weil hier nicht alle Theile der Brücke gleichförmig und auf einmal belästigt werden, sondern einzelne Theile früher den Druck erleiden als andere, so wird an der nächsten Verbindungsstelle eine Drehung um die oberen Kanten der Verbindungsflanschen entstehen; an der entfernteren Verbindungsstelle wird sich aber dann nothwendig diese Drehung an der unteren Kante zeigen, indem die Construction im Falle einer Veränderung ihres Widerlagers dann nicht mehr die Stabilität besitzt, einer solchen ungleichförmigen Belastung zu widerstehen. Solche Veränderungen, die sicher nicht wieder aufgehoben werden nach Beseitigung der Last, müssen nothwendig zur Folge haben, daß nicht allein die Verbindungsbolzen, sondern auch die Flanschen bei aller Stärke, die man ihnen giebt, im hohen Grade leiden. Namentlich können hierbei sehr leicht die Bolzen zersprengt werden, indem dieselben in Folge der Veränderung der Construction eine kurze und scharfe Biegung erleiden. Um solchen Veränderungen vorzubeugen ist es daher nothwendig, wie wir auch schon erwähnt haben, daß man die unteren Enden der Tragrippen durch Zugstangen mit einander verbindet; denn in diesem Falle kann wohl nicht an ein Ausweichen der Seitenstücke der Rippe gedacht werden. Gleichzeitig erreichte man hierdurch aber auch noch den Vortheil, daß man mit schwächeren Widerlagern auskam, indem durch die Anordnung der Zugstangen der Horizontalschub auf die Widerlager fast ganz aufgehoben wird und diese letzteren somit nur noch einen Verticaldruck zu erleiden haben.

Weit zweckmäßiger ist jedenfalls die Anordnung der einzelnen Tragrippen, der in den Figuren 786—792 dargestellten Elzbrücke bei Sexau.*)

Diese Brücke, deren Achse die Mittellinie des Elzflusses unter einem Winkel von 74 Grad 14 Minuten schneidet, hat drei gleiche Oeffnungen, deren jede 47,07 Fuß Lichtweite hat, und besteht ihr Unterbau aus zwei steinernen Mittel- und zwei Landpfeilern. Die normale Entfernung der Mittellinien der Pfeiler, beträgt 48,83 Fuß, und ist die lichte Entfernung der Pfeiler beim Bogenanfang, der Brückenachse nachgemessen, 46,64 Fuß.

In jeder Oeffnung befinden sich drei Tragrippen, wovon jede einzelne einen von zwei horizontalen Barren durchkreuzten Bogen bildet, dessen Anfänger 5,7 Fuß unter der Bahnoberfläche liegen, und dessen größte Bogenhöhe 8 Fuß beträgt.

Die Tragrippen bestehen hier, ähnlich wie bei den oben beschriebenen Bogenhängwerksbrücken, aus zwei der Länge der Brücke nach getheilten Hälften, deren jede aber wieder aus mehreren Segmenten besteht, die in der Art an einander gefügt sind, daß die Fugen der Segmente der einen Hälfte immer in die Mitte der Segmente der andern Hälfte fallen, und somit stets ein Uebergreifen der einzelnen Theile stattfindet. Sowohl die einzelnen Segmente, an deren Enden elliptische Flanschen angegossen sind, als auch die beiden Halbrippen werden mittelst schmiedeeiserner Bolzen zusammen befestigt (s. Fig. 788, 789, 790).

*) Die Brücken der badischen Eisenbahnen von Max Becker. Carlsruhe 1847.

Diejenigen Theile der Tragrippen, welche sich an die Widerlager und Pfeiler anschließen, sind nicht aus zwei Hälften zusammengesetzt, sondern bestehen aus einem Gußstücke, welches sich in eine in den Winkel gebogene elliptische Flansche endigt, wie der Schnitt l m Fig 792 F zeigt. Auf diese Flansche stemmt sich das dem unteren Barren und dem Bogen gemeinschaftliche Gußstück b p o h i c, welches zum Theil schon in den horizontalen Barren bis o p eingreift, und eben so ein anderes diesen Theil der Rippe ergänzendes Gußstück b g h k l m n i c, welches in den Bogen bis k l eingreift und noch einen Theil des oberen Barrens bildet, s. Fig. 788.

Der Theil m n d e ist massiv aus einem Stücke. An den oberen Theil der im Winkel gebogenen Flansche i g stemmt sich ein weiteres hälftiges Bogenstück h t s l m n i, welches einen großen Theil des Bogens, und einen Theil des oberen horizontalen Barrens bildet. An die Halbflansche k l stößt ein weiteres Bogenstück k o u l, und an die Halbflansche bei s t stößt das Bogenstück s t k′ l′. Von hier aus sind die Gußstücke dieselben, wie auf der anderen Seite, nur mit dem Unterschiede, daß die gleichen Stücke nicht auf einer und derselben Hälfte sich befinden. An den unteren Theil der im Winkel gebogenen Flansche i g stößt ein hälftiges Bogenstück i k z z′; an die Halbflansche bei o p stößt ein gleiches Stück h g g r; ebenso stößt ein weiteres Barrenstück an die Halbflansche o p und endlich noch ein gleiches an q r, von wo an dieselben Stücke folgen, wie sie schon oben erwähnt wurden. Die ganze Tragrippe besteht sonach aus 16 einzelnen Theilen, von denen zwölf Theile hälftig und vier massiv oder ungespalten sind, wie auch dieses aus den Figuren 788, 789, 792 A — F deutlich zu ersehen ist.

Jede Tragrippe hat neun doppelte schmiedeeiserne Verbindungsstangen, von denen sieben als Hängeeisen dienen und deshalb sich in cylindrische mit Gewinden versehene Stäbe endigen, wie die Figuren 786, 788, 790, 791 zeigen. Durch je zwei solcher Verbindungs- oder Hängeeisen gehen zwei schmiedeeiserne 2 Zoll starke Bolzen.

An den drei Tragrippen jeder Oeffnung sind im Ganzen 16 halbe Unterzüge angehängt, von denen jedoch 14 mittelst Flanschen und Schraubenbolzen unter der Mittelrippe zusammengeschraubt sind. Die Richtung der Unterzüge ist hier nicht parallel mit den Widerlagern, sondern senkrecht auf die Brückenachse, durch welche Anordnung besondere Windkreuzverbindungen zur Sicherung gegen bedeutende horizontale Schwankungen mehr oder weniger entbehrlich gemacht werden. Außerdem wird aber durch diese Anordnung auch noch der Vortheil erreicht, daß beim Uebergang einer Last über die Brücke, die schwächere Stelle der einen Rippe wieder durch die mehr starke der andern Rippe unterstützt wird.

Damit die schrägen Auflagerungsplatten der Tragrippen nicht unmittelbar auf den Stein zu liegen kommen, und mit der Zeit durch zu häufige Erschütterungen denselben nicht zerreiben, so legte man gußeiserne Lagerstücke unter, wie solche für die Pfeiler und Widerlager in den Figuren 792 I K L M N zu ersehen sind. Diese Anordnung ist jedenfalls sehr zweckmäßig, allein es wäre immer besser gewesen, wenn man die Schuhe an die Anfangsstücke der Bogen

gleich angegossen, und zur Vertheilung des Drucks auf eine größere Fläche noch eiserne Gußplatten untergelegt hätte, indem dadurch nicht allein eine Verbindungsfuge weggefallen wäre, welche zur größeren Tragfähigkeit und Steifigkeit der Rippe nicht beiträgt, sondern es würde auch das Aufstellen der Tragrippen dadurch wesentlich erleichtert worden sein.

Was die Stärken der einzelnen Constructionstheile betrifft, so sind diese in den bezüglichen Figuren näher angegeben.

Die Kosten sämmtlicher zu dieser Brücke erforderlich gewesenen Arbeiten haben 92823 fl. 40 Xr. betragen, wovon 39130 fl. 4 Xr. für das sämmtlich Eisenwerk verausgabt sind.

Obgleich bei dieser Construction der einzelnen Tragrippen der Bogen auch als Hauptreglement hervortritt, so wird es bei der statischen Berechnung einer solchen Tragrippe doch jedenfalls angemessener sein, daß man die den Bogen durchschneidenden geradlinigen Barren dabei nicht außer Acht läßt. Denn wollte man annehmen, es sei der Bogen allein vorhanden, so würde man die Berechnung desselben nur nach der Theorie der gebogenen elastischen Körper vorzunehmen haben, welche Theorie aber voraussetzt, daß der gebogene Körper in allen Punkten gleiche Stärke und daher auch gleichen Widerstand gegen Biegung besitze, welche Voraussetzung aber bei den in Frage stehenden Tragrippen durchaus nicht Anwendung finden kann. Eben so würde es auch ganz zwecklos sein, wollte man hinterher die statische Berechnung auf die geraden Barren anwenden, indem diese gleichzeitig mit dem Bogen verbunden sind, und mit demselben ein Ganzes ausmachen. Richtiger oder doch angemessener und jedenfalls leichter auszuführen wird es daher sein, wenn man die Rippe als einen Träger betrachtet, welcher aus den beiden parallelen durch die Hängeeisen und namentlich durch die Bogentheile fest mit einander verbundenen Barren besteht.

Für einen Träger von der Querschnittsform Fig. 798 haben wir bei der daselbst angegebenen Bezeichnung

$$\varepsilon = \frac{E}{12}\left[a'(b^3 - b'''^3) + (a - a')(b'^3 - b''^3)\right]$$

und

$$\varrho = \frac{R}{6\,b}\left[a'(b^3 - b'''^3) + (a - a')(b'^3 - b''^3)\right].$$

Wenden wir nun diese Formeln auf den vorliegenden Fall an, so muß, wenn 2 l die freiliegende Weite des Trägers und 2 P die Last in der Mitte bezeichnet, und wenn Gleichgewicht stattfinden soll, nothwendig

$$P\,l = \varrho$$

oder

$$2\,P = \frac{R}{3\,l}\cdot\frac{1}{b}\left[a'(b^3 - b'''^3) + (a - a'^3)(b'^3 - b''^3)\right] \text{ sein.}$$

Wird nun mit s die größte Senkung bezeichnet, welche die Last 2 P hervorbringt, so hat man

$$s = \frac{2\,P}{\varepsilon}\cdot\frac{(2\,l^3)}{48} \text{ oder}$$

$$s = \frac{2\,P}{\frac{E}{12}\left[a'(b^3 - b'''^3) + (a - a')(b'^3 - b''^3)\right]}\cdot\frac{(2\,l)^3}{48}.$$

Wir haben nunmehr diese Formeln auf die Tragrippen selbst anzuwenden, und da sich in jeder Brückenöffnung drei Tragrippen befinden, so wird die Berechnung hier für die mittelste aufgestellt, als diejenige, welche am meisten zu tragen hat.

Das Eigengewicht einer solchen Tragrippe beträgt . .	15413,05	Kilogr.
Das Gewicht der Schmiedeeisentheile	1111,75	=
Die constante Belastung von den Unterzügen	7167,50	=
Das Gewicht der Schwellen, der Eindeckung u. d. Bahnsch.	8475,00	=
also beträgt das Gesammtgewicht	32167,30	Kilogr.

Diese Last ist als gleichförmig auf die ganze Länge der Tragrippe vertheilt anzunehmen, und daher ganz gleich, als befände sich die Hälfte dieser Last oder 16083,65 Kilogr. in der Mitte derselben angehängt. Nimmt man nun ferner noch eine zufällige gleichförmig vertheilte Belastung von 20 Tons, so würde die gesammte, auf die Mitte der Tragrippe kommende Belastung 16083,65 + 20000 = 36083,65 Kilogr. betragen, wofür 36084 Kilogr. angenommen werden sollen.

Setzt man nun in obige Formel für 2 P die den Bezeichnungen entsprechenden Größen der Tragrippe selbst, und zwar

für $2l = 47{,}07' = 14{,}12$ Meter,
= $b = 4{,}45' = 1{,}335$ =
= $b' = 3{,}22' = 0{,}996$ =
= $b'' = 2{,}88' = 0{,}864$ =
= $b''' = 1{,}75' = 0{,}525$ =
= $a = 0{,}8' = 2{,}24$ =
= $a' = 0{,}3' = 0{,}09$ =

so erhält man, da R nach Versuchen gleich 30000000 Kilogr. ist, die Tragfähigkeit der Mittelrippe oder

$$2\,P = 267920 \text{ Kilogr.},$$

also eine fast 8fach größere Tragfähigkeit, als die angenommene Belastung ausmacht.

Was nun die Senkung der Tragrippen betrifft, so hat man zur Bestimmung der größten Senkung einer mittleren Tragrippe in obige Formel für s nur die den Bezeichnungen entsprechenden Größen der Tragrippe zu setzen. Dabei kommt aber zunächst das Eigengewicht der Rippe selbst in Betracht und ferner noch die zufällige Belastung.

Nimmt man nun 2 P = 16084 Kilogr., und setzt für E den aus Versuchen ermittelten Werth 11470000000 Kilogr., so findet man die Größe der Senkung, welche durch das Eigengewicht hervorgebracht wird, oder

$$s = 0{,}0039 \text{ Meter} = 1{,}3 \text{ Linien}.$$

Ferner erhält man die Senkung, welche durch eine zufällige Belastung von 10000 Kilogr. eintritt,

$$\text{oder } s = 0{,}0024 \text{ Meter} = 0{,}8 \text{ Linien},$$

welches auch die größte Senkung war, die man bei mehrfachen Versuchen, die man mit überfahrenden Locomotiven und bei einer Geschwindigkeit von 45,8 Fuß anstellte, beobachtete. Als Mittelwerth erhält man aus den mehrfach ange-

stellten Beobachtungen die Senkung = 0,78 Linien. Es geht also sowohl aus der Berechnung, als auch aus den, aus den Versuchen erlangten Resultaten hervor, daß die Tragrippen eine hinreichende Festigkeit besitzen.

Ein anderes hierher gehöriges sehr interessantes Beispiel ist die in den Figuren 793 und 794 dargestellte Brücke und Stollen am Paddington Canal, für die Birmingham-, Bristol- und Themse-Verbindungsbahn.

Die Spannweite dieser Brücke, welche die vom Canal durchschnittene Landstraße verbindet, beträgt 170 Fuß; die Fahrbahn hat eine Breite von 25 Fuß und die beiden Fußwege sind je 5 Fuß breit.

Die ganze Brückenbahn wird von vier gußeisernen Bogenrippen getragen, wovon je zwei den zur Seite liegenden Fußweg einschließen. Die vier Bögen stützen sich gegen gemauerte Widerlager, die aus Preßziegeln in Puzzolanmörtel vermauert hergestellt sind. Die Brückenbahn wird zum Theil von unten her durch verticale Stützen gestützt, größtentheils ist sie aber an die vier Tragbögen angehängt. Je zwei dieser Tragbögen sind im Scheitel durch starke Querstangen mit einander verbunden; außerdem wird aber durch die Fahrbahn selbst noch der nöthige Querverband hergestellt, indem die beiden innern Rippen in einer gewissen Entfernung von den Enden von der Fahrbahn vollkommen eingeschlossen sind.

Brücken dieser eben beschriebenen ähnlich, sind mehrere in England ausgeführt, jedoch mit größeren Spannweiten; als namentlich die Monksbrücke von 112 Fuß Spannung, und die Huntslatbrücke von 146 Fuß Weite, welche beide über den Fluß Aire führen.

Diese bisher angeführten Beispiele werden vollkommen genügen, um daraus das Eigenthümliche der Bogenhäng- und Sprengwerks-Construction zu ersehen.

Drittes Capitel.

Die Röhrenbrücken von Gußeisen.

---

§. 9. Allgemeines.

Um bei dem Bau einer eisernen Brücke, unbeschadet ihrer Festigkeit, noch eine größere Ersparniß an Kosten eintreten zu lassen, wie bis dahin im Vergleich zu einer steinernen Brücke erlangt war, so kamen schon, ehe die Kunst eiserne Brücken zu bauen bis zu dem jetzigen Standpunkte ausgebildet war, beinahe gleichzeitig drei Techniker auf die Idee, statt der viereckigen und im Querschnitt vollen Barren- oder Wölbstücke, cylindrische Röhrenstücke von angemessener Länge anzuwenden und diese an den Enden mit Anstoßscheiben zu

versehen und zusammen zu schrauben, oder doch auf eine andere Weise mit einander zu verbinden. Diese drei Techniker waren Gauthey, Reichenbach und Wiebeking, welche jeder die Ehre der ersten Erfindung beanspruchen.

Gauthey sagt im zweiten Theile seines i. J. 1813 herausgekommenen Werkes, daß er schon im Januar 1805 für die fünf steinernen Bögen der Brücke de l'Archevêché zu Lyon drei Bögen von gegossenen eisernen Röhren vorgeschlagen habe. Derselbe giebt auch einen Aufriß davon, welcher hier aber nicht weiter angeführt werden soll, indem durchaus nichts Näheres über die Dimensionen der Röhren und über ihre Zusammensetzung gesagt ist.

Ob ferner Wiebeking oder Reichenbach die Ehre der Erfindung dieser Construction gebührt, wollen wir nicht weiter untersuchen, sondern wollen wir im Folgenden die Ideen näher angeben, welche diese beiden Techniker entworfen haben, die aber nicht zur Ausführung gekommen sind.

Wenngleich nun von den erwähnten Technikern die Idee angeregt war, die einzelnen Rippen der Brücken aus gußeisernen Röhren herzustellen, und es auch sehr leicht zu beweisen war, daß durch die Anwendung solcher Röhren, unbeschadet ihrer Festigkeit*), eine sehr bedeutende Ersparung an Material erzielt werden würde, so blieb doch mehrere Jahre hindurch diese Idee unausgeführt. Zuerst wurde diese Idee in Deutschland wieder aufgegriffen und mehrere kleinere Brücken darnach ausgeführt. Die erste Hauptanwendung der Röhren bei Brücken wurde jedoch erst im Jahre 1836 gemacht, und zwar war es der Ingenieur Polonceau, welcher in dem angegebenen Jahre nach vielen Kämpfen dahin endlich gelangte, sein Röhrensystem, welches sich aber von den oben angedeuteten sehr wesentlich unterscheidet, bei der Carousseel-Brücke über die Seine zu Paris in Anwendung zu bringen. Von dieser Zeit an verschaffte sich diese Construction in Frankreich immer mehr Eingang, und wurde seitdem vielfach bei Brücken angewendet. Fast gleichzeitig mit der Carousselbrücke wurde in Ungarn eine eiserne Bogenhängebrücke ausgeführt, bei welcher die Bögen ebenfalls aus einzelnen Röhren zusammengesetzt waren. Seitdem haben auch die Röhrenbrücken in Deutschland eine häufigere Anwendung gefunden.

Wir wollen in den folgenden §. §. nun die verschiedenen Ideen und Systeme näher erwähnen und zwar soll zunächst das Wiebekingsche System an die Reihe kommen, ohne aber dadurch andeuten zu wollen, als seien wir der Meinung, daß diese Erfindung zuerst von diesem herrühre.

§. 10. Das Wiebeking'sche System.

Wiebeking hat drei eiserne Röhrenbogenbrücken entworfen, von denen die eine eine Spannweite von 306 Fuß und eine Bogenhöhe von 30 Fuß, die zweite eine Spannweite von 120 Fuß bei 12 Fuß Bogenhöhe, und die dritte

*) Nach Eytelwein verhält sich die relative Festigkeit eines hohlen Cylinders zu der eines vollen von gleicher Länge und gleichem Querschnitte = 1 : 0,824786.

aus drei Bögen bestehend, von welchen jeder eine Spannweite von 96 Fuß erhalten sollte.

Die Bögen sollten jedesmal aus drei Rippen bestehen, die durch Diagonalbögen vom Widerlager und zwar von den Seitenrippen ausgehend und bis zum Scheitel der mittleren Rippe sich erstreckend, noch verstärkt werden sollten (s. Fig. 721 u. 721 A).

Der Haupttheil einer jeden einzelnen Rippe sollte, wie aus Fig. 721 zu ersehen ist, aus einem eisernen Röhrenrippbogen bestehen, welcher aber wieder aus vielen einzelnen Röhrenstücken von etwa 8 bis 9 Fuß Länge zusammengesetzt werden sollte. Diese Röhren, welche cylindrisch angegeben, sollten 9 Zoll im Durchmesser erhalten und ihre Wandstärke 18 Linien betragen. Die Bogenschenkel werden hier theils mit Tragringen und Radialsprossen ausgefüllt, welche mit dem unteren Röhrenbogen durch Schraubbolzen verbunden werden und oberhalb eine aus zwei gekrümmten auf einander gelegten Balken bestehende Curve unterstützen, mit welcher sie ebenfalls durch Schraubenbolzen verbunden sind. Diese Tragringe sollten eine Breite von 2 Zoll erhalten und ihre Höhe von 4 Zoll bis auf 2 Zoll abnehmen, je nachdem ihr Durchmesser kleiner würde. Die Rippen und Diagonalrippen sollten der Breite nach unter sich wieder durch Röhren von geringerem Durchmesser verbunden werden und um die Brücke gegen Seitenschwankungen zu sichern, so sollten in dem aus Holz herzustellenden Belag hölzerne Windkreuze angebracht werden. Die Rippen werden auf eine in dem Widerlager vermauerte Verbindungsröhre von vorzüglicher Stärke gestützt, und sollen diese, so wie auch die dem Widerlager zunächst stehenden Röhren mit Mörtel ausgegossen werden, um ihre Tragkraft und Stabilität zu vermehren. Dieses ist in der Kürze die Anordnung im Allgemeinen.

Wir haben jetzt noch die Verbindung der einzelnen Röhrenstücke mit einander näher anzugeben, indem darin hauptsächlich die Eigenthümlichkeit des Systems liegt. Der Erfinder verwirft die Anordnung von Flanschen oder vortretenden Rändern, welche die Berührungsflächen je zweier zusammenstoßender Röhrenstücke bilden und daselbst durch Schraubenbolzen mit einander verbunden werden sollen und will statt dieser Anordnung die Hauptröhren in den Stößen jedesmal zusammengeschiftet haben. An der Schiftungsstelle wird eine andere Röhre b Fig. 722 von 30 Zoll Länge und $^3/_4$ Zoll Randstärke eingeschoben so daß diese, da die Schiftung etwa 14 Zoll lang ist, auf jeder Seite noch etwa 8 Zoll über dieselbe hinausreicht. Ueber die Schiftung wird nun ferner die äußere Hülse E geschoben. Alle drei über einander liegende Röhren haben an einer Stelle auf einander passende Löcher, durch welche ein 1,5 Zoll dicker Schraubenbolzen geht, der oberhalb, auf einer Länge von etwa 12 Zoll, eine Dicke von 2 Zoll hat und unterhalb mit einer Mutter verschraubt wird. Wo die Bogenschenkel mit Radialsprossen ausgefüllt sind, reichen diese Bolzen bis zu den Straßenträgern, mit welchen sie ebenfalls verschraubt werden und dienen hier somit gleichzeitig als Stützbolzen. In dem übrigen Theile sind sie mit den Tragringen verschraubt. Sie dienen also nicht nur dazu, um ein Ver-

schieben der in einander gesteckten Röhren zu verhindern, sondern auch um eine Verbindung der eigentlichen Tragrippe mit der Brückenbahn selbst herzustellen.

An die äußeren Hülsen E sind die Röhren d angegossen, welche aber nur einen Durchmesser von 6 Zoll und eine Randstärke von 6 Linien erhalten. Auf je zwei gegen einander überliegende Hülsen wird eine Verbindungsröhre gesteckt und auf diese Weise die Rippen horizontal mit einander verbunden, indem auch durch jedes Ansatzrohr und durch die Verbindungsröhre in auf einander passende Löcher ein Schraubenbolzen geht.

Diese vorgeschlagene Verbindung der einzelnen Röhren unter einander erscheint auf den ersten Blick sehr einfach und leicht ausführbar; allein bei gegenauerer Untersuchung tritt die Schwierigkeit, welche dieselbe in der wirklichen Ausführung mit sich führt, sehr bald hervor. Denn man kann sich sehr bald überzeugen, daß die beiden auf einander fallenden elliptischen Flächen einer Schiftung mit ihren zugehörigen Röhrenachsen nothwendig bestimmte Winkel machen müssen, und die Achsen der zusammengeschifteten Röhren Seiten eines regulären Vielecks werden; aber selbst auch bei den möglichst flachsten Bögen werden in diesem Falle die Polygonwinkel noch immer so groß sein, daß sie nicht gleich 180 Grad angesehen werden können. Es können aber die inneren und äußeren Hülsen, welche hier zur Verbindung der Röhren angewendet werden sollen, unmöglich mit solcher Genauigkeit gegossen werden, daß sie dem wenngleich sehr großen Polygonwinkel genau entsprechen und kann es daher nicht fehlen, daß bei der Ausführung die äußeren Hülsen sowohl, als auch die inneren die Röhren nur in wenigen Punkten berühren, was aber für den Bestand der Verbindung bei Erschütterungen im höchsten Grade gefährlich sein würde, indem die Hülsen bei Niederbeugung der Schiftröhren, diesen in ihren Schiftungen durchaus keinen Widerstand entgegensetzen können, weil alsdann Spielräume entstehen werden, die bei den inneren Hülsen abwärts und bei den äußeren aufliegen, so daß also die Hülsen so gut als nicht vorhanden zu betrachten sind. Dieses leuchtet noch um so mehr ein, wenn man bedenkt, daß die ganze Ausführung einer eisernen Brücke wegen der Incompressibilität des Gußeisens die größte Genauigkeit erfordert und daß namentlich die verbundenen Theile der Brücke sich nicht an einzelnen Punkten zwängen dürfen. Bei Anwendung von Holz würde dieses weniger schaden, indem der Holzkörper wegen seiner größeren Weichheit dem Drucke augenblicklich nachgeben würde.

Die Gründe, welche Wiebeking in seiner Wasserbaukunst anführt, weshalb er die Anstoßscheiben verwirft, sind folgende:

Erstens verursachen die zwei Anstoßscheiben einer jeden Röhre, worin Löcher sind, durch welche die Schrauben gehen, eine unnöthige Last, indem sie die Tragkraft des Bogens nicht verstärken.

Um wie viel mehr findet dieses nicht Anwendung auf die eben beschriebene Verbindung; denn nicht allein, daß durch die Anwendung der Hülsen die Last bedeutender vergrößert wird, als durch die Anstoßscheibeu, sondern auch die Verbindung selbst ist, wie wir oben aus einander setzten, viel mangelhafter und für den Bestand der Brücke sogar sehr gefährlich.

Ferner sagt derselbe, daß die die zwei Röhren zusammenhaltenden Schrau-

ben durch die Erschütterungen der Brücke, wenn solche auch unbedeutend sind, die aber täglich öfters wieder entstehen, locker werden. Dieser Grund, so wie auch die übrigen, welche Wiebeking gegen die Anordnung der Anstoßscheiben anführt, sind in der That zu nichtig, als daß sie einer Widerlegung bedürften.

§. 11. Das Reichenbach'sche System.

Das Reichenbach'sche System unterscheidet sich ganz wesentlich von dem vorhergehenden und hat nur das mit demselben gemein, daß die einzelnen Bögen auch aus Röhren zusammengesetzt sind.

Derselbe hat ebenfalls drei Entwürfe zu Brücken, aus solchen gegossenen Röhren bestehend, geliefert. Die erste Brücke hatte zwei Curven über einander liegend, deren untere eine Sehne von 306 Fuß und eine Bogenhöhe von 30,44 Fuß erhalten sollte. Die zweite obere Curve hatte eine Sehne von 316 Fuß und eine Bogenhöhe von 19,94 Fuß. Beide Curven sollten aus einer gleichen Anzahl Röhrenstücken bestehen, wo demnach die der oberen Curve etwas länger wurden. Diese beiden in einer verticalen Ebene über einander liegenden Röhren wurden durch Radialröhren, und zwar jedesmal bei der zweiten Röhre zusammen verbunden. An den Zwischenröhren, d. h. an denjenigen der Curve, wo keine Radialröhren angeordnet sind, stoßen die horizontalen Röhren, durch welche die Bogenrippen nach horizontaler Richtung mit einander verbunden werden.

Diese Brücke sollte sechs Rippen erhalten. Die Röhren der oberen Curve in jeder einzelnen Rippe, so wie auch die Radialröhren und horizontalen Verbindungsröhren sollten aus Röhren von 9 Zoll lichtem Durchmesser bestehen; dagegen die Röhren der unteren Curve sollten 15 Zoll im Durchmesser erhalten. Sämmtliche Röhren haben an ihren beiden Enden kreisförmige Anstoßscheiben, die von 90 zu 90 Grad durchlocht sind, und mittelst durchgesteckter Schraubenbolzen, die an einem Ende einen starken Kopf, am andern ein Gewinde haben, scharf zusammengeschraubt werden. Die Flächen der Anstoßscheiben an den Röhren der beiden Curven sind nach unten convergirend, und zwar so, daß ihre verlängerte Richtung mit dem bezüglichen Radius zusammen fällt. Die Wandstärke der Röhren ist hier überall gleich 1 Zoll bestimmt und die Breite der Anstoßscheiben gleich $3\frac{1}{2}$ Zoll. Die Ausfüllung der Bogenschenkel geschieht hier durch Stützröhren, welche in dieselbe Richtung der zugehörigen unteren Radialröhren fallen. Diese Stützröhren erhalten aber einen viereckigen Kopf und tragen den Balken, woran sie gleichzeitig verschraubt werden.

Die unteren Curven gehen auf jeder Seite $1\frac{1}{4}$ Röhrenlänge in das Widerlager hinein und sind darin vermauert; die oberen Curven sind nur um $\frac{1}{4}$ ihrer Röhrenlänge eingemauert. Diese Curven stützen sich gegen gußeiserne Platten, die etwa $2\frac{1}{2}$ Fuß ins Gevierte und eine Dicke von 3 Zoll erhalten.

Die zweite projectirte Brücke sollte zwei Bögen erhalten, jeden von 150 Fuß Spannweite und einer Bogenhöhe von 33,45 Fuß. Von dieser Brücke ist ein Theil des Grundrisses und der Ansicht in Fig. 723 und 724 näher dar-

gestellt. Dieselbe sollte ebenfalls wie die erste sechs Rippen erhalten, und sollte jede Rippe auch aus zwei Curven bestehen. Eine weitere Beschreibung dieser Anordnung ist nicht erforderlich, indem dasselbe, was oben gesagt ist, auch hier gilt.

Eine dritte Brücke, die der Erfinder entworfen hat, hat nur eine Spannweite von 75 Fuß. Bei dieser Brücke sind nur einfache Curven und ferner auch nur fünf Rippen angeordnet.

Wegen der Anstoßscheiben bemerkt Reichenbach Folgendes:

„Da es unmöglich sein wird, diese Anstoßscheiben so rein zu gießen, daß sie „sich vollkommen und in allen Punkten berühren, so wird doch nothwendig, „eine dünnere Schicht Kitt dazwischen zu legen, welche aus ungelöschtem „Kalk, Leinöl und gehacktem Hanf besteht und durch vielfältiges Schlagen „und Beimischen von Kalk zu einem so zähen Teig gearbeitet wird, daß man „nur durch Anstrengung mit dem Finger durchdringen kann. Dieser einge„legte Kitt wird bei dem Anziehen der Schrauben fast alle wieder herausge„quetscht, und es bleibt nur so viel davon zurück, um die ganz kleinen und „unvermeidlichen Unebenheiten auszufüllen; und da er, wenn er trocknet, „steinhart wird, so ist auch die vollkommene Berührung der Anstoßscheiben „hergestellt."

Die Anwendung solcher Vorsichtsmaßregeln ist zwar ganz zweckmäßig, aber durchaus nothwendig nicht; denn es sind die oberen Flächen der Anstoßscheiben, oder die Berührungsflächen jedenfalls gerade Flächen; diese brauchen aber nicht so glatt geschliffen zu sein, daß sie sich in allen Punkten berühren, indem die rückwirkende Festigkeit des Eisens so groß ist, daß die auf den Bogen drückende Last dieselbe, wenn auch die gegen einander stoßenden Röhren sich nicht in allen Punkten innig berühren, wohl nicht überwinden kann. Ein solcher Fall ist bis jetzt, selbst bei den größten gußeisernen Brücken noch nicht vorgekommen.

Vergleichen wir nun dieses System mit dem vorhererwähnten, so erkennt man leicht, daß bei dem Systeme von Reichenbach die Verbindung der Röhren mit einander unbedingt weit zweckmäßiger ist als diejenige, welche Wiebeking vorschlägt. Denn setzt sich eine Rippe nach Wegnahme der Lehrbogen etwas, und verändert dadurch um etwas ihre Gestalt, so erleiden die Schraubenbolzen durch die Anstoßscheiben zunächst einen Zug, der aber, wenn die Rippe sonst gut construirt ist, wegen der vielen Stöße und also auch der Menge von Schraubenbolzen auf jeden einzelnen so sehr gering wird, daß er eine Beachtung nicht weiter erforderlich macht. Bei der Wiebeking'schen Röhrenverbindung ist es aber anders, denn bei dieser entsteht durch ein Setzen eine Wirkung, die darauf losgeht, die äußeren Hülsen zu zerbrechen, welches auch um so leichter ist, da nach obiger Auseinandersetzung die Hülsen nur in einigen und zwar unter- und oberhalb gegenüberliegenden Punkten von der Hauptröhre angegriffen werden.

Was nun die Tragfähigkeit beider Systeme betrifft, so ist, ganz abgesehen von der Verbindung der einzelnen Röhren unter sich, klar einzusehen, daß diese bei dem Reichenbach'schen System bedeutend größer ist, als bei dem von Wie-

beking. Dieser letztere hat zwar auch 5 Röhrenbogen vorgeschrieben, allein davon dienen nur drei zum Tragen, die beiden anderen aber, nämlich die beiden Diagonalbögen tragen zur größeren Tragfähigkeit der Brücke nicht im entferntesten bei, sondern im Gegentheil beschweren sie noch die mittlere Rippe oder das Rückgrat der Brücke, wie Wiebeking sich ausdrückt, unverhältnißmäßig im Vergleich zu den beiden Seitenrippen, zumal diese mittlere Rippe von vorne herein schon eine doppelte Last von derjenigen der Seitenrippen zu tragen hat. Die durch Anordnung der hölzernen doppelten Curven des Wiebeking'schen Systems erlangte größere Tragfähigkeit ist zu geringfügig, als daß sie erwähnenswerth wäre und erfüllt diese Anordnung keinen anderen Zweck, als daß sie die Stöße der darübergehenden Fuhrwerke in etwas bricht. Dieses wird aber außerdem auch noch durch den hölzernen Bohlenbelag mehr oder weniger erreicht. Vollständiger aber wird dieses noch erreicht durch die vielen sich federnden Ringe, welche wir bei dem Entwurfe von Wiebeking finden und welche hier die Bogenschenkelausfüllung bilden. Eine solche Anordnung wäre auch sehr zweckmäßig bei dem Reichenbach'schen Entwurfe gewesen, wogegen jetzt bei diesem die Stöße der übergehenden Fuhrwerke durch die angebrachten Stützröhren des Brückenbodens unmittelbar auf die Curven geleitet werden.

Die Reichenbach'sche Röhrenverbindung finden wir bei mehreren hier in Deutschland ausgeführten Röhrenbrücken angewendet, die wir weiter unten auch durch mehrere Beispiele zeigen werden. Dagegen hat die von Wiebeking vorgeschlagene Röhrenverbindung bis jetzt keine weitere Beachtung gefunden und wird dieses auch wohl für die Folge der Fall bleiben.

§. 12. Das Polonceau'sche System.

Dieses System, welches sich in jeglicher Hinsicht ganz wesentlich von den beiden vorerwähnten unterscheidet, wollen wir ganz in der Kürze berühren, indem wir weiter unten mehrere Beispiele von Brücken anführen werden, die nach diesem Systeme ausgeführt sind und woraus dann die Constructionsweise ganz deutlich hervorgeht.

Die Bögen dieses Systems sind zwar ebenfalls röhrenförmig, sie bestehen aber aus einer Verbindung gußeiserner, aus einzelnen Stücken der Länge nach zusammengesetzter Röhren, welche im Innern mit hölzernen von Bohlen zusammengesetzten Kernen und Erdharzkitt ausgefüllt sind. Genau genommen steckt also in jedem Röhrenbogen der Brücke noch ein zweiter von Bohlen, welche beide Bögen dann vereint die Brückenbahn tragen.

Um Wiederholungen zu vermeiden, wollen wir hiermit diesen §. schließen und das Eigenthümliche dieses Systems nicht weiter ausführen, indem dieses jedenfalls bei den weiter unten angeführten Beispielen durch Zeichnungen näher und besser erläutert wird.

Wir gehen daher jetzt über zur näheren Beschreibung mehrerer hierher gehöriger Beispiele.

§. 13. Beispiele von Röhrenbrücken.

So wie schon früher, kann man auch hier mehrere Arten von Brücken je nach ihrer Construction unterscheiden, und zwar hat man

1) Bogensprengwerksbrücken,
2) Bogenspreng- und Hängebrücken und
3) Bogenhängebrücken.

Zu der ersten dieser drei Klassen gehört die in den Figuren 669—675 dargestellte Brücke über den Hammerstrom bei Peitz *): Diese Brücke wurde in den Jahren 1828—29 nach dem Entwurfe des Hüttenbauinspectors Nath ausgeführt. Dieselbe besteht aus einem Bogen und hat unter demselben eine lichte Weite von 34 Fuß. Die Breite der Brücke beträgt mit Belag $14\frac{1}{2}$ Fuß.

Sie besteht aus vier Bogenrippen, wovon jede aus sieben Röhren zusammengesetzt ist, deren jede eine Länge von 5 Fuß hat. Die einzelnen Bogenrippen sind nach einem Kreisstück mit einem Halbmesser von 57 Fuß geformt und haben etwas über $\frac{1}{11}$ der Sehne zur Höhe. Dieselben stehen $4\frac{1}{2}$ Fuß von Mitte zu Mitte von einander entfernt. Der äußere Durchmesser der Röhren beträgt 8 Zoll und die Wandstärke derselben 1 Zoll, so daß also der innere Durchmesser gleich 6 Zoll ist. Der Durchmesser der eben so dicken Anstoßscheiben an den Enden der Röhren ist gleich 14 Zoll, so daß also diese vorstehenden Ränder an den Röhrenenden eine Breite von 3 Zoll haben. Die Bogen stemmen sich, wie in den Figuren 669, 670 und 671 bei a ersichtlich ist, gegen eiserne Platten, mit welchen sie durch Schrauben verbunden sind. Diese Widerlagsplatten sind aber wieder durch eiserne Anker auf den Mauern befestigt.

Die von Gußeisen hergestellten 16 Zoll breiten, 1 Zoll dicken, mit Verstärkungsrippen versehenen Belagsplatten werden von den aus Schmiedeeisen gefertigten Balken h (Fig. 669) getragen, die in der Mitte unmittelbar nach den Enden hin aber durch die Stützen k auf den Bogen ruhen. Um den äußersten Stützen k einen sicheren Stand zu geben, dienen die Kreuzstreben m, m. Die Stützen werden der Quere nach durch die Riegel n und durch die Kreuzstreben o, o Fig. 672 verbunden; die inneren Stützen aber werden nur durch die Querriegel p Fig. 673 unter sich verbunden, so daß also die Stützen nach keiner Seite ausweichen können. Die erwähnten Stützen sind von Gußeisen, dagegen die übrigen Verbindungsstücke von Schmiedeeisen angefertigt.

Das Geländer ist auf die Seitenplatten, welche die von Lehm und Kies hergestellte Fahrbahn zusammenhalten, aufgesetzt. Die hohlgegossenen Geländersäulen sind an der inneren Seite mit zwei Schrauben auf die Belagplatten festgeschraubt, und von der äußeren werden sie sowohl, als die auf die Stirn der Belagplatten angebrachten Verkleidungsplatten t, durch die Zwingen u festgehalten, wie solches in Fig. 674 angedeutet ist.

Zur Aufstellung hat man sich eines einfachen Bockgerüstes bedient. Man hat diese Aufstellung zweimal vornehmen müssen; denn bei der Aufstellung hatte man die Röhren mit ihren genau nach den Radien des Bogens abgedrehten

*) Bauausführungen des preußischen Staates.

Anstoßscheiben sorgfältig zusammengesetzt, dabei aber nicht auf ein Setzen der Röhrenbogen gerechnet gehabt. Es erfolgte aber in der Mitte eine Senkung um etwa $1\frac{1}{2}$ Zoll und wenn man gleich für die Festigkeit der Brücke nichts fürchtete, so hatte sich doch der fatale und unangenehm in die Augen springende Umstand herausgestellt, daß der horizontal gelegte Belag einen nach unten gekehrten Bogen bildete. Man nahm daher die Brücke wieder aus einander und setzte sie, mittelst zwischen den Kränzen der Röhren eingelegte Bleiplatten, deren Stärke nach der Mitte des Bogens von $\frac{1}{4}$ bis 1 Zoll zunimmt, dergestalt in einer Zeit von 8 Tagen wieder zusammen, daß der Belag dadurch in der Mitte ursprünglich $2\frac{1}{2}$ Zoll höher lag als an den Enden. Nach Vollendung der Brücke hat wiederum ein Setzen von 1 Zoll stattgefunden, welches aber seitdem nicht zugenommen hat, obgleich sie stark benutzt worden ist von Fuhrwerken, die mit ihrer Ladung etwa 30 Centner schwer sind.

Bei dieser im Allgemeinen nicht schweren Belastung kann die Anwendung der bezüglichen Bleiplatten wohl gestattet werden; wäre jedoch die übergehende Last bedeutend größer, so würde dieses Metall wegen seiner Weichheit einer weiteren Senkung nicht vorbeugen und würde es dann jedenfalls zweckmäßiger gewesen sein, um die Bogenlinie zu verhöhern, stärkere Widerlagsplatten anzuwenden oder hinter die jetzigen Widerlagsplatten starke Eisenplatten zu legen, welches letztere auch in diesem Falle hätte unbeschadet geschehen können und jedenfalls wohl eben so zweckmäßig gewesen wäre, vorausgesetzt, daß diese Unterlagsplatten jedesmal an diejenigen Stellen gelegt wären, wo die Rippen sich gegen die Widerlagsplatten stützen.

Eine ganz ähnliche Brücke, wie die eben beschriebene wurde schon im Jahre 1824 in Braunschweig über einen Arm der Ocker ausgeführt.

Eine andere zu dieser Klasse gehörige und bis jetzt die größte nach diesem Systeme ausgeführte Brücke ist die in den Figuren 740—760 dargestellte Carroussel-Brücke in Paris über die Seine. *)

Diese Brücke besteht aus drei gleich großen Bogen, deren jeder 48 Meter Spannung hat. Die Brückenbahn ist nicht horizontal, sondern steigt nach der Mitte dergestalt, daß die beiden Landbogen mit ihren Schenkeln nicht auf einer Horizontalen stehen, sondern die Linie, welche die beiden Anfangspunkte eines Landbogens verbindet, mit der Horizontalen einen Winkel von 1 Grad bildet. Der Mittelbogen steht mit beiden Schenkeln auf einer Horizontalen.

Wie schon im vorigen §. erwähnt wurde, besteht jede Bogenrippe aus zwei Haupttheilen, dem hölzernen Bohlenbogen und dem eisernen, der Länge und Breite nach aus mehreren Stücken zusammengesetzten Mantel.

Was die Bohlenlager betrifft, so wurden diese nicht erst auf der Zulage abgebunden, sondern man machte dieselben gleich an Ort und Stelle aus vorläufig nach der Breite zugeschnittenen Bohlenstücken fertig, zu welchem Ende man das in Fig. 743 dargestellte Gerüst aufstellte, auf dessen Balken a a ein Lehrbogen angebracht wurde. Um diesen Lehrbogen zu construiren, bediente man sich folgenden Verfahrens. — Da die Anfänger der Seitenbogen nicht in

*) Försters Bauzeitung Jahrgang 1838.

einer Horizontale liegen, sondern in einer Linie, die, wie schon erwähnt, mit derselben einen Winkel von 1 Grad bildet, und demnach die Höhendifferenz der Anfallspunkte an den Stirnpfeilern und der in den Mittelpfeilern 0,82 Meter beträgt, so wurden für die beiden Seitenbogen zunächst die geraden Ordinaten der Curve berechnet und diese dann in schräge verwandelt. Die Sehne des Bogens beträgt 47,70 Meter bei der Spannung von 48 Meter; der Pfeil desselben 4,90 Meter und der Radius, mit welchem der Bogen geschlagen wurde, war 60,74 Meter = R. Sobald man die geraden Ordinaten a gefunden hatte, wurden sie in schräge verwandelt, indem man unter Bezugnahme von Fig. 760 folgende Gleichungen aufstellte:

$$a \operatorname{tg} 1^0 = x,$$

ferner aber $y^2 = a^2 + x^2$,

oder $y^2 = a^2 + (a \operatorname{tg} 1^0)^2 = a^2(1 + \operatorname{tg} 1^{0^2}) = a^2 \operatorname{Sec} 1^{0^2}$;

also $y = a \operatorname{Sec} 1^0 = \frac{a}{\operatorname{Cos} 1^0}$.

Um nun die so entwickelten Ordinaten auftragen zu können, bediente man sich eines, durch die ganze Spannung hin, 7,02 Meter oberhalb der Brustgesimse gelegten hölzernen Lineals b b Fig. 743. Der Unterschied dieser Höhe und der gefundenen schrägen Ordinate gab dann allemal den zu dieser Ordinate gehörigen Punkt des Lehrbogens an. Dieses Lineal war aus zwei Brettstücken zusammengesetzt und bestand aus einzelnen Theilen von 4 Meter Länge. Am Stoße griffen die verschiedenen Brettstücken gabelförmig über einander und waren an dieser Stelle mittelst eiserner Platten und Schrauben unverschiebbar mit einander verbunden. An jedem Ende hatte das Lineal einen eisernen Schuh.

Auf den so gebildeten Lehrbogen wurde nun eine Reihe Bohlen gelegt, deren Stöße sehr scharf zusammen gearbeitet waren, und die Bohlen sehr genau nach der Form des Bogens gekrümmt, jedoch vorher auf beiden Seiten mit einer heiß aufgetragenen Mischung von 2 Theilen vegetabilischem Theer und 1 Theil Gastheer getränkt. Nachdem die Bohlenschicht ihre gehörige Krümmung erhalten hatte, wurde wieder eine Lage Theer aufgetragen und eine neue Schicht getränkter Bohlen mit abwechselnden Stößen aufgebracht und gekrümmt. Diese Arbeit wurde in derselben Weise so weit fortgesetzt, bis man die gehörige Höhe des Bohlenbogens aus neun Schichten gebildet hatte. In Entfernungen von zwei zu zwei Meter wurden eiserne Bolzen in der Richtung der Radien durch die ganze Stärke des Bogens gezogen; unter Kopf und Mutter der Schraubenbolzen wurden eiserne Platten gelegt, die in ihrer ganzen Dicke in das Holz eingelassen waren. Nunmehr wurde der Bogen ausgearbeitet und ihm ein solcher Querschnitt gegeben, welcher der inneren Form des Mantels anpassend war, wobei man jedoch Rücksicht nahm, zwischen dem Bohlenbogen und dem eisernen Mantel einen Spielraum zu lassen, dessen Weite je nach der inneren Gestalt des Mantels von 0,03 bis 0,005 Meter ab- und zunahm. Auf der Mitte des Bogens betrug er 0,01 Meter. Nachdem der Bogen so vollendet war, wurde er mit oben erwähnter Theermischung noch zweimal heiß bestrichen.

Hierauf wurde der eiserne Mantel umgelegt, welcher aus einzelnen Stücken zusammengesetzt wurde. Von diesen Mantelstücken gab es vier verschiedene Arten. 1) Aeußere Bogenanfänger; ein solcher ist in Fig. 759 A in der Ansicht, B im Durchschnitt nach a b, C in der vorderen Ansicht dargestellt. Diese Bogenstücke wurden sämmtlich in einander geschoben, zu welchem Zwecke der Ansatz a a angebracht ist, welcher in die in der Widerlagsplatte B Fig. 747 gelassene Oeffnung paßt. 2) Innere Bogenanfänger; dieselben unterscheiden sich von den äußeren dadurch, daß sie nur halb so lang sind und ihnen der Knopf b (Fig. 759 A) fehlt; Fig. 759 D zeigt den Durchschnitt eines inneren Bogenanfängers. 3) Aeußere Längenstücke Fig. 758, welche sich von den (4) inneren Längenstücken nur dadurch unterscheiden, daß bei diesen letzteren der Knopf b und die Ansicht der Rippe fehlen.

Die Länge der Bogenstücke war verschieden und zwar betrug die Länge der einzelnen Stücke durchschnittlich an der inneren Wölbung 4,356 Meter; an der äußeren Wölbung 4,415 Meter und am Scheitel der Wölbung 4,410 Meter.

Um sich von der relativen Festigkeit der Bogenstücke zu überzeugen, wurde jedes einzelne derselben einer doppelten Probe unterworfen. Die erste bestand darin, daß man das halbe Bogenstück auf zwei Unterlagen, in der Mitte hohl legte, und es mit einem Gewichte von 40,000 Kilogr. belastete, wobei es eine Krümmung von 0,01 Meter annehmen durfte, welche Krümmung jedoch nach Abnahme der Last verschwinden mußte. Die zweite Probe bestand darin, daß man Gewichte von 1500 Kilogr. von einer Höhe von 1, 2, 4 und 6 Meter auf dasselbe herabfallen ließ, wobei es durchaus nicht beschädigt werden durfte.

Das Versetzen der Bogenstücke geschah, nachdem man die Lehrgerüste unter den Bohlenbogen entfernt und deren Tragfähigkeit dadurch erprobt hatte, daß man Gewichte darauf legte, welche der ganzen Eisenbelastung der Brücke gleich waren. Da die hölzernen Bogen, nachdem sie vollendet, eine genau richtige Stellung hatten, so dienten dieselben als Lehren für die einzelnen Mantelbogen und es wurden nur immer zwei vorher gut zusammengepaßte Bogenhälften umgelegt und mit Schrauben zusammen verbunden.

Was die Verbindug der einzelnen Längenstücke in den Querfugen betrifft, so war man dabei darauf bedacht, daß, da das Eisen sich niemals in so vollkommen genaue Flächen gießen läßt, weil alle Theile, welche genau gegen einander passen, sich genau berühren, diese Berührung auf kleinere Flächen reducirt würde, damit die Pressung der einzelnen Theile nicht blos auf einer Stelle der Berührungsfläche, sondern auf mehreren dazu geeigneten Stellen stattfände. In den Figuren 759 A und C ist das Endstück eines Bogens und der Durchschnitt in der Fuge dargestellt. Bei n,o und p befinden sich nämlich Ausschnitte im Ende des Röhrenstücks, in welche eiserne Keile, die aber nur sehr wenig keilförmig sind, damit sie nicht ausspringen, mit dem Hammer eingetrieben werden. Diese Keile legen sich bei n und p und bei q im Durchschnitt gegen die vorstehenden Backen des Röhrenstückes an; dagegen ist in der Mitte bei o ein kreisförmiger Vorsprung angebracht, hinter welchem sie eingetrieben werden. Diese Keile waren hier durchaus nöthig, da man sonst kein Mittel gehabt

haben würde, dem Bogen, welcher so viele Fugen hat, in welchen das Eisen sich etwas zusammendrückt und in einander setzt, die gehörige Spannung und die genaue Form, deren er bedurfte, zu geben. Durch diese Keile aber war man im Stande, diesen Bogen nach Belieben etwas zu erheben oder zu senken, je nachdem es die Gestalt oder Spannung desselben erforderte. Damit die unteren Keile bei p nicht herausfallen konnten, wurde bei r, mitten auf der Fuge, ein kleines Loch von 0,006 Meter im Durchmesser gebohrt, in welches ein Dorn paßte, der aber erst, nachdem der Bogen seine richtige Stellung erhalten hatte, eingetrieben wurde. Außerdem dienten diese Keile auch noch dazu, den Bogen, sowohl in der verticalen Ebene, als in der Kreisfläche, die er beschreibt, genau einzurichten. Der Raum zwischen dem Bohlenbogen und dem eisernen Mantel der Rippe wurde mit Erdharzkitt ausgegossen, welcher aus zwei Theilen Erdharz von Seyssel und einem Theile Gastheer zusammen gesetzt war. Auch die Fugen zwischen je zwei Bogenstücken wurden mit demselben Kitt ausgefüllt und wurde darüber noch ein Plättchen von reinem Asphalt gelegt, wodurch dem Eindringen des Wassers vollständig vorgebeugt wurde.

Die Bogen stoßen mit ihren Anfängern gegen Widerlagsplatten, die aber aus Grundplatten und den eigentlichen Widerlagsplatten bestehen. Die Grundplatten, welche für sich bestehende Theile sind, wurden in eigends dazu in den Stein des Pfeilers eingearbeitete Vertiefungen gelegt, und in Cement von Pouilly versetzt. Diese Grundplatten sind in den Figuren 745 A und B näher angedeutet.

Auf die Grundplatten wurden die Widerlagsplatten versetzt, welche mit ihrem Umfange genau auf dieselben paßten und mit denselben durch Schraubenbolzen verbunden wurden. Diese Widerlagsplatten, welche in den Figuren 746 und 747 in der vorderen Ansicht und im Durchschnitt dargestellt sind, haben im Innern einen hohlen Raum, welcher dazu dient, die Anfänger der Bogenstücke aufzunehmen. An den Seiten sind dieselben mit Gliederungen verziert und haben Ansätze, auf welchen die Kragenstücke der Bogenrippen aufsitzen. In der Figur 747 ist in A der Durchschnitt der Grundplatte, und in B der Durchschnitt der Widerlagsplatte dargestellt.

Die Fugen zwischen den Grund- und Widerlagsplatten und zwischen den letzteren und dem Körper des Pfeilers, sind mit Eisenkitt verstrichen, welcher aus 10 Theilen gestoßenem Gußeisen, 0,5 Theile Salmiak, 1,8 Theile Schwefel, und 2,25 Theile Metallschlacken bestand, welche Bestandtheile sehr fein gepulvert, höchst sorgfältig gemischt, und nur mit so viel Wasser angerührt wurden, daß die Masse in Gestalt eines Teiges verwendet werden konnte.

Die einzelnen Rippen eines jedes Bogens wurden durch gerade und schräge Bänder gegen den Seitenschub versichert, und in ihrer verticalen Stellung erhalten. In Figur 742 ist ein Theil dieses Verspannungssystems in der oberen Ansicht und in den Figuren 751 — 755 die Details und einzelnen Theile desselben dargestellt, wobei dieselben Buchstaben überall dieselben Gegenstände bedeuten.

Die geraden Bänder B sind theils hohle Cylinder, welche eigentlich Streben sind, da sie die Bogen A von einander halten, theils Zugbolzen C, die

zum Zusammenhalten dienen. Die schrägen Bänder D aber sind platte Schienen, die mit Verstärkungsrippen versehen sind.

Die Cylinder B Fig. 754, haben an ihren Enden viereckige Ansätze, mit welchen sie sich theils gegen die auf den Bogenrippen A angebrachten Lager, theils gegen die Kragenstücke der Rippen anlehnen und mit ihnen verzahnt sind. Die Zugbolzen C sind in Fig. 754 A näher dargestellt. Die schrägen Bänder D sind in den Figuren 753 A und B abgesondert dargestellt. Diese Bänder hatten verschiedene Längen, und wo dieselben durch den Guß oder durch andere Umstände ein wenig zu kurz erschienen, wurden entweder die Blöcke etwas stärker genommen, oder die Löcher s Fig. 755, welche erst an Ort und Stelle gebohrt wurden, etwas versetzt oder endlich kleine eiserne Keile eingeschoben. Die Böcke Fig. 755 A und B, sind mit Schraubenbolzen an den Kragenstücken der eisernen Bogenrippen befestigt. In den Figuren 751 und 752 ist diese Verspannung der Bogenrippen unter sich in größerem Maßstabe dargestellt, und zwar stellt Fig. 752 die obere Ansicht der Verspannung auf einer Mittelrippe und Fig. 751 dieselbe auf einer äußeren Rippe dar.

Die Ausfüllung der Bogenschenkel und die dadurch bewirkte Unterstützung der Straßenbalken der Brücke in den nöthigen Punkten ist hier durch eiserne gegossene Ringe bewerkstelligt. Diese Ringe bestehen eigentlich jeder aus zwei ringförmigen Scheiben, welche durch eine Wand mit einander verbunden sind, so daß sie an ihrer Seitenfläche Nuthen oder Einkehlungen bilden, mit welchen sie theils über die Kragenstücke der Bogenrippe greifen, theils die zur Verbindung mit den Längenträgern nöthigen Stücke aufnehmen. Je nach der Entfernung der Bogenrippen von den Längenträgern (Straßenbalken) haben diese Ringe verschiedene Abmessungen und Formen; wo aber diese Entfernung sehr gering ist, werden sie massive ganze und endlich nur halbe Cylinder.

Unter einander sind diese Ringe der Länge nach mit einzelnen Bindstücken an einander gehängt. In Fig. 754 A und B ist diese Construction nach vergrößertem Maßstabe dargestellt, wo die rechte Hälfte die Ansicht, die linke aber der senkrechte Durchschnitt und B die Oberansicht derselben ist. Die Verbindung der Bindestücke mit den Ringen ist durch den Splintbolzen bei n bewerkstelligt. Die Ringe selbst kamen auf plattenförmige Federn zu stehen, welche 0,08 Meter dick und 0,04 Meter breit waren, während sich ihre Länge nach dem Durchmesser der Ringe richtete. Zu beiden Seiten des Ringes wurden sie auf kleine eiserne Cylinder aufgerollt, so daß dadurch der Druck des Ringes auf drei Punkte der Bogenrippe vertheilt wurde.*) In dem Berührungspunkte des Ringes und des Längenträgers wurde eine Blechplatte von 0,006 Meter Dicke und 0,28 Meter Breite dazwischen geschoben, welche das Eindrücken der Kanten des Ringes in die Längenträger verhinderte. An den Enden er-

*) Diese Anordnung erscheint sehr überflüssig, und hätte man dennoch dadurch eine Vertheilung des Drucks auf drei Punkte erzielen wollen, so hätte man statt der Federn feste eiserne Bänder anwenden müssen. Allein auch diese würden sehr wenig zur Vertheilung auf eine größere Fläche beigetragen haben, was hier auch ganz und gar überflüssig ist.

hielt dieses Blech gleichfalls kleine cylindrische Polster. Statt dieser Anordnung hätte man weit zweckmäßiger an den Ringen selbst gerade Flächen stehen lassen können, wodurch nicht allein die Ringe selbst noch ansehnlich verstärkt, worden wären, sondern auch die Längenträger ein weit besseres Auflager erhalten hätten.

Nach der Quere sind die Ringe der verschiedenen Bogenrippen durch Eisenstangen von 0,05 Meter Stärke mit einander verbunden, indem diese Stangen an die Ringe mittelst Schraubenbolzen befestigt sind (s. Fig. 748).

Bei den Ringen, wo der Steg dem Ende der Backenstücke sehr nahe kommt, hat man an dem Verspannungsstücke (Querverbindungsstange) nur einen halben Fuß angebracht, in den vollen Körper desselben einen Stift eingeschroben und für diesen ein Loch in den Steg des Ringes gebohrt, wie solches in Fig. 749 näher dargestellt ist.

In den Falz der Ringe sind, wo die Längenbalken auftreffen, Holzklötze gelegt, deren Länge sich nach dem Durchmesser der Ringe richtet, während die Breite derselben 0,12 Meter und ihre Höhe in der Mitte ebenfalls 0,12 Meter beträgt. Auf solchem Holzklotze liegt dann die obenerwähnte Blechplatte mit den Polstern. Diese Anordnung ist aus Fig. 750 ersichtlich. Um einer Verschiebung dieser Klötze vorzubeugen, hat man eiserne Dübel angebracht, welche mit der unteren Hälfte im Klotze, mit der oberen Hälfte dagegen im Längenträger stehen. Bei den größten Ringen sind deren drei angebracht, bei den kleineren dagegen zwei oder auch nur einer. Diese Dübel sind von oben durch den Längenträger eingesetzt.

Jeder Längenträger besteht aus einer Reihe von zwei, dicht neben einander liegenden genau zusammengearbeiteten eisernen Balken, die durch Schraubenbolzen mit einander verbunden sind. Die Stöße der neben einander liegenden Balken sind verwechselt und die letzteren durch den Jupiterschnitt mit einander verbunden.

Die Querträger sind über die Längenträger aufgekämmt, und bestehen gleichfalls aus gutem Eichenholz. Jeder derselben ist aus zwei bis drei Stücken zusammengesetzt, die mit einander durch Ueberplattung verbunden sind. Auf jedem Bogen liegen 42 Querträger. Zur Bildung des Fahrwegs sind über die Querträger zwei Lagen Bohlen gelegt, und darüber mehrere Schichten weichen Kalksteins, die mit Kieseln von der Größe eines Eies gemengt, aufgeschüttet und geebnet. Zur Bildung der Fußwege sind auf die Querschwellen Langschwellen gelegt, und darüber Bohlen. Das Uebrige geht zur Genüge aus den Zeichnungen hervor.

Daß diese Construction sehr wesentliche Vortheile darbietet, liegt klar auf der Hand, denn erstlich wird, ganz abgesehen von dem inneren Holzkern, die relative Festigkeit der einzelnen Bogenrippen sehr wesentlich vergrößert durch den Querschnitt, welcher hier für die Mantelrippen gewählt ist, indem dadurch den Pressungen, die die Bogenrippen zu erleiden haben, eine größere Fläche entgegengesetzt wird, als dieses bei den oben erwähnten geschlossenen Röhren geschieht. Ferner aber erlaubt die Construction eine leichte Ersetzung oder Auswechselung der durch Zeit oder andere zerstörende Umstände etwa beschädigten

Verbandstücke jeder Art. Dieser Vortheil ist schon sehr wesentlich, indem dadurch bei Reparaturen keine kostbaren Gerüste erforderlich sind, um, wenn ein Theil herausgenommen werden soll, die anderen abzustützen.

Der größte Vortheil übrigens, den diese Construction darbietet, ist der, daß durch die Ausfüllung der eisernen Röhren mit den Bohlenbögen erreicht wird, daß die Bogenrippen keinen Vibrationen ausgesetzt sind, wenigstens in einem bedeutend geringeren Grade, wie dieses bei anderen Brücken der Fall ist.

Nach Vollendung dieser Brücke und nachdem man sich von der Zweckmäßigkeit der Construction vollständig überzeugt hatte, ist dieses System noch vielfach in Frankreich zur Anwendung gebracht, ohne sich durchaus an das vorliegende Muster zu halten, sondern Polonceau selbst hat noch mancherlei Verbesserungen angegeben und auch zur Ausführung gebracht. Wir erwähnen hier zuerst die Verbindung der einzelnen Röhrenstücke.

Bei der Carousselbrücke stoßen die einzelnen Stücke gegen einander, und zwar gegen, an die Enden eines Röhrenstücks angegossene Backen; dagegen sind bei den später ausgeführten Brücken, an die Enden der Röhrenstücke Flanschen angegossen und die einzelnen Stücke in den Querstoßfugen durch Schraubenbolzen mit einander verbunden. Diese Anordnung verdient jedenfalls den Vorzug, denn bei der ersteren Verbindung der einzelnen Röhrenstücke nach der Quere, entstehen in diesen Stößen jedenfalls schwache Stellen, wo der Bogen am ersten fähig ist bei zufälligen heftigen Stößen nach der Quere zu brechen. Dieses findet aber nicht statt, wenn die Röhrenstücke Flanschen erhalten. Durch diese Flanschen werden die Enden der Röhrenstücke nothwendig verstärkt und die einzelnen Stücke dann selbst durch mehrere Schraubenbolzen fest mit einander verbunden. Als eine Verbesserung schlägt Polonceau noch ferner vor, zwischen die Stoßfugen dünne, keilförmige Platten von Eisen einzutreiben, um dadurch die Unregelmäßigkeiten des Gusses zu beseitigen, ferner aber auch um eine bessere Verspannung des Bogens zu erzielen. Eben so zweckmäßig ist es übrigens, wenn man die Stoßfugen vorher genau passend abrichtet, hierbei aber gleich darauf Rücksicht nimmt, daß der Bogen je nach seiner Spannweite etwas überhöht werde.

Eine andere sehr wesentliche Verbesserung, welche Polonceau bei späteren Brücken ausgeführt hat, besteht in der Veränderung, welche derselbe mit den Verstärkungsrippen der Röhren vorgenommen hat. Diese Veränderung besteht in einem größeren Abstand zwischen den Verstärkungsrippen und in der Hinzufügung zweier anderer A A Fig. 757 im Innern der Röhren. Diese Rippen stoßen an einander, haben aber von Strecke zu Strecke kleine Oeffnungen, um sowohl das Eingießen des Bitumens, mit dem der Bogen ausgefüllt werden soll, zu erleichtern, als auch um weniger Berührungsflächen zu erhalten, da es alsdann leichter ist, die möglichst gänzliche Anschließung der inneren Rippen an einander zu bewirken, indem mit dem Meisel oder der Feile nachgeholfen wird.

Die weitere Entfernung der beiden äußeren Röhrenwände von einander hat hier besonders auch noch den Zweck, daß die verticalen Backen C C der

Tragringe der Bogenschenkelausfüllung unmittelbar auf sie gesetzt werden können, indem sie diejenigen Theile des Bogens sind, die den größten Widerstand in verticaler Richtung darbieten. Ferner aber tragen die Ringe auch weit mehr, indem diese nunmehr mit ihren Backen tragen, wo dagegen bei der Carousselbrücke die Verbindungswand der Ringbacken, also der innere Cylinder, den Haupttheil der Last zu tragen hat, wenngleich dieser der schwächste Theil des Ringes ist. (s. Fig. 756, welche einen Querschnitt der Röhrenbogen der Carousselbrücke zeigt).

Endlich muß hier noch der Verbindung der Verstrebungen mit den Röhrenbogen Erwähnung geschehen. Bei der Carousselbrücke sind die Streben gegen die Rippen des Bogens gelegt, was aber mannigfache Schwierigkeiten herbeiführt, namentlich in der Anbringung der Stützbänder der Streben in dem Zwischenraum der Ringe, die die Bogenschenkelausfüllung bilden. Statt dieser Anordnung hat Polonceau bei mehreren Brücken die Streben gegen die Mitte des Bogens, anstatt gegen die Rippe anlegen lassen, wie dieses in Fig. 761 und 762 näher dargestellt ist. Es ist leicht einzusehen, daß diese Art der Verbindung jedenfalls den Vorzug verdient, indem hier die Verstrebung direct und regelmäßig gegen die Mitte des Bogens, als den stärksten Theil desselben, wirkt. Die Figur bedarf keiner weiteren Erläuterung, indem die Anordnung der Verstrebung und Verspannung der einzelnen Bogenrippen unter einander, vollständig daraus zu ersehen ist.

Wir wollen nunmehr noch ein Beispiel einer zu der ersten Klasse gehörigen Röhrenbrücke anführen und zwar die schiefe Brücke über den Canal von St. Denis, wo derselbe von der Nordbahn geschnitten wird. Das Project zu diesem Bau stellten Polonceau und der Ingenieur Houssaye gemeinschaftlich auf.

Was die Construction der Röhren und ihre Zusammensetzung betrifft, so ist diese zur Genüge aus den beigefügten Figuren 763—771 zu ersehen, und bedarf nach dem bereits oben Angeführten keiner weiteren Erklärung. Was aber die Verstrebung der einzelnen Rippen und ihre Verspannung betrifft, so soll hier noch das Nöthige darüber angeführt werden, zumal dieser Gegenstand einmal sehr wichtig ist, ferner aber auch namentlich bei sehr schiefen Brücken die Verstrebung der Bögen immer sehr schwierig ist.

Legt man bei schiefen Brücken die Streben parallel mit den Widerlagern, so werden dieselben den Seitenbewegungen der Bögen nicht vollständig entgegenwirken und sind dann noch andere Anordnungen erforderlich, wodurch man dieses vollständig erreicht. Legt man aber die Streben, wie bei geraden Brücken rechtwinkelig auf die Richtung der Bögen, so können dieselben nicht horizontal liegen, sondern sie erhalten, je nach der Schiefe der Brücke eine geringere oder stärkere Neigung, welche sie aber unfähig macht, einem Verschieben der Bögen gehörig entgegenzuwirken. Um nun diesen Schwierigkeiten und Nachtheilen vorzubeugen, hat man hier die Streben zwar rechtwinkelig auf die Richtung der Bögen, aber nicht in ununterbrochenen Linien nach der ganzen Breite der Brücke angeordnet, sondern sie vielmehr so gelegt, wie die Buchstaben e, f und g Fig. 769 bezeichnen, wobei man natürlich darauf Rücksicht genommen hat, daß sie nicht gegen die Fugen der Bogenröhren stießen. Hierdurch allein konnte

dem Verschieben noch nicht entgegengewirkt werden, wenigstens nicht in dem Grade, wie zur Erhaltung der Brücke erforderlich ist. Man ordnete daher noch die schiefen Zugstangen h und i an und außerdem noch die Zuganker k, welche zu beiden Seiten mit den äußeren Bogenröhren verbunden sind und in den Widerlagern selbst ihre Befestigung erhielten. Durch die Verbindung der äußeren Bogenrippen mittelst der Zugstangen und durch die Befestigung jener an die Widerlager mittelst der Zuganker ist hier eine Verbindung der ganzen Construction hervorgebracht, welche dem Verschieben der Bogenrippen vollständig entgegenwirken, wenngleich die Zugstangen und Zuganker auch hier keine völlig horizontale Richtung erhalten, was hier durchaus keinen Nachtheil hat, indem sie dem Ausweichen und den Bewegungen durch ihre diagonalen Richtungen entgegenwirken. Die zwischen den Bögen befindlichen Streben haben zwar auch keine horizontale, sondern eine ansteigende Lage; diese würde nachtheilig werden können, wären die Zugstangen und Zuganker nicht vorhanden; allein bei der vorliegenden Anordnung dienen diese Streben nur dazu, um die einzelnen Bögen in der richtigen Entfernung von einander zu erhalten.

Die geraden Streben sollten aus Röhren von Gußeisen bestehen, wo dagegen diese durch schiefe Rahmen Fig. 771 ersetzt wurden, weil man glaubte, sie leichter versetzen zu können und daß sie einen größeren Widerstand leisten würden. Diese Rahmstreben tragen auf jedem der beiden Rahmstücke, die sich an die oberen Rippen der Bögen anlegen, erhöhte Ränder, welche nach dem Versetzen für die Aufnahme der Bolzen, die sie mit den Bögen verbinden, gelocht wurden. Wenn nun auch das Versetzen dieser Rahmen ohne Schwierigkeiten sich bewerkstelligen läßt, so tritt doch dabei der Umstand hervor, daß sie dem Auseinanderweichen der Bögen nur durch ihre Ränder widerstehen, welche aber, da diese durchlocht und somit geschwächt sind, sehr leicht brechen können, weshalb die Röhren von Gußeisen wohl zweckmäßiger sind. Vortheilhafter ist es jedoch, wenn man eine solche Strebe nicht nur gegen die oberen Rippen der Bögen legt, sondern auch gleichzeitig die unteren Rippen der Bögen durch gleichliegende Streben verbindet, was einmal sehr leicht ausgeführt werden kann, ferner aber auch hervorbringt, daß die Bögen in ihrer ganzen Höhe der Breite nach fest mit einander verbunden sind und somit alle Seitenbewegungen der einzelnen Rippen vollständig aufhören müssen.

Die Streben zwischen den Ringen sind, wie auch die obenerwähnten Zugstangen und Zuganker, von starken schmiedeeisernen Stangen angefertigt; sie sind an jedem Ende winkelrecht gekropft und mit den Ringen alsdann verbolzt.

Ehe wir zu der Beschreibung einer Brücke, zur dritten Klasse gehörend, übergehen, wollen wir hier noch das Project zu einer Röhrenbrücke anführen, bei welcher die Bögen die Brückenbahn durchschneiden, was also der zweiten Klasse angehörig ist. Dieses Project ist ebenfalls von Poloncean, welcher dasselbe nach den bei der Carousselbrücke bestehenden Hauptdimensionen, also für Bogenöffnungen von 48 Meter aufgestellt hat, jedoch mit dem Unterschiede, daß er die Pfeilhöhe hier auf den achten Theil der Spannung, statt wie bei jener Brücke auf den zehnten Theil annimmt. In den Fig. 763—767 ist die-

ses Project, soweit es zur Erklärung nöthig ist, dargestellt. Die Brücke erhält im Ganzen sechs Rippen in jedem Bogen, von denen aber die beiden äußeren schwächer angenommen sind, wie die übrigen, weil sie nur die Hälfte der beiden äußeren Trottoirs jedesmal zu tragen haben.

Wo die Rippbögen sich unterhalb der Brückenbahn befinden, sind Tragringe angeordnet, mittelst welcher die Langschwellen unterstützt werden. Da aber die Langschwellen hier doppelt sind und auch nicht unmittelbar an einander liegen, indem die einzelnen Bögen durchreichen, so ist die Anordnung hier so, daß die Langschwellen nicht unmittelbar auf den Ringen liegen, sondern es sind auf die Ringe starke gußeiserne Consolen gesetzt, welche nach oben breiter werdend, die doppelten Langschwellen tragen, wie dieses aus den Figuren 767 A und B zu ersehen. Die Langschwellen sind unter sich durch Schraubenbolzen verbunden, die aber gleichzeitig durch kleinere zwischen die Langschwellen eingesetzte Röhrenstücke von Gußeisen fassen; diese Röhrenstücke haben breite Köpfe, mit denen sie sich gegen das Holz legen und dienen dazu, dem zu starken Anziehen der Verbolzung zu widerstehen. Die Bögen, welche von den doppelten Langschwellen umfaßt werden, sind, damit diese sich besser anlegen und leicht damit verbolzt werden können, an ihren Seiten platt gehalten, wie aus Fig. 766 näher hervorgeht. Da wo der Bogen die Brückenbahn durchschneidet und also oberhalb derselben sich befindet, wird diese an den Bogen mittelst Hängeeisen befestigt. Diese Hängeeisen umfassen an ihren oberen Enden die Bolzen der oberen Verstärkungsrippen des Bogens und bilden dann unten Bügel, welche die Träger B der Langschwellen C Fig. 765 aufnehmen.

Eine Verstrebung ist hier nicht weiter nothwendig und kann hier auch füglich nicht gut angebracht werden, als dadurch, daß die Querschwellen tief auf die Langschwellen verkämmt werden. Um aber eine möglicherweise stattfindende Ausbeugung zu verhindern, so sind hier noch Kreuzbänder Fig. 764 angeordnet, die mit den Bögen verbunden sind, und auf den Widerlagern und Pfeilern an starke wohlvermauerte gußeiserne Zapfen befestigt werden. Diese Anordnung ist jedenfalls sehr zweckmäßig, zumal die Verbindung des Holzes mit dem Eisen nach mehreren Jahren schon locker wird und demnach die einzelnen Bögen an ihrer anfänglichen festen Stellung verlieren.

Diese vorgeschlagene Construction ist jedenfalls sehr zweckmäßig und würde noch zweckmäßiger sein, wenn man die Brückenbahn nicht aus Holz, sondern von Eisen herstellte, indem die Bögen gerade an den Stellen, wo sie am schwächsten und den Ausbeugungen und Seitenbewegungen am leichtesten zugänglich sind, mit der Brückenbahn unmittelbar verbunden und von derselben umfaßt werden. Hierdurch erhalten die Gewölbeschenkel einen bedeutend festeren Stand, was aber zur unmittelbaren Folge haben muß, daß hier die Schwingungen weit geringer sind, als bei den oben beschriebenen Brücken.

In den Fig. 725—739 ist die Construction einer zur dritten Klasse gehörigen Brücke, nämlich die eiserne Cylinder-Bogenhängebrücke über die Cserna bei den Herkulesbädern nächst Mehadia in Ungarn dargestellt.*) In Fig. 725

*) S. Försters Bauzeitung, 1838.

ist eine Längenansicht dieser Brücke dargestellt; Fig. 726 zeigt den Grundriß und Fig. 727 den Querdurchschnitt der Brücke.

Die lichte Entfernung der beiden Widerlagspfeiler, welche 24 Fuß über den gewöhnlichen Wasserstand hervorragen, beträgt 127 Fuß 8 Zoll. In der Höhe jedes Stirnpfeilers sind, wie aus Fig. 725 zu ersehen, die Anfangs- und Endpunkte der Brückenconstruction aufgelegt. Diese bestehen zu jeder Seite in zwei Widerlagsplatten a, die durch eine Zwischenplatte b mittelst Schrauben fest verbunden sind. Eine solche Widerlagsplatte ist in den Fig. 728 A, B, C und D nach vergrößertem Maßstabe und zwar im Grundriß, im Durchschnitt, in der Vorderansicht und in der Seitenansicht dargestellt. Auf jede solche Widerlagsplatte sind zwei Kasten m gleich mit aufgegossen, gegen deren schräge Endstücke sich die eigentlichen, die ganze Brücke tragenden Röhrenbögen stützen.

Die Röhrenbögen, welche die Brücke tragen, bestehen aus kürzeren Cylindern, die an ihren Enden nach der Richtung der zu treffenden Radien, angegossene Flanschen oder Ansätze haben, in welchen sich 6 Löcher befinden, um je zwei zusammenstoßende Flanschen mittelst Schraubenbolzen verbinden zu können. Ein solch kürzerer Cylinder ist in den Figuren 735 näher dargestellt. Die Figuren 736 zeigen einen Endcylinder in der Seiten- und Vorderansicht. In demselben ist ein Loch für den Kettenbolzen und daran ein viereckiger Ansatz zum besseren Anschlusse im Kasten. In der Ansicht desselben sieht man den Boden mit der Oeffnung zum Durchlassen der kurzen Zugkettenglieder Fig. 739. Fig. 738 ist eine von den Backen im Innern des Cylinders, durch welche auch der Bolzen geht, damit er sich nicht krümmen könne. An diese Endcylinder schließen sich dann die schon erwähnten übrigen Cylinder an. Die Länge jedes Cylinders beträgt auf der Achse 2 Fuß; der Durchmesser 13 Zoll und die Metallstärke $^3/_4$ Zoll.

Jeder Widerlagskasten, jeder Endcylinder und jeder der Backen ist durchbohrt, und durch alle diese drei Zoll großen Löcher wird, da dieselben genau auf einander passen, ein starker genau passender Bolzen von Schmiedeeisen geschoben, welcher zugleich die Endglieder der Spannkette aufnimmt, die dazu bestimmt ist, den Seitenschub der Bögen aufzuheben, indem sie die Sehne des Bogens bildet. Damit jedoch diese Spannkette sich nicht nach der Mitte hin senken könne, was ihren Zweck vereiteln würde, so ist sie durch Hängestäbe mit dem Röhrenbogen verbunden. Solcher Ketten sind vier, und zwar unter jedem Bogen eine, angebracht. Die Construction dieser Ketten geht aus Fig. 729 näher hervor, und ist daraus zu ersehen, daß immer je zwei und drei Schienen durch einen Bolzen mit einander verbunden sind.

Damit jedoch an dem Schlußbogen selbst nicht auf irgend eine Weise ein Hebelarm mit ins Spiel trete, sind nach der Landseite zu andere Kettenglieder angebracht, welche sich in das Brückenhaupt zurückziehen und dort hinter gewaltigen Steinmassen verbolzt sind. Von den dazu vorgerichteten Keilstücken ist eins in Fig. 737 in der vorderen und Seitenansicht dargestellt.

Die Hängestäbe, welche die Spannketten in gerader und horizontaler Richtung halten, neunzehn für jeden Bogen, haben $1^1/_4$ Zoll im Durchmesser, während ihre Länge sich nach dem Abstande der Ketten von den Bögen richtet.

Neun dieser Hängestäbe jeder Kette, von oben bis unten mit Eisenblech bekleidet, haben einen einfachen Säulenfuß und ein eben solches Capitäl erhalten, während die übrigen zehn nur unten, bis auf 3 Fuß ihrer Höhe, eine Blechbekleidung, in Form eines Geländerpfostens erhalten haben. Ein solcher Hängestab ist in Fig. 732 dargestellt. Oben hat derselbe eine Gabel, mit welcher er auf den Kragen eines Cylinderpaares paßt und mit ihm verschraubt wird. Das untere Ende geht durch die Zwischenräume der Kettenglieder und die obere Schraubenmutter liegt über, die beiden unteren unter der Kette. Fig. 733 ist eine Hängesäule und Fig 731 ein Geländerpfosten.

Die Spannketten unter sich, deren Glieder jedes einzeln, mittelst einer Zugmaschine auf seine gehörige Festigkeit geprüft ist, und deren Gesammtquerschnittsfläche 12 Quadratzoll beträgt, sind unter sich durch 20 horizontale Verkreuzungsschienen von $^5/_4$ zölligem Eisen verbunden, so daß unterhalb der Brückenbahn ein unverschiebbares, horizontal gespanntes Netz sich befindet. Eine solche Verkreuzungsschiene ist in Fig. 730 und zwar A in der oberen und B in der Seitenansicht dargestellt; a, a, a sind Umbiegungen, welche da hinfallen, wo die Schiene auf eine Kette trifft, mit welcher sie durch eine Schließe verbunden ist, auf welche ein durchlochtes Blatt paßt, das durch zwei Schraubenmuttern darauf befestigt wird.

Außerdem sind die Spannketten noch mit ihren zugehörigen Bögen durch 18 parallelogramatisch sich verkreuzende Stäbe von $^5/_4$ zölligem Rundeisen verbunden. Die Verkreuzungen dieser Rundstäbe sind so disponirt, daß sie allemal auf einen Hängestab treffen und hier sind sie mittelst Bändern und Schrauben mit denselben verbunden, so daß sich hier abermals ein Netz, aber in verticaler Richtung bildet und die Verschiebungen hindert. Fig. 734 zeigt eine solche Verkreuzungsstange in der Vorder- und Seitenansicht. An derselben sieht man oben den durchlöcherten Lappen, welcher an den Ansatz (Flansche) eines Cylinderpaares mit angeschraubt ist; ferner die zwei kleinen elliptischen Bögen, welche die betreffenden Hängesäulen umfassen und bei a eine der Schrauben, welche zur Verbindung beider Theile dienen. Die unteren drei Schraubenmuttern haben denselben Zweck, wie die am unteren Ende der Hängestäbe befindlichen. Die unterste ist jedesmal eine Sicherheitsmutter. Uebrigens können diese Eisen wegen ihrer mehrfachen Ausbiegungen und Verkröpfungen keinen bedeutenden Zug aushalten, ohne sich nach der Länge auszudehnen, und wäre es daher jedenfalls vorzuziehen gewesen, wenn man die Stangen so hätte angeordnet, daß sie entweder platt gegen die Hängestäbe gelegen, oder in ihrer Richtung durch die Bekleidung derselben hindurch gegangen wären.

Die Bögen sind unter sich noch mit 42 ebenfalls $^5/_4$zölligen Rundstäben in der Höhe verkreuzt (s. Fig. 727). Diese Verkreuzung beginnt über den Trottoirs auf 7 Fuß Höhe, über der Fahrbahn aber auf 12 Fuß. Außerdem sind noch in der Fahrbahnhöhe drei Bögen in der Quere zwischen den mittleren Brückenbögen angebracht. Diese Bögen sind Bohlenbögen und haben einen elliptischen Querschnitt und die große Achse senkrecht. Diese Bögen, welche den Zweck haben, die verticalen Schwingungen noch im höheren Grade zu verhindern, sind mit starkem Bleche bekleidet.

Auf den Spannketten ruht der hölzerne Werksatz der Brücke und auf diesem in der Fahrbahn die Streichhölzer; in den Seitenbahnen sind die Trottoirs angebracht.

Bei der vorliegenden Construction wird der Bogenschub zunächst durch die die Fußenden der Bogen verbindenden Spannketten aufgehoben; diese würden aber allein nicht beim Uebergehen einer Last über die Brücke eine momentane Veränderung der Bogenform verhindern, sondern sie würden bei dieser Gelegenheit sich ebenfalls etwas durchbiegen. Um dieses aber zu verhindern, sind hier sehr zweckmäßig die verticalen Kreuzstreben in den Rippen angebracht. Hierdurch, so wie auch durch die Verbindung der Spannkette mit dem Bogen durch die Hängesäulen, und dieser wieder mit den Kreuzstreben, wird die Construction zu einem in allen Theilen innig verbundenen Ganzen geschaffen, bei welchem jede Belastung der unteren Spannkette sich auf den Bogen unmittelbar fortpflanzt, dieser aber wegen der Verstrebungen mit derselben seine Gestalt nicht mehr verändern kann, indem dadurch die Last fast gleichförmig über viele Punkte des Bogens vertheilt wird.

Wir finden in der Förster'schen Bauzeitung eine Untersuchung über die Festigkeit der Brücke und zwar nur in höchst allgemeinen Andeutungen. Allein schon daraus geht klar und deutlich hervor, daß diese Construction einen hinreichenden Ueberschuß an Festigkeit besitzt. Die Spannketten haben hier einen sehr bedeutenden Zug nach ihrer Längenrichtung auszuhalten und kommt es daher auf deren absolute Festigkeit besonders an, denn die Reibung, welche zwischen der unteren Fläche des Gußeisens der Bogenenden und der rauhen Steinunterlage stattfindet und zwar nicht unbedeutend ist, kann doch zur Stabilität der Brücke im Ganzen nicht viel beitragen und ist es jedenfalls immer besser, wenn man diese außer Betracht läßt. Aber auch bei Nichtberücksichtigung dieser Reibung bieten die Spannketten dennoch eine genügende Sicherheit dar, indem der Gesammtquerschnitt der Spannkettenglieder hier 12 Quadratzoll beträgt und nehmen wir nun die absolute Festigkeit des Eisens zu 58,000 ℔ an, so würde, um die Spannketten zu zerreißen, eine horizontale Kraft von 696,000 ℔ erforderlich sein. Außerdem aber kommen noch die verticalen Kreuzstreben in Betracht; diese wirken ebenfalls dahin, den horizontalen Zug zu vermindern, wenigstens haben sie einem Theile desselben zu widerstehen.

Ein anderer sehr wichtiger Gegenstand bei dieser Brückenconstruction ist die Querverbindung zwischen den Bögen oberhalb der Brückenbahn. Denn da die Sehne eines solchen Brückenbogens immer aus mehreren Gliedern besteht und daher auch immer einer Drehung fähig ist, selbst wenn auch die Sehne oder Spannkette in einem Stücke bestände, so kann also jede hier angebrachte Querverbindung zur Erhaltung des verticalen Standes eines Tragbogens nichts beitragen. Da es aber durchaus nothwendig ist, daß die Bögen einen festen verticalen Stand erhalten, welcher auch nicht durch über die Brücke gehende Lasten hervorgebrachte Schwingungen, verändert wird, so ist es, um diesen Zweck zu erreichen, erforderlich, eine steife und feste Querverbindung der Bögen unter einander anzuordnen und diese Querverbindung so weit, wie nur eben zulässig ist, auszudehnen. Nach Erbauung der oben beschriebenen Brücke

sind noch zwei andere ähnliche Brücken erbaut und zwar die eine bei Lugos und die andere bei Karansebes. Beide Brücken sind aber eingestürzt.

Die Brücke bei Lugos hatte eine Spannung von 60 Fuß und eine Höhe von 8⅓ Fuß. Sie bestand aus 4 Bögen, welche an den beiden Brückenrändern paarweise aufgestellt und oben blos mit einer Stange zusammengehängt waren. Ueber die zwischen beiden Bogenpaaren durchgeführte Fahrbahn war jedoch keine Verbindungsstange angebracht, womit die beiden Bogenpaare zusammengehängt gewesen wären. Diese Brücke stürzte ein beim Uebergang einer Büffelheerde, wodurch die Brücke in bedeutende Schwingungen versetzt wurde. Bei der näheren Untersuchung nach diesem Unfall stellte es sich mit großer Gewißheit heraus, daß die Tragbögen nicht zerdrückt gewesen, wohl aber durch die entstandenen Schwingungen und bei dem fehlenden Querverbande ausgeknickt seien.

Die Brücke bei Karansebes über den Temesfluß, welche eine Spannung von 180 Fuß und eine Bogenhöhe von 21 Fuß 3½ Zoll hatte, stürzte noch vor gänzlicher Vollendung während eines ungewöhnlichen Hochwassers ein. Welcher Umstand aber hier hauptsächlich den Umsturz zu Wege gebracht, konnte nicht wohl ermittelt werden, indem einmal derselbe bei Nacht geschah und ferner auch das Gerüste und alles sonstige Brückenmaterial, soweit es aufgestellt gewesen, durch die Fluth fortgerissen wurde.

Die acht Tragbögen dieser Brücke bestanden jeder aus 94 in der Achse 2 Fuß langen Röhren aus Gußeisen von 10 Zoll Durchmesser und ½ Zoll Eisendicke mit zwei ringförmigen Stoßscheiben von 3 Zoll Breite, also 16 Zoll Durchmesser und ¾ Zoll Dicke mit 4 Schraubenlöchern. Die Spannketten aus Schmiedeeisen hatten einen Querschnitt von 24 Quadratzollen.

Die verticalen Verbindungen zwischen den Bögen und Spannketten bestanden aus sich kreuzenden über einander genieteten 1½ Zoll breiten und 4 bis 5 Linien dicken flachen Eisenstangen. Dieselben waren, da die Bögen paarweise geordnet wurden, unter sich mit einander verbunden. Auf ähnliche Art war auch die absteifende Querverbindung über den Fahrbahnen und dem Gehpfade construirt.

Bei der späteren Wiederherstellung dieser Brücke hat man nicht allein die Röhren der beiden unteren Theile eines jedes Bogens verstärkt und ihnen einen größeren Durchmesser gegeben, sondern man hat auch jeder der acht Spannketten von 24 Zoll Gesammtquerschnitt noch eine Stange von 1 Quadratzoll beigefügt; außerdem wurden auswärts gebogene eiserne Stützen angebracht und namentlich wurden die Querverbindungen noch sehr wesentlich verstärkt. Eben so wurden hier auch die Röhren ausgefüllt und zwar mit Bohlenbögen, ähnlich wie wir bei der Carousselbrücke angeführt haben. Hierdurch wurde eine sehr bedeutende Steifigkeit der Bögen und selbst der ganzen Brücke vollkommen erzielt.

Allein betrachten wir die Construction näher, so finden wir natürlich, daß sie jedenfalls ein nicht unbedeutendes Ersparniß an Material hervorbringt; jedoch entsteht die Frage, ob diese Construction in allen Fällen zweckmäßig anzuwenden sei. Da die einzelnen Rippen, welche die Brückenbahn zu tragen haben, sich oberhalb derselben befinden, so ist es nicht gut möglich, wenn ihre Höhe

nicht sehr bedeutend ist, eine Querverbindung der einzelnen Tragrippen zu beschaffen, indem dadurch die Passage ganz verhindert werden würde; und, wenn die Rippen wirklich eine genügende Höhe haben, so kann man die Querverspannung doch nur erst in der Nähe ihres Scheitels anbringen. Die Schenkel aber können nur in verticaler Richtung mit den Spannketten und diese dann wieder unter sich durch den Brückenbelag verbunden werden. Bei der, wenn auch nur geringen Beweglichkeit der Rippen, welche bei der aus einzelnen Röhrenstücken zusammengesetzten Construction immer stattfinden wird, ist aber durchaus eine feste Verspannung nöthig, wenn dieselben nicht ausknicken oder sonst beschädigt werden sollen. Wird nun die Höhe der Rippen so geringe, daß bei anzubringender Querverbindung die Passage aufhören müßte und also keine solche anzubringen ist, so erhalten die einzelnen Rippen keine andere Verspannung, als die man ihnen in den Widerlagern giebt. Diese Verspannung kann aber nicht genügen, den Bogen der ohnehin aus vielen kurzen Enden zusammengesetzt ist, am Ausknicken oder gar Umlegen zu verhindern, indem nur die Röhrenansätze oder Flanschen mit den durchgesteckten Schraubenbolzen diesem entgegenwirken. Dieses wird vollständiger erreicht werden, wenn man nicht ganz cylindrische Röhrenstücke anwendet, sondern solche wie Polonceau bei der Carousselbrücke angewendet und späterhin unter seinen Verbesserungen des Röhrensystems angedeutet hat, wo nämlich die einzelnen Stücke, welche nur aus halbcylindrischen Röhrenstücken bestehen, an ihren Enden, so wie auch an ihren langen Seiten mit den anstoßenden mittelst Schraubenbolzen verbunden und im Inneren mit Holzbögen ausgefüllt sind. Diese Construction würde unbedingt viel mehr Sicherheit darbieten, indem hierbei die Beweglichkeit der einzelnen Tragrippen bei weitem nicht so groß sein würde und ferner solche construirte Rippen auch weniger Tendenz zum Ausknicken oder Umlegen haben würden.

Aber auch selbst bei dieser Anordnung würden die oben erwähnten Beispiele von Polonceau diesen Bogenhängebrücken weit vorzuziehen sein, indem sie eine viel bessere und regelmäßigere Querverbindung gestatten und somit dem Ausknicken oder Umlegen auch weit weniger ausgesetzt sind.

Viertes Capitel.

Die schmiedeeisernen Brücken.

§. 14. Allgemeines.

Wenngleich das Schmiedeeisen schon seit längerer Zeit zu den Kettenbrücken als Hauptmaterial verwendet wurde, so fand es dennoch bei festen Brücken, oder doch bei solchen Brücken, wo es auf die relative und rückwirkende Festig-

keit des Eisens hauptsächlich ankommt, im Ganzen wenig, oder fast gar keine Anwendung. In den Fällen, wo eine Anwendung des Schmiedeeisens stattfand, waren die daraus hergestellten Brücken nur für Fußgänger oder höchstens zum Uebergang für leichte Fuhrwerke bestimmt. Die meiste Anwendung fand immer das Gußeisen und wurde das Schmiedeeisen dabei nur zu Schraubenbolzen, Ankern, Schienen und dergleichen Arbeiten verwendet. Erst der neueren Zeit war es vorbehalten, das Schmiedeeisen auch als Hauptmaterial nicht allein bei leichten Brücken, sondern sogar bei den größten Eisenbahnbrücken zur Anwendung zu bringen, wie dieses die folgenden Beispiele zeigen werden.

Daß nun die Brücken von Schmiedeeisen eine von den aus Gußeisen aufgeführten Brücken wesentlich verschiedene Construction erhalten mußten, versteht sich wohl von selbst, indem es bei den gußeisernen Brücken hauptsächlich immer auf die rückwirkende Festigkeit des Materiales ankommt. Bei schmiedeeisernen Brücken muß jedoch die Construction so gewählt werden, daß nicht die rückwirkende, sondern hauptsächlich die absolute Festigkeit des Metalles in Anspruch genommen wird. Hieraus folgt leicht, daß ein wesentlicher Unterschied in der Construction der Brücken bestehen muß.

So wie man bei den Brücken aus Gußeisen hauptsächlich den Gewölbebau zum Vorbild genommen, so hat man dagegen bei den Brücken aus Schmiedeeisen nur ausschließlich die Holzconstruction nachgebildet.

Die aus Schmiedeeisen hergestellten Constructionen unterscheiden sich aber auch noch wesentlich dadurch von denen aus Gußeisen, daß sie, um Lasten tragen zu können, keiner Widerlager bedürfen. Diese Eigenschaft ist eine der wichtigsten dieser Constructionen, und ist es eigenthümlich, daß im Allgemeinen dieselben bis jetzt hier in Deutschland noch nicht den Eingang gefunden haben, den sie eigentlich verdienen. Der Grund davon liegt aber wohl hauptsächlich darin, daß erst in neuerer Zeit die Anwendung des Schmiedeeisens und namentlich in England mehr allgemein und unter ganz veränderter Form geschah, man aber noch keine solchen praktischen Resultate vor sich hatte, woraus sich unfehlbar auch die Zweckmäßigkeit der Anwendung schließen ließ. Die mehrfach in England und Frankreich ausgeführten Brücken neuester Zeit und namentlich die in England haben so günstige Resultate erwiesen, daß man unbedenklich zur Wahl des Schmiedeeisens greifen kann und dieses sogar unter vielen Umständen noch weit zweckmäßiger und vortheilhafter als das Gußeisen ist.

Wir haben nun verschiedene Systeme anzuführen und wird aus dem Folgenden leicht zu ersehen sein, wie die verschiedenen Festigkeiten des Metalles am vortheilhaftesten angewendet und in Anspruch genommen werden. Jedoch lassen sich nicht alle hierher gehörigen ausgeführten Constructionen classificiren, oder doch als zu einem bestimmten System gehörig bezeichnen und müssen wir daher solche besonders angeben. Es sollen hier nun zunächst die verschiedenen Systeme angeführt werden, welche in den folgenden §. §. näher besprochen werden sollen.

Wir haben 1) das Neville'sche System;
2) das Laves'sche System;

3) die Town'schen Gitterbalken;
4) die Röhrenbrücken.

Ehe wir jedoch zu einer näheren Erörterung über diese verschiedenen Constructionen übergehen, sollen hier zunächst diejenigen Constructionen angeführt werden, welche nicht streng zu einem oder dem anderen Systeme gehörig zu bezeichnen sind und wollen wir diese unter der höchst allgemeinen Bezeichnung „gewöhnliche Brücken von Schmiedeeisen" befassen.

§. 15. Gewöhnliche Brücken von Schmiedeeisen.

Es würden die Gränzen dieses Werkes zu sehr überschritten werden, wenn wir alle nicht zu classificirenden Constructionen, die von Schmiedeeisen ausgeführt und bei Brücken zur Anwendung gekommen, hier angeben wollten, und begnügen wir uns daher, hier einige der vorzüglichsten Beispiele anzuführen.

Die zuerst hier anzuführende Brücke ist die im Jahre 1808 über den Fluß Crouy bei St. Denis vom General-Director des Civilbauwesens, Bruyére, ausgeführte Brücke, welche in den Figuren 772 und 773 näher dargestellt ist.

Diese Brücke diente nur für Fußgänger und für den Uebergang von Leinpferden. Die Spannweite der Brücke beträgt 38,2 Fuß und die Bogenhöhe 3,186 Fuß. Dieselbe besteht aus drei Rippen und jede Rippe wiederum aus zwei Curven, die durch Radialsprossen und durch Andreaskreuze mit einander verbunden sind. Die Curven bestehen hier nicht aus einer Länge, sondern sie sind aus einzelnen Stücken und zwar bei jeder Radialsprosse zusammengesetzt. Man hat zu dem Ende an jeder Radialsprosse, wo jedesmal eine der Curven auf dieselbe trifft, vier Quadranten von der halben Dicke der Sprosse ausgeschmiedet. Zwei derselben auf einer Seite liegen in der äußeren und die gegenüber stehenden in der inneren Fläche der Sprossen. Die anstoßenden Curvenenden und Streben haben entsprechende Scheiben, die auf beiden Enden angelegt und mit den ersteren fest verschraubt werden, wie dies in Fig. 773 näher angedeutet ist.

Betrachten wir nun die Construction näher, so finden wir, abgesehen von der Verbindung der Curven, Streben und Radialsprossen mit einander, welche in dem vorliegenden Falle ganz zweckmäßig sind, daß hier beide Curven vermöge der Verbindung bei einer Belastung eine Pressung erleiden, die aber durch nichts aufgehoben, sondern durch die Anordnung der beiden Curven auf diese vertheilt wird. Da aber die Festigkeit des Schmiedeeisens gegen Ausbiegung nicht so groß ist, wie die des Gußeisens, so hat man schon gleich anfangs darauf Rücksicht genommen, indem man hier jede Curve aus 8 Stück bestehen ließ, die dann auf die oben bezeichnete Weise mit den Radialsprossen verbunden sind. Um einem Verschieben entgegen zu wirken, sind in jedem Felde die Kreuzverstrebungen angebracht. Die Belastung, welche die Brücke durch zeitweiliges Uebergehen der Leinpferde oder Fußgänger zu tragen hat, ist nun keineswegs so bedeutend, daß zu befürchten sein möchte, daß die einzelnen Curventheile sich ausbiegen werden; wäre aber diese Brücke gleichzeitig auch für Fuhrwerke jeglicher Art geöffnet, so würde diese Construction sich jedenfalls zu schwach er-

weisen und hätte mandann nothwendig auch noch Radialsprossen da anbringen müssen, wo die Verstrebungen sich kreuzen. Diese Sprossen hätten alsdann nicht nur die Curven mit einander verbinden, sondern auch oberhalb bis zu den Straßenbalken verlängert werden müssen, um somit die Last auf eine größere Anzahl von Punkten der Curven gleichzeitig zu vertheilen. Dieses wäre um so nöthiger geworden, weil bei einer größeren Belastung die einzelnen Radialsprossen niedergedrückt worden wären, diesem sich aber die Curventheile so lange widersetzt hätten, als ihre Festigkeit gegen Ausbiegung dies gestattete, wobei aber jedenfalls eine scheerenartige Wirkung auf die Verbindungsbolzen der Curven und Radialsprossen entstanden wäre, welche nach Entfernung der Belastung die Annahme der ursprünglichen Gestalt der Construction verhindert hätte.

Ein anderes Beispiel, nämlich die Ueberbrückung der Gerinne in der neuen Fahrstraße hinter den Königl. Mühlen am Mühlendamm zu Berlin, mit Trägern und gekuppelten Eisenbahnschienen *), ist in den Figuren 795 und 796 dargestellt.

Diese Brücke, wenngleich nur klein, ist sehr interessant wegen der vorher angestellten Versuche, die wir vollständig angegeben finden in dem Werke „Bauausführungen des preußischen Staates."

Bei dem ersten Entwurfe hatte man bogenförmige Träger aus Gußeisen angenommen, wogegen sich aber das Bedenken erhob, daß die Brückenbahn bei feststehendem Niveau der Straße nur eine Höhenlage erhalten konnte, bei welcher zwischen Hochwasserspiegel und Scheitel der Curve nur ein Raum von zwei Zoll verbleiben und der größte Theil der gedrückten Bögen, nebst der mittleren Unterstützung unter Wasser gesetzt werden würde. Von dieser vorgeschlagenen Construction mußte daher abgegangen werden und wurde auf eine andere, mit horizontalen Trägern von möglichst geringer Höhe Bedacht genommen, wozu ein in der Praxis des Eisenbaues bereits geltendes System gekuppelter Bahnschienen, sogenannter Vignolschienen, den nächsten Anhalt gab. Es wurden nun Träger aus doppelten breitbasigen Eisenbahnschienen projectirt, welche mit den breiten Basen auf einander gelegt und in je 18 Zoll Entfernung durch Schrauben mit einander verbunden werden sollten. Die Versuche, welche mit so ausgeführten Trägern angestellt wurden, fielen aber nicht befriedigend aus und es wurden neue Versuche mit Trägern angeordnet, bei denen man statt der Schrauben in je 18 Zoll Entfernung, Nieten in Abständen von 12 zu 12 Zoll anwendete.

Zwei Probeträger, jeder ca. 36 Fuß lang, wurden nun in verschiedener Weise construirt. Bei dem einen lagen die Schienen mit den Basen unmittelbar auf einander, bei dem anderen lagen sie 2 Zoll aus einander und waren an den Nietungsstellen (von 12 zu 12 Zoll) kleine 2 Zoll hohe gußeiserne Platten zwischengelegt. Zu beiden Trägern wurden breitbasige Eisenbahnschienen von 4 Zoll Höhe genommen, wie Fig. 797 in halbem Maßstabe sie darstellt. Die Nieten zu beiden Trägern waren $^5/_8$ Zoll im Durchmesser stark und standen

*) Zeitschrift für Bauwesen von C. Hoffmann, Jahrgang I.

die Köpfe winkelrecht auf ihren Achsen, was durch Einlassen in die Schienenfüße erzielt wurde. Zwischen die glatt und winkelrecht bearbeiteten, $^3/_8$ Zoll aus einander stehenden Stöße der Schienen, waren stählerne Plättchen gelegt.

Die Träger wurden nun auf Gerüste gelagert, die in solchen Entfernungen von einander standen, die den Weiten zwischen der mittleren Unterstützungssäule und den Stirnpfeilern, in welchen später die Brücke erbaut werden sollte, entsprechend waren. Der Träger ohne Verstärkungsplatten wurde zuerst belastet und zwar nach und nach mit einem Gewichte von 2 . 15356 ℔, bei welcher Belastung sich in der einen Weite eine Durchbiegung von $1^1/_8$ Zoll und in der andern Weite eine Durchbiegung von $1^9/_{32}$ Zoll zeigte. Mit dieser Belastung blieb der Träger 13 Stunden lang liegen, wo sich dann die erste Durchbiegung um $^1/_{16}$ Zoll und die zweite noch um $^3/_{32}$ Zoll vermehrt hatte, so daß also nunmehr die Durchbiegungen $1^3/_{16}$ Zoll und $1^3/_8$ Zoll betrugen. Nach Entfernung der Last blieb bei Nr. 1 eine Durchbiegung von $^3/_8$ Zoll und bei Nr. 2 eine Durchbiegung von $^1/_2$ Zoll.

Hierauf wurde zu den Versuchen mit dem verstärkten Träger geschritten. Dieser wich bei den letzten Belastungen in der einen Hälfte nach der Seite zu aus, und kantete bei der Belastung mit 23900 ℔ auf die Seite, so daß der Versuch bis zur Brechung des Trägers ohne weitere Einrichtungen zu treffen, nicht fortgesetzt werden konnte. Nach Abnahme des Trägers und nach genauer Untersuchung fand sich aber weder an den Schienen, noch an den Vernietungen irgend eine Beschädigung oder Anzeige eines baldigen Bruches vor.

Man setzte nunmehr die Versuche über die Haltbarkeit des ersten unverstärkten Trägers wieder fort, wobei man zur Verhütung des Umkantens des Trägers an dessen Enden und in der Mitte starkes, nach der Form der Schienen ausgeschnittenes Eisenblech dicht gegenpaßte und so die aufrechte Lage desselben sicherte. Die Versuche wurden nun bis zu einer Belastung von 28,209 ℔ fortgesetzt, wobei der Träger nicht zur Ruhe, sondern nach Verlauf mehrerer Minuten in der ersten Hälfte dadurch, daß die Nieten sprangen, zur völligen Durchbiegung kam, soweit solches die Gestelle bis zu ihrem Stützpunkt zuließen. Ein Bruch der Schienen wurde nirgends bemerkt. Die gesprungenen Nieten ergaben, daß sie nicht eigentlich gesprungen, sondern durch das Gleiten der auf einander liegenden Flächen beim Biegen der Schienen förmlich durchschnitten waren.

Nach diesen Versuchen, woraus man die Tüchtigkeit der so construirten Träger hinlänglich ersehen hatte, wurden für jede Brücke 10 Träger bestimmt, die etwa auf 17 Fuß frei zu liegen kamen. Diese Träger wurden aus 4 Zoll hohen breitbasigen Schienen construirt, die unmittelbar auf einander gelegt und in Entfernungen von 12 zu 12 Zoll durch $^5/_8$ Zoll starke eiserne Nieten, deren Köpfe winkelrecht auf ihrer Achse stehen, verbunden wurden. Um aber die scheerenartige Wirkung auf die Zerstörung der Nieten zu beseitigen, welche durch das Bestreben der auf einander liegenden Sohlen der Schienenfüße, nach der Länge zu gleiten, hervorgebracht wird, so wurden Stahlkeile von $^3/_4$ Zoll Stärke, $2^1/_2$ Zoll Breite und $4^1/_4$ Zoll Länge, dergestalt quer in die Fuge der Träger zwischen die Schienenfüße eingelegt, daß sie mit ihrer halben Stärke in die Sohle

eines jeden Schienenfußes, in eigends dazu vorgerichtete Nuthen eingelassen wurden. Die so gebildeten Träger wurden mit einer größeren Schienenlänge von etwa 6 Fuß auf die Stirnpfeiler gelegt und hier unter sich, so wie auch mit dem Mauerwerk fest verbunden.

Auf diese Träger kamen gußeiserne Platten zu liegen und an jeder Seite der Brücke darüber zwei gußeiserne Straßenbalken, die an die Platten fest verschraubt wurden. Auf diese Belagplatten kam eine Schüttung von Erde und darüber ein Steinpflaster, wie solches in Fig. 795 und 796 näher zu ersehen ist.

Einer weiteren Erklärung bedarf es hier nicht, indem die Construction der Brücke im Ganzen hinreichend aus den Figuren zu entnehmen ist.

Zum Schluß wollen wir nicht unterlassen auf den, in Folge der oben angegebenen Versuche entstandenen gutachtlichen Bericht über die Construction und Festigkeit eiserner Balken aus Eisenbahnschienen vom Fabriken-Commissionsrath Brix (s. Bauausführungen des preußischen Staates) aufmerksam zu machen, indem derselbe sehr viel Interessantes und Wichtiges darbietet.

Ein anderes hierher gehöriges Beispiel, welches man sehr vielfach, wenigstens in ähnlicher Art angewendet findet, ist die in den Figuren 817 und 818 dargestellte Brücke.

Diese Brücke hat eine Spannweite von 15 Fuß, welche durch 6 Träger überdeckt wird. Jeder Träger besteht aus zwei Schienen, die in umgekehrter Form gegen einander angebracht sind. Die obere Schiene ist gerade und geht von einem Auflager zum anderen, auf welchem sie vermöge ihrer Länge von 18 Fuß noch hinreichendes Auflager findet. Die untere Schiene ist dagegen gekrümmt, lehnt sich im Scheitel gegen die gerade Schiene und stützt sich gegen die Widerlager mittelst angegossener Füße, welche in die Vertiefung gußeiserner Platten passen. Diese Platten ruhen an demgemäß bearbeiteten Werksteinen, wie aus Fig. 818 ersichtlich ist.

Die Bogenschenkel sind hier durch rautenförmig durchbrochene $^3/_4$ Zoll starke eiserne Platten ausgefüllt. Dieselben sind oben und unten mit Flanschen versehen und mit der oberen und unteren Schiene durch Schrauben fest verbunden. Ueber diese Träger liegen die Querbalken, welche darauf verkämmt sind. Um den hierdurch erhaltenen Querverband noch mehr zu verstärken, hat man Schraubenbolzen angewendet, die durch die Querbalken gehen, am unteren Ende aber gespalten sind und in Form von Zangen den Kopf der oberen Trägerschiene umfassen und durch einen Bolzen, welcher durch diese Zangen und den Hals der Schiene geht, damit verbunden sind.

§. 16. Das Neville'sche Brückensystem.

Die Rippen oder Träger dieses Systems bestehen, wie in Fig. 774 und 775 ersichtlich, aus schräg aufgestellten Stäben von Schmiedeeisen, die durch horizontale Gurtungen, welche aus kurzen Gußeisenstücken, schmiedeeisernen Gurtbändern und Bolzen zusammengesetzt sind, festgehalten werden. Die Quer-

balken a liegen hier auf angegossenen Lagern auf den Gurten und zwar auf dem oberen inneren Gurte; man kann dieselben aber auch auf die unteren Gurte legen. Betrachten wir dieses System näher, so finden wir, daß hier nur die beiden äußeren Gurte, nämlich der oberste und der unterste für das System als wirksam betrachtet werden dürfen, die beiden inneren oder mittleren Gurte aber keine Widerstände entwickeln können, indem keine Kräfte auf sie einwirken. Diese inneren Gurte dienen daher hier nur dazu, den Streben Stützpunkte gegen das Ausbiegen zu gewähren. Nähme man nun auch an, daß irgend ein Bestreben zur Ausdehnung oder Zusammenziehung in ihnen vorhanden wäre, so würden die damit verbundenen Streben demselben durch die ganze Länge des Systems Folge leisten und ein Geringes einbiegen; diese Einbiegung braucht aber nur sehr gering zu sein, um eine bedeutende Längenwirkung der inneren Rahmen auf Null zu reduciren.

In diesem Systeme wird in dessen oberem Theile vorzugsweise die rückwirkende Festigkeit, in dem unteren aber hauptsächlich die absolute Festigkeit der Gurtbänder in Anspruch genommen. Was die schrägen Streben betrifft, welche hier von Schmiedeeisen hergestellt sind, so wird abwechselnd die absolute und ihre rückwirkende Stärke in Anspruch genommen, je nachdem die Last einer solchen Strebe entfernter oder näher liegt.

Um die Anwendbarkeit dieser Construction für Eisenbahnbrücken zu prüfen *), wurde im Herbst 1846 eine Probebrücke von 66,3 Fuß preuß. lichter Weite bei der Eisenbahnstation Mecheln errichtet und von der belgischen Regierung eine Commission von fünf Sachverständigen damit beauftragt, ausführliche Versuche mit dieser Brücke anzustellen. Die Probebrücke war für zwei gewöhnliche Eisenbahngeleise eingerichtet und bestand aus fünf Trägern, jeder 68,8 Fuß, excl. der verticalen Endstücke, lang, die auf gemauerten Pfeilern ruhten. Die Träger hatten eine Höhe von 6,2 Fuß und waren in 5,9 Fuß Entfernung neben einander gestellt, so daß die gesammte Brückenbreite zwischen den Außenseiten der äußeren Träger 23,6 Fuß betrug. Die hölzernen Querbalken lagen mittelst angegossener Lager auf dem zweiten Gurt (s. Fig. 774) und waren dieselben 2,9 Fuß von Mitte zu Mitte von einander entfernt. Hierüber waren hölzerne Langschwellen so gelegt, daß eine solche zwischen je zwei Brückenträgern zu liegen kam; auf diese Langschwellen waren dann die Fahrschienen befestigt. Zwischen den eisernen Trägern befanden sich Querverbindungen von Schmiedeeisen, wie in Fig. 775 näher angegeben.

Die schrägen Streben hatten im Querschnitt eine Stärke von 1,38 Zoll im Quadrat; dieselbe Stärke hatten auch die verticalen Stützen an den Enden der Träger. Die Gurtbänder im untersten Gurt hatten eine Höhe von 3,06 Zoll und eine Stärke von 0,96 Zoll; diejenigen im obersten Gurt hatten eine Höhe von 1,928 Zoll bei einer Stärke von 0,456 Zoll. Dagegen hatten die-

*) Notiz-Blatt des Architekten-Vereins zu Berlin.

Eine vollständige Beschreibung der auf Anordnung der belgischen Regierung stattgefundenen Versuche über die Widerstandsfähigkeit des Neville'schen Brückensystems findet sich in Försters Bauzeitung, Jahrgang 1848.

jenigen in den Zwischengurten bei einer Höhe von 1,716 Zoll nur eine Stärke von 0,384 Zoll. Die Kreuzstreben zu den Querverbindungen, welche im Querschnitt quadratisch waren, hatten eine Stärke von 0,96 Zoll und dieselbe Stärke hatten auch die horizontalen Queranker.

Mit dieser Brücke wurden nun verschiedene Versuche angestellt, welche in Folgendem bestanden:

1) Zuerst wurde das eine Geleis der Brücke befahren:

a) von einer Locomotive nebst Tender, wobei dieselbe nebst dem gefüllten Tender ungefähr 500 Centner wog;

b) eben so und mit Hinzufügung von 4 beladenen Wagen, deren Gewicht zusammen zwischen 500 und 600 Centner betrug;

c) von 2 Locomotiven und 2 Tendern;

d) eben so mit Hinzufügung von 4 beladenen Wagen.

Der äußerste Seitenträger auf der Seite des befahrenen Geleises erlitt bei diesen Versuchen natürlich die stärkste Durchbiegung, welche von 9,18 bis auf 13,76 Linien stieg, während der äußere Seitenträger auf der entgegengesetzten Seite gar keine Biegung mehr zeigte. Die größere oder geringere Geschwindigkeit, mit welcher die Züge darüberfuhren, erzeugte keinen merklichen Unterschied in der Größe der Durchbiegung.

2) Nach diesen Versuchen ließ man zwei Züge, jede aus 1 Locomotive, 1 Tender und 4 beladenen Wagen bestehend, in verschiedener Weise auf der Brücke sich kreuzen.

Hierbei erlitt nun der mittlere Brückenträger die stärkste Durchbiegung, welche bis auf 12,8 Linien stieg, während die Biegungen der äußeren Seitenträger 11,5 Linien erreichten.

3) Es wurden die beiden Züge, welche die Brücke gleichzeitig passirten, je aus 2 Locomotiven, 2 Tendern und 4 Wagen zusammengesetzt, wobei die Durchbiegung des Mittelträgers auf 16,5 Linien stieg, während die Biegung der Seitenträger einerseits 13,8, andererseits 16,5 Linien erreichten. Diese Verschiedenheit der beiden Seitenträger schien hierbei von einer Verschiedenheit in der durch die Endschrauben erzeugten Anspannung der schmiedeeisernen Gurtbänder herzurühren.

4) Man ließ einen 180 Centner schweren Wagen mittelst eines auf die Schienen gelegten Hindernisses 7,4 Zoll hoch auf das eine Geleis der Brücke herabspringen; hierdurch wurde aber nur eine Biegung von 8,7 Linien verursacht.

5) Hiernach wurde eine Belastung von 2400 Centnern, auf acht Wagen vertheilt, auf die Brücke gebracht und daselbst vom 14 Decb. 1846 bis 4. Januar 1847 belassen. Die größte Biegung, welche hier an einem Träger beobachtet wurde, betrug 24,8 Linien; der Mittelträger bog um ein Geringes weniger durch; der am wenigsten gebogene Träger, ein Seitenträger, zeigte 16,8 Linien. Nach der Entlastung behielten dieselben Träger eine bleibende Biegung von 4,6 Linien und resp. 2,3 Linien.

6) Nach dieser eben angeführten Probe wurde die Brücke wiederum verschiedentlich mit schweren Zügen befahren, wobei die früher beobachteten Wir-

kungen sich so wiederholten, daß eine Veränderung aus der inzwischen wirksam gewesenen dauernden Belastung nicht zu erkennen war.

7) Endlich wurde noch eine Probe mit dieser Brücke vorgenommen und zwar in der Art, daß man annahm, einer der fünf Brückenträger sei gebrochen. Zu diesem Behufe ward, um das ungünstigste Verhältniß zu nehmen, der eine äußere Seitenträger völlig abgebrochen, während der übrige Theil der Brücke unverändert stehen blieb. Man ließ nun einen Zug, bestehend aus 2 Locomotiven, 2 Tendern und 16 schwerbeladenen Wagen (letztere zusammen 4400 Centner wiegend) über dasjenige Geleis passiren, dessen äußere Unterstützung weggenommen war, wobei der Zug sich ganz langsam bewegte und selbst einige Minuten auf der Brücke stehen blieb. Die Biegungen wurden hierbei so bedeutend, daß die Vorrichtungen, welche zum Messen der Senkung an der Stelle des weggenommenen Trägers und unter dem zunächst liegenden Träger angebracht waren, zerbrachen. Der dritte Träger bog 13,3 Linien durch, der vierte zeigte fast gar keine Veränderung, indem er ungefähr die horizontale Achse bildete um welche die Brückenbahn sich seitwärts drehte; der fünfte Träger hob sich um 10,1 Linie.

Auf Grund dieser Versuche kam nun die Commission zu Schlüssen, von denen wir hier die hauptsächlichsten anführen wollen:

a) Das Neville'sche System ist zu Eisenbahnbrücken anwendbar.

b) Die Träger einer Brücke von den Dimensionen und der Construction der Probebrücke können eine Durchbiegung bis zu 14,7 Linien ohne bleibenden Nachtheil erleiden.

c) Da eine solche Biegung schon hervorgebracht werden kann, wenn Züge mit 2 Locomotiven und 2 Tendern, von zusammen ca. 1000 Centner Gewicht die Brücke passiren, so ist die Probebrücke für die Locomotiven der Güterzüge, die mit ihrem Tender in Belgien schon bis 600 Centner wiegen, zu schwach. Dergleichen Brücken würden auf übergehende Lasten von 1400 Centnern zu berechnen sein.

d) Die Tragfähigkeit der Probebrücke würde für die wirkliche Anwendung daher im Verhältniß von 5 : 7 vermehrt werden müssen, zu welchem Behufe die schmiedeeisernen Gurtbänder in der untersten und die gußeisernen Barren in der obersten Gurtung, jede um $^2/_5$ ihres dermaligen Querschnitts zu verstärken sein würden.

Wenngleich aus diesen Versuchen hervorgeht, daß die nach diesem Systeme construirten Träger eine bedeutende Tragkraft haben, so ergiebt sich aber auch gleichzeitig, daß dieselben bei einer Belastung von ungefähr 500 Centner sich um 9,18 Linien durchbogen; bei größerer Belastung wurde die Durchbiegung auch größer. Nehmen wir nun an, daß auf die Träger eine solche Belastung in ruhendem Zustande läge, so würde nach Wegnahme der Last, wo der Träger seine frühere Lage wieder einnehmen würde, die stattgefundene Biegung ohne weitere Nachtheile sein. Anders ist es aber bei schnellem Uebergehen einer solchen Last; hier findet die Durchbiegung, also die Formveränderung der Träger in demselben Grade statt; außerdem entstehen auch bedeutende Erschütterungen, welche aber nur höchst nachtheilig auf die Verbindungsbolzen der Construc-

tion wirken werden, indem die Gurtbänder und schrägen Stücke, welche sie mit einander verbinden, nothwendig eine scheerenartige Wirkung darauf äußern müssen. Diese Wirkung wird aber selbst auch nicht ganz aufgehoben, wenn die Gurtbänder verstärkt werden. Ein anderer Umstand, der hier wohl zu berücksichtigen ist, ist die Verbindung des Gußeisens mit dem Schmiedeeisen. Im oberen Gurtband sind beide Arten von Eisen so mit einander verbunden, daß sie beim Tragen der Last vollkommen gleichmäßig wirken sollen. Dieses ist aber nicht wohl möglich, indem schon ihre Ausdehnungen bei Veränderungen der Temperatur verschieden sind und in solchem Falle schon eine gleichmäßige Wirkung aufhören muß. Es wird daher eine solche Construction immer eine sehr sorgfältige Beaufsichtigung und Unterhaltung erfordern.

Die nach diesem Systeme ausgeführten Brücken würden nun zwar immer verhältnißmäßig geringe Kosten erfordern, aber dennoch glauben wir nicht, daß dieses System so unbedingt anwendbar zu Eisenbahnbrücken ist. Wohl läßt sich dieses System zu gewöhnlichen Ueberbrückungen, wo man hinreichende Höhe hat, zweckmäßig anwenden, weil hier nie die Belastung so groß wird und demnach auch eine große Durchbiegung nicht stattfinden kann. Im Uebrigen würde die Durchbiegung der Brücke bei einer Belastung dadurch bedeutend vermindert werden können, wenn man die schrägen Stücke in doppelter Anzahl anordnete, wie in der Zeichnung durch punktirte Linien angegeben, so daß sich also immer zwei Stücke kreuzen, die, wo sie sich kreuzten, durch einen Bolzen mit einander verbunden würden; ferner, wenn man der obersten Gurtung die Gestalt einer Curve gäbe und anstatt der gußeisernen Zwischenbarren, solche von Schmiedeeisen anwendete. Es würden diese dann so kurz werden, daß sie in Hinsicht ihrer rückwirkenden Festigkeit ganz vollständige Sicherheit darböten. Es würde dann einmal eine verschiedene Längenausdehnung nicht stattfinden, ferner würden aber auch die schrägen Stäbe der auf sie einwirkenden Last hinsichtlich ihrer rückwirkenden Festigkeit größeren Widerstand leisten können, indem sie dann in drei Punkten gestützt und am Ausweichen verhindert würden. Indem dadurch das ganze System eine größere Steifigkeit erhielte, hätte man auch weniger von dem Umstande zu besorgen, daß abwechselnd die absolute Stärke und rückwirkende Stärke der schrägen Streben, je nachdem die Last einer solchen Strebe entfernter oder näher liegt, in Anspruch genommen wird.

§. 17. Das Laves'sche System.

Das Eigenthümliche dieses Systems haben wir bereits im achten Capitel §. 29. der zweiten Abtheilung näher beschrieben und beschränken wir uns hier daher hauptsächlich nur auf nähere Beschreibung eines nach diesem Systeme ausgeführten Beispieles.

Die in den Figuren 706 und 707 in der Ansicht und in einem Theile des Grundrisses dargestellte Drehbrücke ist nach dem Laves'schen Systeme im Jahre 1838 in Bremen über die Einmündung des oberländischen Hafens

gebaut *). Die zu überspannende Oeffnung beträgt 41½ Fuß. Damit die Brücke an beiden Seiten der Wendesäule ohne übermäßiges Gegenwicht ins Gleichgewicht gebracht und mit möglichster Leichtigkeit und Sicherheit gedreht werden konnte, erhielt die Brücke eine Länge von etwa 80 Fuß und eine Breite von 10 Fuß zwischen den Geländern.

Der Eisenbau dieser Brücke besteht:

1) aus vier doppelten Curven, den unteren Balken der Kammer oder des Sacks;
2) aus den Querbalken, worauf die Fahrbahn ruht;
3) aus den Kreuzverbindungen, unter den Curven und Unterbalken;
4) aus den die Curven und Unterbalken mit einander verbindenden Andreaskreuzen, Streben und lothrechten Verbindungsstangen;
5) aus dem Geländer, nebst den inneren und äußeren Streben;
6) aus der Wendesäule nebst der Pfanne und den dazu gehörigen Verbindungsstücken;
7) aus dem Rollensystem und den Bahnen, nebst den Verbindungstheilen.

Die beiden mittleren doppelten Curven sind von dreifachen gewalzten Schienen von 4 Zoll Höhe ½ Zoll Breite von schwedischem Eisen; die beiden äußeren von 3fachen Schienen von 3¼ Zoll Stärke von englischem Eisen verfertigt.

Die Unterbalken oder Stangen der Kammer sind 1½ Zoll im Quadrat-Querschnitt stark.

Die Schienen der Curven sind mit wechselnden Stößen zusammengenietet und durch Kreuzschienen, Streben und durch die verlängerten Geländerstäbe mit einander verbunden. Die Kreuzschienen der äußeren Curven befinden sich abwechselnd an beiden Seiten der Balken und sind, so wie die anderen Verbindungsstücke fest angeschraubt, was auch von den Schienen der Unterbalken gilt. Die mittleren Curven sind blos durch lothrechte und Diagonalstreben verbunden. An den Enden sind diese Curven durch gewalzte Platten von 6 Fuß Länge mittelst Nieten mit einander verbunden. Die Stärke dieser Platten beträgt 1½ Zoll.

Die Querbalken sind 2½ Zoll hoch, ¾ Zoll dick, mittelst Lappen und Schrauben mit den oberen Curven verbunden; auch sind an jedem Querbalken die zur Befestigung des Belags dienenden Schraubenmuttern angebracht. Die Verlängerungsschienen d, d der Geländerstiele und die unteren Theile der äußeren Streben des Geländers sind durchlocht und so mit den Querbalken verbunden.

Die Kreuzverbindungen e, e sind 2½ und ¾ Zoll stark und ebenfalls mit Lappen und Schrauben befestigt. Die Reifen und Bahnen haben dieselbe Stärke.

Der Belag besteht aus Holz und zwar aus Eichenbohlen.

Was die Anordnung der Rollen und Bahnen, so wie der Wendesäule be-

*) Romberg's Zeitschrift für praktische Baukunst. Jahrgang 1842.

trifft, so bietet sie nichts Wesentliches dar, weshalb wir auch dies unerwähnt lassen, zumal wir noch weiter unten bei Gelegenheit der Beschreibung einiger Drehbrücken darauf zurückkommen werden.

Kurze Zeit nach Erbauung der eben beschriebenen Brücke wurde in Bremen noch eine ähnliche jedoch feste Chausseebrücke mit zwei Jochöffnungen ausgeführt, wovon jede Oeffnung eine Weite von etwa 38 Fuß hat. Beide Brücken haben sich bis dahin sehr gut erhalten, wenngleich erstere nur im Ganzen von leichtem Fuhrwerk überfahren wird. Dagegen die letztere Brücke wird nicht selten mit großen beladenen Frachtwagen passirt.

In oben erwähntem §. haben wir uns für die Anwendung dieses Systems bei Holzconstructionen nicht bestimmt und zwar hauptsächlich schon aus dem Grunde nicht, weil das Holz nicht den dabei stattfindenden Zusammenpressungen und Einfressungen in die eisernen Verbandstücke bei größerem Belastungsdrucke genügend zu widerstehen vermochte. Bei Anwendung von Eisen fällt dieser Umstand aber ganz weg und es ist hier zunächst eine feste und solide Verbindung der beiden Curven an ihren Enden zu beschaffen. Diese wird aber hinlänglich durch die mit den Curven vernieteten Platten erhalten. Was die rückwirkende Festigkeit der lothrechten Stäbe zwischen den Curven betrifft, so wird diese durch die Anordnung der Diagonalstreben in bedeutend geringerem Grade in Anspruch genommen, indem diese letzteren ebenfalls mit ihrer rückwirkenden Festigkeit einem Durchbiegen der oberen Curven widerstehen. Dieser Widerstand wird noch vergrößert, wenn man die Diagonalstreben an ihren Kreuzungspunkten mit einander vernietet, so daß ein einseitiges Durchbiegen nicht stattfinden kann, sondern im Fall solches einträte, beide Streben ausweichen müßten. Dieser Fall ist aber nicht leicht denkbar, denn es müßten dann auch die geraden Stücke ausbiegen, was aber nicht stattfinden kann, sobald die einzelnen Rippen der Quere nach gehörig fest mit einander verbunden sind, vorausgesetzt, daß sonst eine richtige Eisenstärke der einzelnen Verbandstücke gewählt ist.

Soll dieses System bei größeren Brücken angewendet werden, so läßt sich dasselbe noch wesentlich dadurch verstärken, daß man noch zwei Zwischengurte wie bei dem Neville'schen System anordnet, wovon dann der obere eine nach oben gekrümmte Curve, dagegen der untere eine nach unten gekrümmte Curve werden würde. Die obere Curve würde dann mit ihrer rückwirkenden Festigkeit dem Drucke von oben Widerstand leisten, die untere dagegen mit ihrer absoluten Festigkeit der unteren Hauptcurve zu Hilfe kommen. Diese Gurte, welche mit den End- und Verbindungsplatten der beiden Hauptcurven vernietet würden, müßten auch ebenfalls mit den lothrechten Stäben und den Diagonalstreben vernietet werden, wodurch dieselben ebenfalls dann Widerstand entwickeln könnten und nicht wie bei dem Neville'schen System nur dazu dienten, den Streben Stützpunkte gegen Ausbiegung zu gewähren.

§. 18. Die Town'schen Gitterbalken.

Schon im zweiten Theile §. 16 dieses Werkes haben wir über die Gitter-

brücken von Town gesprochen. Dieses System wurde anfänglich nur von Holz ausgeführt; in ganz neuerer Zeit aber, wo das Schmiedeeisen bei Anwendung von Brücken das Gußeisen mehr oder weniger verdrängt und bei den vielen erforderlichen Eisenbahnbrücken sehr häufig nur eine geringe Höhe vorhanden ist, die aber zu geringe ist, um gußeiserne Bogenbrücken mit Sicherheit an den betreffenden Stellen auszuführen und nicht selten auch der Wasserstand oder andere Umstände es nicht erlauben die zur Tragung der Brückenbahn erforderliche Construction unterhalb bedeutend vortreten zu lassen, hat man sich sehr bald die Ueberzeugung verschafft, daß dieses System sich noch viel vortheilhafter für die Anwendung von Eisen und zwar von Schmiedeeisen eigne.

Dieses System besteht bekanntlich aus zwei mit einander durch Kreuz- oder Diagonalstreben verbundenen Rahmen, die an ihren Enden noch durch verticale Rahmstücke ebenfalls verbunden sind. Bei diesem Systeme wird eben wie bei den beiden vorhergehenden Systemen in dessen oberem Theile hauptsächlich die rückwirkende, und in dem unteren Theile die absolute Festigkeit in Anspruch genommen. Man hat, um dieses System zu verstärken, dem oberen Rahmen die Gestalt einer Curve gegeben, welche von den Enden gegen die Mitte um 12 Zoll und noch mehr anstieg; am häufigsten findet man aber den oberen Rahmen parallel mit dem unteren Rahmen, also gerade und horizontal angeordnet. Man hat auch, um dieses System zu verstärken, eine Art Spannkette von Schmiedeeisen oben und unten angebracht, und zwar mit dazwischen befindlichen Streben von Gußeisen. Allein schon oben haben wir darauf aufmerksam gemacht, daß eine aus zweierlei Arten von Eisen zusammengesetzte Construction immer etwas Mangelhaftes hat; wenngleich hier nur hauptsächlich die rückwirkende Festigkeit des Gußeisens in Anspruch genommen werden würde, so findet doch bei Veränderung der Temperatur eine verschiedene Ausdehnung des Metalls statt und würden sich jedenfalls die Zugstangen, welche hier von Schmiedeeisen, unverhältnißmäßig länger ausdehnen, als die verlangte Festigkeit der Construction es zulässig machen möchte. Eben so würde es auch weniger zweckmäßig sein, wollte man den oberen Rahmen, um eine noch größere Festigkeit zu erlangen aus Gußeisen herstellen, indem dieses eine größere Starrheit hat. Allein bei der verschiedenen Ausdehnung der unteren und oberen Rahmen bei Temperaturveränderungen, würde der beabsichtigte Vortheil ganz oder doch zum großen Theil verloren gehen, indem dann kein gleichmäßiges Wirken mehr stattfinden könnte.

Wir finden daher bei den Gitterbrücken auch hauptsächlich das Schmiedeeisen verwendet, dagegen seltener das Schmiede- und Gußeisen vereint in der Weise, daß es vereint gleichmäßig wirken soll.

Wir wollen nunmehr einige hierher gehörige Beispiele anführen und vor allen diejenigen Versuche, welche mit Gitterbalken angestellt wurden um ihre Tragfähigkeit zu prüfen. Zunächst sollen hier die Versuche angeführt werden, welche der Baudirector Henz über die Tragfähigkeit solcher Gitterbalken anstellte bei Gelegenheit der Erbauung einer Eisenbahnbrücke über die Neiße bei der Stadt Guben. *)

*) Notizblatt des Architecten-Vereins.

Hier hatte der Baumeister die Aufgabe zu lösen, die Bahn in möglichst geringer Höhe über den bekannten höchsten Wasserstand zu legen, um eine sehr kostbare Erhöhung des Bahndammes durch die Niederungen und des nahe gelegenen Bahnhofes zu vermeiden. Man mußte sich daher zu diesem System entschließen; es wurden zur Tragung beider Bahngeleise fünf Eisenbalken bestimmt und zwar von einer Höhe von 3 Fuß und einer Länge von 35 Fuß.

Zum oberen und unteren Rahmstücke wurden die gewöhnlichen plattbasigen Eisenbahnschienen angewendet, und zwar in solcher Art, daß die Sohlen gegen einander gekehrt die Enden der Kreuzstücke zwischen sich aufnahmen, und in Verbindung mit denselben zusammengenietet wurden. Hierdurch erhielt der Balken auch gleichzeitig nach der Seite hin die hinreichende Steifigkeit, und wurde durch die Anwendung dieser Schienen auch gleichzeitig das sonst nothwendig gewesene Winkeleisen ersetzt. Zu den Kreuz- und Diagonalstreben wurde 4 Zoll breites und $\frac{1}{2}$ Zoll starkes gewalztes Eisen verwendet. An denjenigen Stellen, wo sich diese Streben überkreuzten, wurden sie über einander gebogen, so daß sie mit ihren Enden in einfachen Stücken zwischen den Sohlen der Schienen eingeschlossen wurden. An den Enden sind $1\frac{1}{2}$ Fuß breite und $\frac{1}{2}$ Zoll starke Blechplatten zur Verbindung angewendet. In Fig. 776 ist ein solcher Gitterbalken dargestellt.

Zum Behufe der Belastungsversuche wurden auf 5 Fuß hohe Fundamentmauern, deren lichte Entfernung 32 Fuß betrug, zwei Gitterbalken aufgestellt, die durch die Gußeisenfelder an den Enden und durch vier in der Mitte eingezogene Tragbalken verbunden waren.

Die Vorrichtung zum Messen der Durchbiegung der Balken, bestand aus zwei ungleicharmigen Hebeln, von denen unter der Mitte jedes Balkens einer an einem eingerammten Pfahl angebracht wurde. Der links befindliche kurze Arm des Hebels wurde unter die Unterkante der Balken gebracht, während der längere zugespitzte vor einem eingetheilten Kreisbogen sich bewegen konnte. Die Hebelarme und der eingetheilte Bogen waren so proportionirt, daß 1 Zoll Senkung des kurzen Hebels 5 Zoll Steigung des langen entsprach. Die Hülse, welche den Drehpunkt trug, konnte an einer Stange so gestellt werden, daß beim unbelasteten Zustande der Brückenbalken, der lange Hebel auf Null des Theilkreises stand, wenn der kurze die Unterkante des Balkens berührte. Da das noch frische Mauerwerk, auf nicht ganz zweifellos festem Grunde, ein Sinken der Stützpunkte vermuthen ließ, wurden die Oberkanten desselben gegen angebrachte Festpunkte genau abgewogen.

Nach diesem wurden die Belastungsversuche gemacht und zwar mit Eisenbahnschienen, welche auf drei durch die mittleren Oeffnungen des Gitterwerks gezogene Querbalken aufgelegt wurden, so daß nur dieser mittlere Theil der Gitterbalken unmittelbar die Belastung erhielt.

Die Durchbiegung der beiden Balken war fast durchweg gleichförmig; die erste Durchbiegung fand statt bei einer Belastung von 102 Centnern und zwar betrug dieselbe 0,1 Zoll; bei einer Belastung von 552 Centnern betrug die Durchbiegung bei beiden Balken 0,6 Zoll. Hierbei fand sich aber auch gleichzeitig daß die Stützpunkte unter der Last ebenfalls gesunken waren, und zwar der

eine Pfeiler um $^1/_2$, der andere um $^1/_8$ Zoll, also im Mittel um $^5/_{16}$ = 0,31 Zoll, so daß die Durchbiegung der Balken nur 0,29 oder wenig über $^1/_4$ Zoll betragen hat.

Durch Unterlegung eines 20 Fuß langen Balkenhebels durch so viel Arbeiter, als an dessen langen Ende Platz finden konnten, wurden die so belasteten Balken längere Zeit in eine vertical schwankende Bewegung gesetzt. Aller angewandten Mittel ungeachtet war diese Schwankung bei dem Balken, unter welchem der kurze Hebelarm griff, nicht über $^3/_{20}$ Zoll, bei dem anderen nicht über $^1/_{10}$ Zoll zu bringen, obgleich die Schwingungen sich sehr regelmäßig darstellten.

Es wurden noch weitere Versuche angestellt, indem man durch taktmäßiges Gegenlehnen einer bedeutenden Arbeiterzahl das Maß der Seitenschwankungen zu ermitteln suchte. Nach eingetretener regelmäßiger Schwingung wurde die Abweichung von der geraden Linie beobachtet. Nach Beendigung der Schwingungsversuche setzte sich das System genau wieder in dieselbe Lage, in welche es durch die ruhige Belastung gebracht worden war.

In diesem Zustande verblieben die belasteten Brückenbalken während 18 Stunden, nach Verlauf welcher der Zeiger zwar um nahe $^3/_{10}$ Zoll mehr Durchbiegung zeigte, welche aber sogleich zum Theil als durch die, seitdem noch weiter erfolgte Senkung der Stützmauern um $^1/_{12}$ Zoll veranlaßt erkannt wurde.

Die Entlastung erfolgte hierauf in Parthien von 102 Centnern, wobei der Zeiger fast genau in dem Verhältniß zurückging, in welchem er bei der Belastung gestiegen war. Bei völliger Entlastung zeigte der Zeiger am Gradbogen noch $^2/_{10}$ Zoll, so daß unter Berücksichtigung der erfolgten Senkung der Unterlagen eine bleibende Durchbiegung dieser Balken nicht stattgefunden hat, die Elasticitätsgränze durch die stattgefundene Belastung daher nicht erreicht worden ist.

Da nun zur Tragung eines Bahngeleises hier drei dergleichen Balken dienen sollen, so ist die Versuchsbelastung noch um die Hälfte zu vermehren und würden sich daher für die Belastung eines Geleises 828 Centner ergeben. Wollte man nun annehmen, daß hiermit die Elasticitätsgränze erreicht sei, und rechnet man für Eisenverbände $^1/_3$ dieser Last als mit Sicherheit während der Bewegung derselben für zulässig, so ergiebt sich eine Last von 276 Centnern, welche über dem mittleren Theil der Brückenbalken sich bewegen kann. Die schwersten über die Eisenschienen gehenden Lasten sind jedoch die Locomotiven, und da die schwersten das Gewicht von 12 Tonnen oder 240 Centner nicht übersteigen, so erscheint die Construction und die Abmessung den Anforderungen für die zu überbauende Oeffnung und dem Eisenbahnbetrieb genügend zu entsprechen.

Mit den übrigen Balken der Brücke wurden ebenfalls Versuche angestellt und wurden je zwei derselben in der Mitte mit 600 Centnern belastet, wobei dieselben sich gerade einen halben Zoll durchbogen, nach der Entlastung aber genau wieder die ursprüngliche Höhe annahmen.

Wir haben oben angeführt, daß zu den oberen und unteren Rahmeisen Eisenbahnschienen verwendet wurden; da diese aber nur eine Länge von 18 Fuß hatten, die Rahmeisen aber aus einem Stücke bestehen müssen und eine Länge

von 35 Fuß erhalten sollten, so wurden die Eisenbahnschienen zusammengeschweißt, was aber anfänglich schwierig war und dadurch vollkommen gelang, daß die zu verbindenden Enden erst durch Aufschweißung anderer Eisenstücke verstärkt wurden, worauf die Zusammenschweißung der Schienen selbst dann leichter von statten ging. Die Wiederherstellung der Form wurde durch Nachschmieden in entsprechenden Gesenken vollständig erreicht.

Alle Löcher zur Verbindung der einzelnen Glieder wurden eingebohrt, die Zusammennietung mit möglichst genau passenden Nieten in kaltem Zustande beschafft, um durch die Construction keinen Spielraum zu gestatten.

Die lothrechte Stellung der Balken, so wie ihre Entfernung von einander ist durch gußeiserne Verbindungsplatten an den Enden gesichert, welche zwischen die, die Balken begränzenden Blechplatten angeschraubt wurden.

Zur Querverankerung der fünf Eisenbalken sind aufgekantete Hölzer von $11\frac{1}{4}$ Zoll im Quadrat stark durch die von den Kreuzstücken gebildeten Oeffnungen gesteckt, nachdem sie mit den nöthigen Einschnitten versehen sind, um die Stäbe zu umfassen; diese Verbindungs- und Tragbalken sind in Entfernungen von 4 Fuß angebracht, und auf dieselben sind Langschwellen aufgekämmt, welche die Schienen des Fahrgeleises unmittelbar aufnehmen.

Beim Befahren dieser Brücke mit einer Borsig'schen 13zölligen Locomotive und angehängten zwei Wagen und zwar mit verschiedener Geschwindigkeit wurde bei den unter der Brücke angestellten Beobachtungen weder ein Durchbiegen noch ein Schwanken bemerkt.

Dieses System ist ferner bei bedeutend größeren Brücken angewendet, wobei aber die Träger oder Gitterbalken alsdann eine bedeutend größere Höhe als bei der eben angeführten erhielten und ferner auch die Befestigung der Querbalken eine andere wurde.

Ein sehr interessantes Beispiel liefert uns die eiserne Brücke über den Royalcanal bei Doublin auf der Doublin-Drogheda-Eisenbahn, welche in den Figuren 800—809 näher dargestellt ist.*)

Die Spannweite dieser Brücke beträgt 140 engl. Fuß, ihre Breite 26 Fuß und die Höhe der Gitterwände, deren hier drei angeordnet sind, 17,5 engl. Fuß.

Die drei Gitterwände, welche die Fahrbahn der Brücke tragen, sind ganz aus gewalzten Eisenschienen und zwar die Winkeleisen und sonstigen Tragplatten in der Stärke von einem halben Zoll, die einzelnen Stäbe des Gitterwerks hingegen in einer Stärke von 4 Linien und einer Breite von 4 Zoll. Die gegenseitige Entfernung dieser Stäbe beträgt im Lichten 8 Zoll, sonach von Mittel zu Mittel 12 Zoll und sind dieselben an den Ueberkreuzungsmittelpunkten durch einen halben Zoll starke, warm vernietete Nietnägel fest mit einander verbunden; der Ueberkreuzungswinkel beträgt 45 Grad. Damit die gegenseitige Lage der Tragwände eine für die ganze Höhe und Länge derselben stets lothrechte und parallele bleibe, sind einerseits die Querbalken der Brückenbahn, welche aus Schwellen von Tannenholz bestehen, mit den unteren Trageisen der Wände fest verschraubt, andererseits aber sind auch die obersten Höhenkan-

*) Försters Bauzeitung 1848.

ten derselben durch ein Netz von 2 Zoll im Durchmesser haltenden Spannungsstäben unveränderlich mit einander verbunden. Um aber endlich noch eine zweckmäßige Festigkeit gegen Schwankungen und Seitenwirkungen der Wände vollständig zu erreichen, hat man in der Mitte der gußeisernen Endpostamente, mit welchen auch die Gitterwände verschraubt sind, sogenannte Porticus aus Gußeisen errichtet, welche mit denselben durch Holzvorrichtung und Schrauben zu einem einzigen Körper gebildet sind. Gegen eine Längenverschiebung des Brückenfeldes ist sowohl durch die erwähnte Verschraubung der Querschwellen und deren Versatzverbindung mit den Längenschwellen, auf welchen die Schienen ruhen, als auch durch die in Fig. 804 C bei jeder vierten Querschwelle angedeutete Vorrichtung eines verticalen Stützwinkeleisens für die ganze Breite der unteren Tragplatte hinlänglich Sorge getragen. Die lichten Stoßfugen der eisernen Plattenbestandtheile der Wände sind in erforderlicher Höhe mit 15 Zoll breiten und 4 Linien starken Bändern in Vernietungen überplattet.

Anstatt die Gitterwände auf den Uferpfeilern blos aufliegen zu lassen, erstreckt sich vielmehr, abgesehen von deren Verschraubung in die Endpostamente, die sehr feste Verankerung derselben zu beiden Seiten bis auf eine Länge von 35 Fuß, wodurch ihre Tragfähigkeit in dem Verhältnisse vermehrt wird, als man sie in den Stützpunkten als vollkommen vermauert anzusehen berechtigt ist.

Was die Aufstellung der Brücke betrifft, so geschah diese sehr einfach mit Hilfe eines Pfahlgerüstes. Das Gitterwerk wurde auf dem Bauplatze Theil für Theil sowohl unter sich, als mit den Winkel- und Tragplatten vernietet und mit den Postamenten verschraubt.

Die Kosten dieser Brücke betrugen mit Ausschluß derjenigen für das Ufermauerwerk 6000 Pfd. Sterl. Fig. 800 A zeigt die äußere Ansicht und B einen Längendurchschnitt der Brücke; Fig. 801 einen Theil des Grundrisses mit dem oberen Verankerungsnetze der Tragwände; Fig. 802 den Querschnitt nach vergrößertem Maßstabe; Fig. 803 zeigt einen Theil der Längenansicht ebenfalls nach vergrößertem Maßstabe; Fig. 806 den Querschnitt des oberen Theils der mittleren Tragwand; Fig. 804 D die Anordnung für die oberen Spannungsstreben; Fig. 805 den Querschnitt des oberen Theils einer äußeren Tragwand; Fig. 807 einen horizontalen Querschnitt des Porticus nach a b Fig. 802; Fig. 808 den Querschnitt des oberen Theils des Porticus nach c d; Fig. 809 die Sockelverbindung der Postamente; Fig. 804 B den Querschnitt des unteren Theils der mittleren Tragwand und Fig. 804 A denjenigen der äußeren Tragwand; Fig. 804 C zeigt den Querschnitt für jede vierte eichene Querschwelle der Fahrbahn.

Nachdem die Brücke vollendet war, wurde sie mehrfachen Versuchen unterworfen und bestand der erste Probezug, welcher darüber geführt wurde, aus zwei Zügen, jeder einzeln im Gewichte von 45 Tonnen (d. h. Locomotive, Tender und vier beladene vierrädrige Lastwagen, denn eine größere Länge des Zuges kann die Brücke nicht fassen), also beide ein Totalgewicht von 90 Tonnen oder 1800 Centner. Dieselben kreuzten sich in der Mitte der Brücke, hielten daselbst einige Zeit und fuhren dann abwechselnd schnell und langsam hin

und her. Nach diesem Manöver, welches ungefähr eine Stunde dauerte, wurden die Maschinen vom Zuge losgelöst, abgeführt und an deren Stelle sehr schwer beladene Lastwagen gestellt, worauf man beide Züge unberührt während 24 Stunden auf der Brücke stehen ließ. Den zweiten Tag wurden vier der schwersten, mit Wasser und Brennmaterial versehene Maschinen, je zwei auf ein Geleise, in die Mitte der Tragweite gestellt und blieben daselbst während 24 Stunden ebenfalls unberührt stehen. Bei keiner Gelegenheit war irgend eine Biegung oder fühlbare Oscillation der Brücke bemerkbar. Die Größe des Biegungspfeiles, welchen die Brücke unter dem Einflusse der ihr auferlegten Probebelastung angenommen, betrug nicht über 0,6 Linien und konnte mit der größten Genauigkeit durch die Vorrichtung gemessen werden, daß man für die Mitte der Spannweite dicht an einer der beiden äußeren Gitterwände, einerseits eine an ihren oberen Enden mit einer graduirten, horizontal verschiebbaren Schiefertafel versehene Stange in das Canalbett befestigte, andererseits aber einen eisernen Griffel in die Gitterwand einschraubte, welcher auf die erwähnte Tafel, sie in seiner verticalen Bewegung berührend, genau die Höhe des stattgefundenen Biegungspfeiles verzeichnete.

Nach Verlauf von acht Monaten, während welcher Zeit die Brücke täglich mit mehreren Bahnzügen überfahren wurde, hatte sich weder eine Mehrsenkung der Brücke für den unbelasteten Zustand, noch eine Zunahme des Biegungspfeiles während der Passage der Züge bemerkbar gemacht.

Die einzelnen Tragwände haben hier eine sehr bedeutende Höhe und es entsteht die Frage, ob nicht bei einer geringeren Höhe dieser Wände ebenfalls eine genügende Tragfähigkeit erzielt worden wäre? Diese Frage, so wie überhaupt die Art und Weise, wie die Tragfähigkeit solcher Brücken zu berechnen ist, soll im Folgenden näher ausgeführt werden, wobei wir namentlich der in der Förster'schen Bauzeitung gegebenen Berechnung folgen.

In Frankreich, wo diese Constructionen schon länger und in größerem Maßstabe zur Anwendung gekommen, als hier in Deutschland, bedient man sich des folgenden praktischen Mittels, um die Tragkraft des Gitterwerks mit in Rechnung zu bringen. Man betrachtet nämlich den Querschnitt einer solchen Gitterwand in seiner Grundform als ein doppeltes T, berechnet das Trägheitsmoment (Festigkeitsmoment) derselben, und bringt davon alle jene in Abzug, welche sich im Schnitte als Oeffnungen herausstellen; man denkt sich also die in der T Form vorkommenden vollen und lichten Querschnitte in ihrer Projection für die Länge der Tragwand als ununterbrochen fortlaufend und rechnet dann alle vollen als widerstandsfähig. In England dagegen, wo dieses System ebenfalls vielfach zur Anwendung gekommen, betrachtet man, wie oben erwähnt, den Querschnitt einer Wand in der Grundform als ein doppeltes T, ermittelt den Widerstand für den vollen Querschnitt, rechnet aber dabei den praktischen Werth des Widerstandscoëfficienten blos in solcher Bruchzahl, als diese für Town's System überhaupt aus dem Verhältnisse der lichten Oeffnungen zur vollen Masse abgeschätzt oder verglichen werden kann.

Betrachten wir die beiden oben angeführten Berechnungsweisen näher, so ergiebt sich leicht, daß das erstere Verfahren jedenfalls sicherer ist, indem es

weniger Willkührlichkeit zuläßt als das Letztere, und ferner sich dasselbe auch durch praktische Anwendungen mehrfach bewährt hat. Ueberhaupt kann man eine solche Gitterwand durchaus nicht als einen Körper betrachten, der aus einem einzigen festen Ganzen gebildet wäre, sondern es muß, da derselbe aus einzelnen Theilen zusammengesetzt wird, in den Berechnungen auf diesen Umstand jedenfalls Rücksicht genommen werden; dieses geschieht nun einigermaßen dadurch, daß man das Festigkeitsmoment der Oeffnungen in Abzug bringt.

Um das Tragungsvermögen der vorliegenden Brücken zu bestimmen, hat man zunächst das Trägheitsmoment der Querschnittsfläche der einzelnen Wände zu ermitteln; und da die Brücke für doppelte Geleise eingerichtet ist und drei Tragwände erhält, so muß die mittlere Tragwand in ihrer Widerstandsfähigkeit die stärkste sein, weil sie immer unter diesen Umständen in einem und demselben Augenblicke noch einmal so viel zu tragen hat, als eine der äußeren Wände.

Nehmen wir nun an, die Grundform des Querschnitts dieser Wand sei mit der eines doppelten T vergleichbar, so ist doch hier die Anordnung und Vertheilung des Materiales derart gewählt, daß der Schwerpunkt der Masse sich nicht in der Mitte der Wandhöhe befindet, und da, wenn das Trägheitsmoment eines Körpers oder eines Systemes von Körpern für eine durch den Schwerpunkt gehende Achse gegeben ist, das Trägheitsmoment in Beziehung auf eine beliebige andere Achse, welche der ersteren parallel und durch einen beliebigen Punkt des Körpers oder Körpersystemes geht, immer gleich dem Trägheitsmomente in Beziehung auf die Achse, welche durch den Schwerpunkt geht, plus dem Flächeninhalte des Querschnittes multiplicirt mit dem Quadrate des Abstandes der zwei Achsen ist, so hat man, wenn $\delta\,\omega$ ein kleines Flächenelement bezeichnet, y seine Entfernung von der willkührlich angenommenen Achse, v seine Entfernung von derjenigen Achse, welche durch den Schwerpunkt geht, und die Differenz dieser beiden Entfernungen mit k bezeichnet, $\zeta\, v^2\, \delta\, \omega = \zeta\, y^2\, \delta\, \omega\, k^2\, \zeta\, \delta\, \omega$,
in welcher Gleichung dann $\zeta\, v^2\, \delta\, \omega$ das Trägheitsmoment des Querschnittes in Bezug auf den Schwerpunkt, $\zeta\, y^2\, \delta\, \omega$ das Trägheitsmoment des Querschnitts in Bezug auf jene Achse, welche hier durch die Mitte der Wandhöhe geht, k die Entfernung der Achse der Mitte der Wandhöhe von der des Schwerpunktes, und endlich $\zeta\, \delta\, \omega$ den Flächeninhalt des Querschnittes bezeichnet.

Es bezeichne nun Fig. B, Tafel 73. den Querschnitt der Wand, wobei hier der größeren Deutlichkeit wegen, die Breitenausladungen größer angenommen sind, so läßt sich derselbe in eine Reihe rechtwinkeliger Prismen zerlegen, woraus sich dann leicht die Lage des Schwerpunktes der ganzen Querschnittsfläche ermitteln läßt. Es seien demnach l, l′, l″, u. s. w., die Entfernungen der Schwerpunkte der einzelnen Prismen von der Grundlinie ab, welche hier als Achse der Momente angenommen werde; ferner sei L die Entfernung des Schwerpunktes der ganzen Fläche von derselben Achse; s, s′, s″, u. s. w. die Querschnittsflächen der einzelnen Prismen und S der Flächeninhalt der ganzen Querschnittfläche, so ist

$$L = \frac{l\,s + l'\,s' + l''\,s'' + \ldots\ldots}{S} \;^{*)}$$

*) Hierbei ist der Zoll, anstatt des Fußes, als Einheit des Längenmaßes angenommen.

$l = 0{,}25;\ s' = 42{,}00\ .\ 0{,}5 = 21{,}00;\ s\ l = 5{,}25;$
$l' = 0{,}75;\ s'' = 12{,}00\ .\ 0{,}5 = 6{,}90;\ s'\ l' = 4{,}50;$
$l'' = 3{,}25;\ s'' = 2{,}66\ .\ 4{,}5 = 11{,}97;\ s''\ l'' = 38{,}90;$
$l''' = 14{,}00;\ s''' = 1{,}66\ .\ 17{,}0 = 28{,}22;\ s'''\ l''' = 395{,}08;$
$l^{IV} = 63{,}75;\ s^{IV} = 0{,}66\ .\ 82{,}0 = 45{,}45;\ s^{IV}\ l^{IV} = 3471{,}18;$
$l^{V} = 150{,}50;\ s^{V} = 0{,}66\ .\ 91{,}0 = 60{,}06;\ s^{V}\ l^{V} = 9039{,}03;$
$l^{VI} = 202{,}50;\ s^{VI} = 1{,}66\ .\ 13{,}0 = 21{,}58;\ s^{VI}\ l^{VI} = 4369{,}95;$
$l^{VII} = 209{,}50;\ s^{VII} = 12{,}00\ .\ 1{,}0 = 12{,}00;\ s^{VII}\ l^{VII} = 2514{,}00;$

substituirt man nun diese Zahlenwerthe in die Gleichung für L, so erhält man nach erfolgter Addition und Division

$$L = \frac{19837{,}9}{215{,}28} = 92{,}14 \text{ Zoll.}$$

Die halbe Höhe der Tragwand ist aber $= \frac{210}{2} = 105$ Zoll, mithin $k - 12{,}86$ Zoll, also $k^2 = 165{,}38$ und $\zeta\,\delta\,\omega = \delta + s' + s'' +$ u. s. w. $= 215{,}28$; folglich

$$k^2\,\zeta\,\delta\,\omega = 215{,}28 = 167{,}38 = 35603{,}00.$$

Um den Werth des Ausdrucks $\zeta\ y^2\ \delta\ \omega$, also den Werth des Trägheitsmomentes der Querschnittsfläche der Wand in Beziehung auf die Achse o'' o''', welche durch die Mitte der Wandhöhe geht, zu erhalten, so bezeichnen x, y; x, y; x, y, u. s. w., die respectiven Breiten und Höhen der einzelnen Prismen vom Flächeninhalte s, s', s'' u. s. w; ferner bezeichnen h, h', h'' u. s. w. die Abstände der Schwerpunkte dieser Prismen von der erwähnten Achse o'' o''', so erhält man nach §. 3 dieses Abschnittes, die Trägheitsmomente dieser verschiedenen Rechtecke in Beziehung zu Achsen, welche durch deren Schwerpunkte gehen und mit o'' o''' parallel sind, $= \frac{1}{12}\ x\ y^3;\ \frac{1}{12}\ x_{,}\ y_{,}^3;\ \frac{1}{12}\ x_{,,}\ y_{,,}^3$ u. s. w. Ferner erhält man nun die Werthe dieser Trägheitsmomente in Beziehung zur Achse

$$o''\ o''' = \frac{1}{12}\ x\ y^3 + h^2\,s;\ \frac{1}{12}\ x_{,}\ y_{,}^3 + h'^2\ s';\ \frac{1}{12}\ x_{,,}\ y_{,,}^3 + h''^2\ s''$$

u. s. w.

$$\text{also } \zeta\ y^2\,\delta\,\omega = \frac{1}{12}\ (x\ y^3 + x_{,}\ y^3 + x_{,,}\ y_{,,}^3 + x_{,,,}\ y_{,,,}^3 + \ldots\ldots)$$
$$+ (h^2\,s + h'^2\,s' + h''^2\,s'' + h'''^2\,s^{2'''} + \ldots.)$$

Es ist aber, wenn man die entsprechenden Zahlenwerthe für x, y, h, s u. s. w. annimmt,

$x\ y^3 = 42{,}00\ .\ 0{,}5^3 = 5{,}25;\ h^2\ s = 104{,}75^2 . 21{,}00 = 230423{,}81;$
$x_{,}\ y_{,}^3 = 12{,}00\ .\ 0{,}5^3 = 1{,}50;\ h'^2\ s' = 105{,}25^2 .\ 6{,}00 = 65208{,}37;$
$x_{,,}\ y_{,,}^3 = 2{,}66\ .\ 4{,}5^3 = 242{,}39;\ h''^2\ s'' = 101{,}75^2 . 11{,}97 = 123926{,}15;$
$x_{,,,}\ y_{,,,}^3 = 1{,}66 . 17{,}0^3 = 8155{,}58;\ h'''^2\ s''' = 91{,}00^2 . 28{,}22 = 233689{,}82;$
$x_{IV}\ y_{IV}^3 = 0{,}66 . 82{,}5^3 = 370600{,}31;\ h^{IV\,2}\ s^{IV} = 41{,}25^2 . 54{,}45 = 92650{,}07$
$x_{V}\ y_{V}^3 = 0{,}66 . 91{,}0^3 = 497356{,}86;\ h^{V\,2}\ s^{V} = 45,\ 5^2 . 60{,}06 = 124339{,}21;$
$x_{VI}\ y_{VI}^3 = 1{,}66 . 13{,}0^3 = 3647{,}02;\ h^{VI\,2}\ s^{VI} = 07,\ 5^2 . 21{,}58 = 205144{,}00;$
$x_{VII}\ y_{VII}^3 = 12{,}00 . 1{,}0^3 = 12{,}00;\ h^{VII\,2}\ s^{VII} = 104{,}5^2 . 12{,}00 = 131043{,}00;$

Substituirt man nun diese Zahlenwerthe in obigen Ausdruck, so erhält man nach ausgeführter Addition und Division

$$\zeta v^2 \delta \omega = 1279760 - 35605 = 1244157,$$

welcher Werth das Trägheitsmoment in Bezug auf die volle Querschnittsfläche ausdrückt.

Von diesem Trägheitsmomente ist nun noch dasjenige der lichten Querschnittsöffnungen in Abzug zu bringen. Dasselbe muß eben so wie das vorige auf den Schwerpunkt der ganzen Wandfläche bezogen werden, und hat man daher die positive Summe der Trägheitsmomente aller lichten Querschnittsflächen in Bezug auf die Achse o'' o''' und ferner die negative Summe der Flächeninhalte aller dieser Querschnittsflächen, multiplicirt mit dem Quadrate der Entfernung der beiden Achsen o' o' und o'' o'', zu ermitteln.

Das Trägheitsmoment aller lichten Querschnittsflächen in Bezug auf die Achse o'' o''' würde sich hier nun ergeben $= 0{,}66 . 11{,}35^3 + 2 . 0{,}66 . 11{,}35$

$$(8{,}5^2 + 25{,}54^2 + 42{,}56^2 + 59{,}59^2 + 76{,}62^2 + 93{,}64^2)^{*)}$$

Ferner die Summe aller Querschnittsflächen multiplicirt mit dem Quadrate der Entfernung der beiden Achsen ist gleich $12 . 0{,}66 . 11{,}35 . 12{,}86^2$.

Führt man hier die Multiplication und Addition aus, so erhält man für das Trägheitsmoment der lichten Querschnittsöffnungen

$$\zeta v^2 \delta \omega = 311529 - 14866 = 296663.$$

Subtrahirt man nun dieses Moment von dem oben gefundenen, so erhält man das Trägheitsmoment der Querschnittsfläche der mittleren Tragwand, gleich

$$1244157 - 296663 = 947493.$$

Diese Größe hat man nun, um das Widerstandsmoment zu erhalten, mit dem Coëfficienten R zu multipliciren. Da aber Rücksicht darauf genommen werden muß, daß die Wand nicht aus einem einzigen Ganzen besteht, sondern aus vielen Stücken zusammengesetzt ist, so darf man hier die Größe R nicht annehmen, sondern nur einen Bruchtheil derselben und zwar dividirt man die Größe R durch die Entfernung der neutralen Achse von jener Fiberfläche, welche am meisten ausgedehnt wird; der Quotient ist dann diejenige Größe, mit welcher man obige Zahlengröße für das Trägheitsmoment multiplicirt, um das Widerstandsmoment zu erhalten; der hier zu erhaltende Divisor ist 92,14, also hätte man das Widerstandsmoment der mittleren Tragwand $= \frac{R}{92{,}14} \cdot 947493$.

Untersuchen wir nun weiter in Bezug auf vorliegende Construction und nehmen an, daß über die mittlere Tragwand eine zufällige Belastung von 120000 ℔ gleichmäßig vertheilt sei, so wie daß dieselbe an ihrem Ende frei aufliege, was hier aber nicht der Fall ist, (sondern es ist dieselbe an ihren Enden fest verankert, also der angenommene Fall ungünstiger), so erhalten wir, da das Eigengewicht der mittlen Tragwand für die Entfernung der zwei Landpfeiler 52000 ℔ und das Gewicht der oberen Verbindungsstäbe zwischen zwei

*) Die in der Klammer angegebenen Größen, sind die jedesmaligen Entfernungen der Schwerpunkte der lichten Querschnittsöffnungen von der Achse o'' o'' und da diese in der Mitte der Wandhöhe sich befindet, so sind die resp. Entfernungen oberhalb und unterhalb dieser Achsenlinie einander gleich.

Wänden, so wie das der Brückenbahn mit Einschluß der Bahnschienen ebenfalls für die Entfernung der Landpfeiler 41000 ℔ beträgt; das von der mittleren Wand zu tragende gleichförmig über ihre Länge vertheilte Gewicht

$$= 52000 + 41000 + 120000 = 213000 \text{ ℔}.$$

Die Spannweite beträgt nun 140 Fuß = 1680 Zoll *) und man hat daher, wenn Gleichgewicht stattfinden soll, das Widerstandsmoment oder

$$\frac{R}{92,14} \cdot 947493 = \frac{213000 . 1680}{8} = 44730000,$$

woraus sich R = 4349 ℔ ergiebt und welche Größe die Größe des Druckes bei obiger Annahme auf einen Quadratzoll der Tragwand bezeichnet. Nach Ardant ist aber die Gränze der dauernden Belastung in englischen ℔ auf den engl. Quadratzoll zu 5900 ℔ angegeben, welches Gewicht aber noch immer bedeutender ist als das gefundene, trotz der Annahme des frei Aufliegens der Enden der Tragwand und bei der Annahme der großen zufälligen Belastung, welche in der Wirklichkeit aber wohl nie stattfinden wird.

Wir sehen demnach hieraus, daß diese Brücke vollständige Sicherheit gewährt; dieses wird sich noch um so mehr herausstellen, wenn wir bei der Rechnung das im Auge behalten, daß die Tragwand an ihren beiden Enden fest eingespannt ist, wo sich dann ergeben würde

$$\frac{R}{92,14} \cdot 947493 = \frac{213000.1680}{16} = 22365000 \text{ und woraus man}$$

$$R = 2174 \text{ ℔ auf den } \square \text{ Zoll erhält.}$$

Wenn nun aus der eben geführten Rechnung auch hervorgeht, daß mit derselben Menge Material eine noch größere Brücke könnte aufgeführt werden, also, daß man die Höhe der Tragwand vermindern könnte, so ist dabei doch aber wohl zu berücksichtigen, daß ein solcher Gitterbalken aus vielen einzelnen Theilen zusammengesetzt ist und ferner die Streben nicht immer einerlei Wirkung erleiden, sondern daß sowohl die absolute als auch die rückwirkende Festigkeit der einzelnen Streben, je nachdem die darüber fortbewegte Last darauf wirkt, in Anspruch genommen wird. Bei kleineren Brücken kann man natürlich die Wandhöhe bedeutend vermindern, was auch immer geschieht, indem diese einmal den Seitenschwankungen nicht so ausgesetzt sind, als dies bei großen Brücken der Fall ist, ferner aber ihre Verbindung selbst auch leichter und sicherer herzustellen ist. Uebrigens hat man auch Beispiele von Brücken, die bei einer bedeutenden freitragenden Weite eine unverhältnißmäßig geringere Höhe haben, als unter andern die Brücke in der Cöln-Mindener Eisenbahn bei Altstaden, wo die Gitterträger bei einer freiliegenden Weite von 100 Fuß nur eine Höhe von 40 Fuß haben. Diese Brücke ist ebenfalls Versuchen unterworfen, und betrug die Durchbiegung dieser Gitterträger, von denen je zwei incl. aller Längen-, Quer- und Diagonalverbindungen 1070 Centner wiegen, bei der Belastung mit einer über der Mitte einer Oeffnung haltenden Locomotive nebst Tender von 750 Centner Schwere, $3^1/_2$ Linien; bei einer Belastung

*) Dieselbe muß hier in Zollen gerechnet werden, weil für obige Rechnung ebenfalls der Zoll als Einheit des Längenmaßes angenommen wurde.

mit zwei Stück solcher Maschinen und Tender (1500 Centner) 6 Linien; bei einer Belastung mit drei Locomotiven, deren Länge die Weite einer Brückenöffnung bereits übertraf und wovon die eine 900 Centner wog, ebenfalls 6 Linien und bei einer Belastung mit zwei der schwersten Maschinen und Tender (1600 Centner) 8 Linien. Ferner wurden bei diesen Versuchen Seitenschwankungen über das Maß von einer Linie nicht bemerkt. Bei diesen Versuchen hat sich nun zwar eine stärkere Senkung ergeben, allein dennoch wird diese Brücke Sicherheit genug darbieten, indem die Belastung der Brücke bei der späteren Benutzung nie so bedeutend wird, als sie bei den letzteren Versuchen stattgefunden hat.

Man hat auch versucht die Gitterbalken noch durch Verticalverbindungen der beiden Rahmen zu verstärken (s. Fig. 777); allein diese Verbindung bezweckt weniger eine Verstärkung, sondern es wird dadurch nur eine möglichst gleichmäßige Kraftäußerung der Construction aufgehoben; denn entwickelt die gedrückte und gezogene Strebe gleich viel Widerstand, so ist die Wirkung der verticalen Verbindungsstange gleich Null, weil die Construction dann eine solche Festigkeit besitzt, daß sie bei der Belastung ihre Form durchaus nicht verändert. Dies ist aber schwerlich anzunehmen, sondern es wird der gedrücke Stab eine wenn auch nur sehr geringe Biegung annehmen und daher auch seine Wirkung geringer sein, als die des gezogenen Gitterstabes. Denkt man nun, das Quadrat, welches aus Rahmen und Verticalverbindungen eines Intervalles gebildet wird, wolle sich etwas verschieben, so werden die Längenveränderungscoëfficienten der Gitterstäbe gleich groß sein, wenn die Seiten des Quadrates gerade Linien bleiben. Biegen nun aber die gedrückten Gitterstäbe aus, so überträgt sich der verlorene Widerstand auf die gezogenen Gitterstäbe und die Folge davon ist, daß die Rahmen oben und unten sich einbiegen, wodurch aber dann die Wirkung der gezogenen Gitterstäbe ungleichmäßig wird und zwar wird derjenige, welcher eine Diagonale des Quadrates bildet, den größten Widerstand zu entwickeln haben und bei übergroßer Belastung zuerst reißen. Die Folge davon ist das Reißen und Ausbiegen der zunächst gelegenen Gitterstäbe und die Verschiebung des ersten Intervalles. Man sieht hieraus, daß durch die Verticalverbindungen der Zweck einer Verstärkung und namentlich einer Sicherung der senkrechten Stellung der Balken, so wie einer Sicherung der Rahmen gegen seitliches Ausbiegen weniger erreicht wird.

Die Streben machen gewöhnlich mit dem unteren Rahmen einen Winkel von 45 Grad resp. 135 Grad, welcher Winkel am vortheilhaftesten ist, indem unter diesem Winkel von 45 Grad die Gitterstäbe unter sonst übrigens gleichen Umständen den kleinsten Druck nach der Richtung ihrer Länge erleiden.

Bei den beiden oben beschriebenen Beispielen haben wir gesehen, daß das Vernieten der Gitterstäbe mit einander verschieden ausgeführt worden ist, indem bei ersterer die Zusammennietung mit möglichst genau passenden Nieten in kaltem Zustande beschafft wurde, um durch die Construction keinen Spielraum zu gestatten; bei letzterer dagegen hat man die Niete in warmem Zustande verwendet. Die erstere Art der Vernietung, nämlich mit Nieten im kalten Zustande ist jedenfalls vorzuziehen, denn wenn auch ein so festes Zusammenpressen der

Gitterstäbe dadurch nicht erreicht wird, als dieses bei Anwendung warmer Nieten geschieht, so ist doch wieder der große Vortheil erreicht, daß die Nieten, so weit sie in den Gitterstäben stecken, keinen Spielraum zulassen, wo dagegen dies bei Nieten, im warmen Zustande angewendet, nothwendig stattfindet, sobald dieselben kalt geworden sind und ihre Ausdehnung verloren haben. Ein anderer Fall wäre es, wenn man die Gitterstäbe unmittelbar vor ihrer Verwendung erwärmen könnte und triebe alsdann die Nieten durch, welche natürlich im kalten Zustande angewendet werden müßten. In solchem Falle würde durch die Zusammenziehung des Eisens eine sehr feste Vernietung erhalten werden. Einmal ist dies aber mit zu vielen Umständen verknüpft; ferner aber würde dadurch der Nachtheil zu Wege gebracht werden, daß die Nietungen bei Reparaturen einzelner Gitterstäbe sich nicht lösen würden und am Ende gar ein Ausbohren der Nieten stattfinden müßte, was aber nicht allein viel Zeit kosten, sondern auch noch andere nachtheilige Umstände hervorrufen würde. Am einfachsten und sachgemäßesten ist es daher jedenfalls, wenn die Zusammennietung mit genau passenden Nieten im kalten Zustande beschafft wird. Es kommt hier zwar sehr viel auf eine genaue und tüchtige Verbindung an, allein diese erlangt man zur Genüge mit kalten Nieten, wo dagegen bei Anwendung erwärmter Nieten sich offenbar, wenn auch nur im geringen Maße, Spielräume zwischen den Wandungen der Bohrlöcher und den durchgesteckten Nieten ergeben und wo dann nur die Köpfe der Nieten durch ihre starke Anpressung gegen die Gitterstäbe vorläufig ein Uebereinanderschieben der vernieteten Gitterstäbe verhindern. Wir wollen nunmehr noch einige Beispiele kleinerer Brücken nach diesem Systeme ausgeführt, mittheilen.

In den Figuren 819—821 ist eine Bahnüberbrückung von 24 Fuß Weite dargestellt, wie man sie mehrfach auf der thüring'schen Bahn zur Ausführung gebracht sieht.

Die Brückenbahn, welche hier 16 Fuß breit ist, wird durch zwei eiserne Gitterwände getragen, deren Höhe 3 Fuß 5 Zoll beträgt und welche an den Seiten senkrecht aufgestellt und durch zwei gußeiserne Querbalken auf $1/3$ und $2/3$ ihrer Länge mit einander verbunden sind.

Die Gitterwände bestehen aus zwei sich durchkreuzenden Lagen von 2 Zoll breiten und $3/8$ Zoll starken Gitterstäben, die von Mitte zu Mitte $7\frac{1}{4}$ Zoll von einander entfernt und an ihren Durchkreuzungsstellen durch $3/4$ Zoll starke Nieten mit einander verbunden sind. Oben endigen die Stäbe zwischen $3/8$ Zoll starkem und $3\frac{1}{4}$ Zoll hohem Flacheisen, und zwischen den beiden letzteren ruht die gußeiserne $1\frac{1}{2}$ Zoll starke, nach beiden Seiten abgewässerte gußeiserne Handhabe.

Unten endigen die Stäbe ebenfalls zwischen zwei Flacheisen, aber von 6 Zoll Höhe und $7/16$ Zoll Stärke, welche noch durch ein Winkeleisen von $2\frac{1}{2}$ Zoll innerer Schenkellänge und $3/8$ Zoll Wandstärke verstärkt sind.

Die gußeisernen Querbalken bestehen aus einem horizontalen und einem verticalen Theile; letzterer lehnt sich an das Gitterwerk an und hat eine nach oben spitz zulaufende Verstärkungsrippe; ihm entsprechend ist auf der äußeren

Seite des Gitters eine 6 Zoll breite, $^3/_8$ Zoll starke Platte angebracht, so daß auf diese Weise eine Verschraubung und dadurch eine feste Verbindung unter den Gittern selbst möglich ist. Der horizontale Theil hat bei $11^1/_2$ Zoll Höhe 1 Zoll Wandstärke und Ränder, welche oben 2 Zoll, unten aber 3 Zoll und an denjenigen Punkten, wo die Balken aufliegen, auf jedesmal $11^1/_2$ Zoll Länge sogar 5 Zoll vorspringen. Letztere sind an den Auflagerpunkten mit den oberen durch Verticalrippen verbunden, so daß sich förmliche Kasten für die Balkenköpfe bilden. (Fig. 821.)

Damit die Gitterwände auch an den Enden in ihrem richtigen Stande erhalten werden, ist eine gußeiserne Winkelverbindung, ähnlich dem senkrechten Theile der Querbalken, mit dem Kasten für den ersten Balken angebracht. Die horizontale Platte derselben ist mit einer gußeisernen Mauerplatte verschraubt, welche auf einem Werksteine von starken Dimensionen liegt, durch welchen noch 1 Zoll starke Maueranker hindurchreichen.

Eine andere Brücke, ebenfalls auf der thüring'schen Bahn ausgeführt, über welche jedoch die Bahnzüge gehen, ist in den Figuren 810—816 dargestellt.

Die lichte Tragweite der Brücke beträgt 22 Fuß und da die Bahn hier doppelgeleisig ist, so sind hier drei Gitterwände in $12^1/_2$ Fuß lichter Entfernung von einander aufgestellt.

Die Stäbe dieser Gitterwände sind $3^1/_8$ Zoll breit und $^1/_2$ Zoll stark; sie enden oben zwischen 2 Winkeleisen von $^1/_2$ Zoll Stärke und $2^1/_4$ innerer Schenkellänge, worauf eine $6^3/_4$ Zoll breite, 1 Zoll starke Handleiste befestigt ist. Unten enden sie dagegen zwischen 2 Flacheisen von $^5/_8$ Zoll Stärke und 9 Zoll Höhe, welche bei den äußeren Gittern auf der äußeren, bei der mittleren Gitterwand aber auf beiden Seiten durch Winkeleisen von $^5/_8$ Zoll Stärke und $2^1/_4$ Zoll innerer Schenkellänge verstärkt sind. Mit diesen Winkeleisen sind die $8^1/_2$ Zoll breiten, 1 Zoll starken Sohlplatten vernietet. Durch gußeiserne Querbalken a wird hier die Querverbindung hergestellt. Es sind hier deren 4 vorhanden, wovon zwei in derselben Linie liegen und unter sich und dadurch auch mit der mittleren Gitterwand verbunden sind. (Fig. 811 und 812.) Die Enden der Gitter werden auch hier wieder durch Eckstücke b gehalten, welche mit ihren Füßen auf gußeisernen Mauerplatten c und diese wiederum auf Werksteinen d befestigt sind. (Fig. 814 u. 814A.)

An die unteren Rahmen der Gitterwände sind Taschen e mittelst Winkeleisen und Nieten befestigt. Diese Taschen bestehen aus $^3/_8$ Zoll starkem Blech und dienen dazu, die Querbalken f zu tragen, auf welchen die Schienen und der Belag liegen. Die Querbalken erhalten aber außerdem noch eine andere Unterstützung und zwar durch zwei eiserne Balken i, die aus gewöhnlichen Eisenbahnschienen bestehen. Diese werden wieder durch die in Fig. 812 angedeutete Querverbindung getragen, welche aus 3 Zoll hohen und $^3/_4$ Zoll starken Eisenstangen g bestehen, die durch Bolzen mit der horizontalen Stange h zusammenhängen, mit den anderen Enden aber an die unteren Rahmen der Gitterwände befestigt sind.

Die in Fig. 811 und 813 angegebene Diagonalverstrebung ist von Flacheisen und liegt unter den Balken.

Es bedarf keiner weiteren Erklärung dieser zu den beiden letzten Beispielen gegebenen Figuren, indem dieselben durch die Beifügung der Detailzeichnungen nach vergrößertem Maßstabe sich deutlich ergeben.

Eine andere, zwar streng genommen, nicht zu dieser Gattung von Brücken gehörige Construction ist in Fig. 799 A und B näher dargestellt. Dieselbe besteht aus einem Plattenpaare, jede $^3/_8$ Zoll dick. Die Platten, welche ebenfalls mit einander vernietet sind, sind hier so angewendet, daß ihre Fugen abwechseln. Oben ist an jeder Seite ein Winkel angebracht und mit den Platten vernietet, so daß hier eine Breite von 9 Zoll erhalten wird. Unten sind ebenfalls Winkeleisen mit den Platten vernietet, jedoch ist hier eine Breite von 16 Zoll. Bei einer solchen Tragrippe, welche man in Portsmouth verwendete und welche eine Länge von 41 Fuß 3 Zoll hatte, betrug in der Mitte die Höhe 2 Fuß und war dieselbe oben parabolisch gekrümmt, so daß am Ende die Höhe noch 1 Fuß betrug. Die Nieten, welche hier verwendet wurden, waren $^5/_8$ Zoll dick.

Hiermit angestellte Versuche ergaben, daß solche Rippen oder doch diese bei einer in der Mitte angebrachten Last von 15 Tonnen eine Einbiegung von 1 bis $1^1/_4$ Zoll erlitten, welche sich nach Entfernung der Last bis auf $^1/_{16}$ Zoll verlor. Eben so ergab sich auch, daß sie sich seitwärts drehten, bevor noch in verticaler Richtung irgend eine Beschädigung wahrgenommen werden konnte.

Dieser Umstand macht sie schon keineswegs vortheilhaft im Vergleich zu obigen Gitterträgern; überhaupt sind sie auch nicht vortheilhaft, weil die Gitterträger unter übrigens gleichen Dimensionen und bei gleichem Gewicht mehr Dicke in den Wänden erhalten als diese Blechträger und deshalb auch mehr Widerstand gegen Ausbiegungen gewähren.

Man hat daher auch von diesen Blechträgern im Allgemeinen bei Brücken sehr wenig Anwendung gemacht und zwar nur in solchen Fällen, wo die zu erbauende Brücke keine schwere Lasten zu tragen erhielt.

Ganz ähnlich den bisher beschriebenen Constructionen sind die von Busse in Romberg's Bauzeitung, Jahrgang 1846 mitgetheilten Constructionen von Brücken von Blech oder Flacheisen. Der Hauptunterschied dieser Constructionen von den oben mitgetheilten besteht darin, daß die oberen und unteren Rahmen, welche die eingesetzten Gitter zu einem Ganzen verbinden, nicht in gerader Linie hergestellt sind, sondern Curven bilden. Nachdem nun das Balkenwerk verbunden ist, werden unterwärts Spannketten angeordnet, die an den beiden unteren Ecken des Gitterbalkens mit diesem verbunden sind. Diese Ketten bestehen aus mehreren Gliedern, die mittelst zweiseitig wirkender Schrauben verbunden sind, Hierauf werden zwischen die Spannkette und den unteren Rahmen starke eiserne Stützen eingestellt und nunmehr die Schrauben angezogen und die Spannkette fest verspannt, wodurch die eingesetzten Böcke stark nach oben gedrückt werden. Wenn auch diese Art der Verspannung jedenfalls zweckmäßig ist, indem man dadurch im Stande ist, den einzelnen Gitterbalken immer wieder die gehörige Spannung geben zu können, zumal wenn durch längere Benutzung die einzelnen Theile sich durch die fortwährenden Oscillationen und Erschütterungen, welche bei Benutzung der Brücke stattfinden, etwas gelöst haben, so

kann und darf man diese Verspannung doch nicht weiter treiben, als bis zu dem Punkte, wo der untere Rahmen noch seine ursprüngliche Lage behält; wollte man diesen so spannen, daß er überhöht würde, so würde dieses nur dadurch erreicht werden können, daß der Balken nach der Seite ausweiche, was aber durchaus nicht vortheilhaft sein, sondern den größten Nachtheil mit sich führen würde.

§. 19. Die Röhren- und Tunnelbrücken.

Der im vorigen §. erwähnte Blechträger mag wohl die erste Veranlassung gegeben haben zu der Herstellung der Röhren; denn zunächst suchte man einen solchen Träger dadurch gegen seitliches Ausbiegen zu verstärken, daß man noch eine zweite ähnliche Blechwand herstellte und diese durch horizontale Blechplatten mit der ersteren verband, so daß schon eine Röhrenform von oblongem oder quadratischem Querschnitte entstand. Hierdurch erhielt der Träger nun zwar schon eine größere seitliche Steifigkeit, allein man konnte dem so construirten Träger keine verhältnißmäßig größere Belastung aufhängen und stellte sich dabei sehr bald heraus, daß das gewalzte Eisen viel weniger der Compression widerstehen könne. Um aber diesen Nachtheilen zu begegnen, suchte man den oberen Theil einer solchen röhrenförmigen Tragrippe zu verstärken und zwar dadurch, daß man oberhalb eine getrennte Zelle anbrachte. Hierdurch wurde natürlich der obere Theil der Röhre, welcher dem Drucke zu widerstehen hat, gegen den unteren, welcher der Ausdehnung zu widerstehen hat, ansehnlich verstärkt. Hatte man nun bis dahin sich mehrfach der am Schlusse des vorigen §. erwähnten Construction zu Trägern in Gebäuden und zu Deckbalken in Schiffen bedient, so trat im Jahre 1846 W. Fairbairn mit den angedeuteten Verbesserungen hervor und ließ sich ein Patent für Verbesserungen in der Errichtung von Eisenbalken für Brücken und andere Bauten ertheilen. Diese Verbesserungen bezogen sich nun der Beschreibung nach auf die Construction von Eisenbalken zu Brücken und anderen Bauten, durch Anwendung von durch Nietnägel verbundenen Platten und Rippen von gewalztem Eisen. Die Seitenplatten sind zusammengelegt mit Endfugen, welche an der Außenseite mit Deckplatten und auch der inneren Seite mit verticalen Rippen von Winkel- oder T Eisen bedeckt sind, während die Seiten- und Deckplatten und Rippen zusammengenietet sind. Die Höhe dieses hohlen Balkens ist mit zwei oder mehr rechtwinkeligen Zellen gebildet, aus vertical angebrachten Plattensam zumengesetzt und durch Streifen von Winkeleisen und Nietnägel mit den oberen und Seitenplatten verbunden. Der Boden besteht aus eisernen Platten, welche mit Deckplatten über den Querfugen zusammengefügt und an den Seitenplatten durch Winkeleisen und Nietnägel angesetzt sind. Die obere Fläche kann sowohl aus Guß- als aus Schmiedeeisen bestehen und eine rechtwinkelige oder elliptische oder eine andere zellenförmige Gestalt haben, um einem Nachgeben der oberen Theile durch Druck vorzubeugen, oder es können andere Methoden angewandt werden, wie dicke metallische Gußstücke oder leichtere Eisenplatten, in Gestalt einer hohlen Zelle angebracht. Auch kann der Boden aus einer Reihe

von zusammengenieteten Platten von einfacher und doppelter Dicke bestehen. Die Fugen der Platten wechseln mit einander und sind auf eine besondere Art, nämlich mittelst Kettennieten, zusammengenietet, welche Bezeichnung der Erfinder wählte, indem sie eine vollständige Kette von Platten bildet.

Fairbairn trat mit dieser seiner Erfindung erst dann in die Oeffentlichkeit, nachdem er sich durch Versuche hinlänglich von der Zweckmäßigkeit derselben überzeugt hatte. Die Eigenthümlichkeit der Untersuchung und der fast gänzliche Mangel an Decken trugen im hohen Grade dazu bei, das Fortschreiten derselben zu verzögern, zumal die Bestimmung der relativen Festigkeit einer eisernen, aus genieteten Platten zusammengesetzten Röhre ein fast ganz neuer Gegenstand war. Es waren daher vor Beginn der Untersuchungen viele höchst wichtige Umstände in Betracht zu ziehen, denn nicht allein die Größe der Spannung, so wie die Form der Röhre, sondern auch die Beschaffenheit des Materiales, aus welchem die Röhre zusammengesetzt werden sollte, waren Gegenstände, welche die größte Aufmerksamkeit erforderlich machten. Jeder derselben mußte getrennt für sich und wieder in Verbindung mit den anderen in Betracht gezogen werden. Bei den Untersuchungen wurden zuerst die relative Festigkeit cylindrischer Röhren auszumitteln gesucht; sodann die elliptischer und eiförmiger Röhren und endlich solcher von rectangulärem Querschnitte mit Einschluß derjenigen Modificationen, welche bei dem Fortschreiten der Untersuchungen für zweckmäßig und wichtig erachtet wurden.

Diese Versuche hier mitzutheilen, würde zu weit führen und die Gränzen dieses Buches zu sehr überschreiten; wir verweisen daher in dieser Beziehung auf das Werk „die Festigkeit eiserner Balken und Träger, nach dem Englischen des Thomas Tate von M. M. Freiherrn von Weber" in welchem die erwähnten Versuche vollständig mitgetheilt sind. Wir aber wollen uns damit begnügen, die nach diesen Versuchen gefundenen Formeln, soweit es hier erforlich ist, mitzutheilen.

Bei den verschiedenen Versuchen stellte sich sehr bald heraus, daß, wenn dünne Platten von Schmiedeeisen einem Drucke unterworfen werden, der in der Ebene ihrer Fläche auf sie wirkt, sie zusammenschrumpfen oder zusammenknittern, und zwar lange vorher, ehe ihr Material durch den Druck wirklich gestört wird. Einem solchen Bestreben der Deckplatte mußte aber begegnet werden, und dieses geschah dadurch, daß man verticale Platten anbrachte und dadurch in der Deckplatte Zellen anordnete. Hier besitzen alsdann sowohl die verticalen Platten der Zellen als auch die horizontalen Deckplatten das Bestreben zu knittern; die Richtungen dieser Bestreben gehen aber rechtwinkelig auf einander und heben sich gegenseitig auf oder verhindern doch ein Zusammenschrumpfen der einen oder anderen Platte, indem die verticalen Platten eine Wellenlinie zu bilden suchen, deren Erhöhungen und Vertiefungen horizontal liegen, während die horizontalen Deckplatten ihre Wellen vertical zu treiben bestrebt sind; es ist aber die Richtung der größten Festigkeit der Verticalplatten vertical, und fällt daher mit der Richtung der größten Schwäche der Horizontalplatten zusammen und eben so auch umgekehrt, so daß also die Ver-

ticalplatten durch die Horizontalplatten, und diese wieder durch erstere am Zusammenknittern verhindert werden.

Was die Form der Zellen für röhrenförmige Träger betrifft, so hat man quadratische den runden vorgezogen, weil erstere den Zellen eine größere Festigkeit verleihen. Hodgkinson fand nun zwar auf experimentalem Wege, daß die kreisförmigen Zellen fester sind, wenn sie einem directen Drucke ausgesetzt werden, woraus er auch auf ihre vortheilhaftere Anwendung schloß. Allein bei den Versuchen, die derselbe angestellt hatte, ruhte auf dem Querschnitte der Röhre nur eine einfache zudrückende Pressung, wodurch alle Theile der Röhre gleichmäßig gedrückt wurden. Bei den röhrenförmigen Trägern wird aber nicht allein die relative Festigkeit des ganzen Trägers, sondern auch die der einzelnen Zellen in Anspruch genommen, so daß also hier die oberen und unteren Flächen den größten Anstrengungen unterliegen, während diejenigen Theile, welche der neutralen Achse näher liegen, weniger von dem Drucke empfinden. Bei den runden Zellen liegt aber die größte Materialanhäufung in der Nähe der neutralen Achse, weshalb diese Form der quadratischen weit nachsteht.

Wir wollen hier nunmehr die Festigkeit eines röhrenförmigen Trägers bestimmen, der, wie aus der Figur C Tafel 73 hervorgeht, an seinem Obertheile aus quadratischen Zellen A S und an seinem Untertheile aus dicken Platten C D besteht. Nimmt man hier die Elasticität als vollkommen an, was ohne Nachtheil geschehen kann, und bezeichnet a die Fläche des Materialquerschnittes im Obertheil A S, β die Querschnittsflächen der Bodenplatten, γ die Querschnittsflächen der Seitenplatten R E und S T, α die Entfernung des Schwerpunktes der Oberzellen von der Unterkante C D, β' die halbe Dicke der Platten in C D, γ' die Entfernung des Schwerpunktes der Seitenplatten von C D, K die ganze Querschnittsfläche A B D C, und $x = K C = G D$ gleich der Entfernung der neutralen Achse von C D, so hat man, indem man C D als Achse der Momente annimmt,

$$x = \frac{\alpha\alpha' + \beta\beta' + \gamma\gamma'}{K},$$

woraus also die Entfernung der neutralen Achse von der Unterkante des Trägers gefunden wird.

Bezeichnet nun ferner h' diese Entfernung, h die Entfernung der neutralen Achse von der Oberkante A B des Trägers; p die Gesammtbreite der Zwischenräume in den Oberzellen; $e = A R = B S$ die Höhe der Oberzellen, k die Dicke der Platten an denselben; $b = A R = C D$ die Breite der Röhre, K', die Dicke der Bodenplatten, K'' die Summe der Dicke der beiden Seitenplatten R E und S T und J das Moment von A B G K — dem Momente von K G S R — dem Momente des Raumes in den Zellen A S + dem Momente von K G D C — dem Momente des Raumes K G F E, so erhält man, da

das Moment von A B G K $= \frac{1}{3}\, b\, h^3$,

das Moment von K G S R $= \frac{1}{3}\, (b - k'')\, (h - e)^3$,

das Moment der Zellen A S $= \frac{1}{3}\, p \left((h - k)^3 - (h' - e + k) \right)$,

das Moment von K G D C $= \frac{1}{3}\, b\, h'^3$ und

das Moment des Raumes KGFE $= \frac{1}{3}(b - k'')(h' - k')^3$,

also $J = \frac{1}{3} b h^3 - \frac{1}{3}(b - k'')(h - e)^3 - \frac{1}{3} p \left((h - k)^3 - (h - e + k)^3\right)$
$+ \frac{1}{3} b h'^3 - \frac{1}{3}(b - k'')(h' - k')^3$

oder $J = \frac{1}{3}\left[b(h^3 + h'^3) - (b - k'')\left((h - e)^3 + (h' - k')^3\right) - p \left((h - k)^3 - (h - e + k)^3\right)\right]$,

welcher Ausdruck das Festigkeitsmoment des ganzen Querschnittes giebt.

Bezeichnet ferner S die Widerstandsfähigkeit des Materiales des Trägers gegen Pressung und Dehnung pro Quadratzoll in den Abständen h und h' von der neutralen Achse, so hat man für das Bruchgewicht im Mittel des Trägers, wenn das Material vollkommen elastisch ist, wie auch hier angenommen ist, oder

$$W = \frac{4\,S\,.\,J}{h\,l},$$

worin man den Werth für J zu substituiren hat.

Bezeichnen a, a' die Ober- und Unterquerschnittsflächen; d die Höhe des Trägers; l die Entfernung der Stützpunkte des Trägers; C, C' Constanten, die von Versuchen mit ähnlich construirten Trägern abgeleitet sind, so ist

$$W = \frac{a\,d\,.\,C}{l} \text{ oder } \frac{a'\,d\,C'}{l}.$$

Bei dem Modell zur Conway-Röhre war nun $l = 900$; $a' = 22{,}5$; $d = 54$ und $W = 89{,}15$ Tons, also

$$C' = \frac{l\,.\,W}{a'\,d} = \frac{900\,.\,89{,}15}{22{,}5\,.\,54} = 66 \text{ Tons.}$$

Substituirt man diese Constante in die Gleichung für W, so ist

$$W = \frac{a'\,d\,.\,66}{l},$$

oder das Bruchgewicht eines Röhrenträgers, der in der Mitte belastet und an den Enden unterstützt ist, wobei aber zu bemerken ist, daß, da a' in Quadratzollen ausgedrückt ist, die beiden andern Größen d und l ebenfalls in dieser Maßeinheit ausgedrückt werden müssen.

Analog diesem Ausdruck für W, findet man ferner,
daß bei hohlen cylindrischen Trägern, die aus dünnen Platten gebildet sind, das Bruchgewicht in Tons gleich ist: dem Producte aus dem Querschnitte, der Höhe und einer Constanten, (die aber aus den Versuchen Fairbairn's mit cylindrischen Trägern zu 14,5 Tons bestimmt ist), dividirt durch die Entfernung zwischen den Stützpunkten, wobei die Dimensionen ebenfalls alle in Zollen ausgedrückt werden. Bei Erbauung der Conway-Brücke wurden auch gleichzeitig vielfache Experimente über die Festigkeit von Nietungen und die Widerstände eiserner Bleche in der Richtung der Fibern und rechtwinkelig auf dieselben angestellt.

Es wurde doppelte, drei- und vierfache Nietung versucht, aber wegen der durch die Nietlöcher hervorgebrachten Schwächung der Bleche wieder verlassen,

bis nach wiederholten Versuchen das Princip der Längen- und Kettennietung angenommen und dieses Nietsystem durch Experimente näher geprüft wurde. Man verwendete hierzu zwei verschiedene Arten der Plattenverbindung, nämlich erstens die mit einfachen Platten, wie in Fig. 822 angedeutet, und ferner mit doppelten Platten, s. Fig. 823. Die Versuche wurden mittelst eines mächtigen Hebels ausgeführt, welcher die Fugen und die Platten in der Richtung der Nietreihe zerriß.

Bei den Versuchen mit einfachen Platten ergab sich, daß, um eine Platte von einem Quadratzoll Querschnitt zu zerreißen, eine Kraft von 24,41 Tons erforderlich war. Bei den Versuchen mit doppelten Platten zerriß die solide Platte auf der einen und die Nieten auf der anderen Seite wurden abgeschnitten. Hierbei ergab sich die absolute Festigkeit auf den Quadratzoll nur zu 18,73 Tons. Dieser nachtheilige Umstand rührte aber hauptsächlich davon her, daß die Festigkeit der Nieten mit der der doppelten Platten nicht in richtigem Verhältniß stand; denn bei den einfachen Platten waren die halbzölligen Nieten mehr als hinreichend, um die Platten zum Reißen zu bringen; bei den doppelten jedoch gaben sie nicht genug Widerstand, da die resp. Querschnittsflächen bei ersteren wie 0,785:0,750, dagegen bei letzteren, wie 0,785:1,500 sich verhielten. Es gab dies daher Veranlassung, den Querschnitt der Nieten bei den doppelten Platten ziemlich eben so groß, als den letzteren zu machen.

Aus weiteren Versuchen, die man noch mit zusammengenieteten Platten anstellte, ergaben sich nun für die Festigkeit der einzelnen Verbindungen folgende Werthe:

für die Festigkeit einer soliden Platte	100
für die Festigkeit der doppelt genieteten Verbindung	70
für die Festigkeit der einfach genieteten Verbindung	56

so daß also die verschiedenen Festigkeiten sich verhalten, wie 100: 70: 56.

Wir wollen nunmehr verschiedene hierher gehörige Beispiele anführen.

Die erste aus Schmiedeeisen nach dem Patent Fairbairn's erbaute röhrenförmige Brücke, welche dazu dient, die Blackburn- und Bolton-Eisenbahn über den Leeds- und Liverpoolcanal zu führen, ist in den Figuren 778—780 dargestellt.

Fig. 778 zeigt die Ansicht der Brücke; Fig. 779 ist ein Querschnitt nach einem vergrößertem Maßstabe; Fig. 780 A ist ein vergrößerter Querschnitt eines der äußeren Trägers, und Fig. 780 B eine vergrößerte Längenansicht eines Theils desselben mit dem Querbalken, worauf die Eisenbahn ruht.

Die lichte Spannweite der Brücke beträgt 60 Fuß, jedoch die Länge eines jeden Trägers 66 Fuß, so daß also auf jeder Seite je drei Fuß zum Auflager dienen. Die zwei Spuren der Bahn gehen zwischen drei mit einander parallel liegenden Trägern.

Jeder Träger besteht aus einer rechtwinkeligen Zelle im oberen Theile, zusammengesetzt aus $^2/_8$ Zoll dicken Platten, die an den Ecken durch Winkeleisen verbunden sind; aus $^5/_{16}$ Zoll dicken Seitenplatten, welche vertical durch T Eisen und an die obere und untere Bodenplatte durch Winkeleisen genietet sind; und endlich aus doppelten Bodenplatten, jede $^3/_8$ Zoll dick, welche wieder

mit einer Längensplatte verbunden sind. Der mittlere Träger, welcher die doppelte Last der Seitenträger zu tragen hat, ist hier verhältnißmäßig stärker gemacht.

Die Querschwellen, auf welchen die Langschwellen liegen, worauf die Schienen unmittelbar befestigt sind, sind mit den Trägern auf folgende Weise verbunden. Die Querschwellen hängen in Bügeln von Schmiedeeisen, deren Schenkel durch die Bodenplatten reichen und daselbst mittelst Schraubenmuttern festgeschraubt sind, und zwar ist bei jeder einzelnen Querschwelle immer auf jeder Seite der Träger ein Bügel angeordnet, so daß also zu einer jeden sechs Bügel erforderlich gewesen sind. Außerdem ist aber noch an jeder Stelle, wo die Querschwelle sich mit dem Träger kreuzt, ein langer Schraubenbolzen angeordnet, welcher durch den ganzen Träger geht und in der oberen Zelle des Trägers, wo derselbe durch eine gußeiserne Röhre geht befestigt ist. Dieser Schraubenbolzen geht unterwärts durch die Querschwelle, unter welcher er mit einer Platte und Schraubenmutter festgemacht ist.

Nachdem diese Brücke ganz vollendet war, wurde dieselbe, bevor man sie dem Verkehr übergab, harten Proben unterworfen. Drei Locomotiven, jede 20 Tonnen wiegend, welche die ganze Spannung von 60 Fuß einnahmen, liefen zusammen als ein Zug darüber und zwar mit verschiedener Geschwindigkeit von 6 bis 25 engl. Meilen die Stunde. Hierbei entstand aber nur eine Senkung von 0,025 Fuß in der Mitte gemessen. Hierauf legte man zwei eiserne Keile von 1 Zoll Höhe auf die Schienen und zwar in der Mitte der Brücke, und ließ nun die Maschinen mit einer Geschwindigkeit von 8 — 10 engl. Meilen pro Stunde darüber gehen. Durch den hierdurch verursachten Stoß entstand eine Einsenkung von 0,035 Fuß. Darauf wendete man Keile von $1\frac{1}{2}$ Zoll Dicke an, wobei die Einsenkung auf 0,045 Fuß oder ca. $\frac{1}{2}$ Zoll stieg.

Dieses System fand ferner seine Anwendung bei den zwei Brücken, welche den großen Landungsplatz bei Liverpool mit dem Dock-Werft verbinden. Der Landungsplatz besteht aus einer hölzernen Plattform von 500 Fuß Länge und 80 Fuß Breite, die auf schmiedeeisernen Pontons von 81 Fuß Länge, 10 Fuß Breite und 6 Fuß Tiefe angebracht ist. Der ganze schwimmende Körper ist in einer Entfernung von etwa 120 Fuß von der Ufermauer sorgfältig verankert; er steigt und fällt 18 bis 24 Fuß alle 12 Stunden, und die Maschinerie, womit die beiden Brücken an den Enden auf der Plattform und dem Kai befestigt sind, ist so eingerichtet, daß die Pontons mit der darauf liegenden Plattform und dem einen Ende der Brücke bei Ebbe und Fluth nach aufwärts und seitwärts sich bewegen können.

Die Verbindung zwischen dem Landungsplatz und dem Werft ist durch zwei Brücken nach dem Fairbairn'schen System hergestellt, von denen jede etwa 152 Fuß in der Länge hat, und die lichte Entfernung zwischen den gußeisernen Lagern 142 Fuß beträgt. In den Figuren 846 — 849 ist eine dieser Brücken dargestellt und zwar ist Fig. 846 eine Seitenansicht der Brücke, und Fig. 847 ein Theil derselben nach vergrößertem Maßstabe, Fig. 848 ein Querschnitt der Brücke bei E F, Fig. 849 ein Querschnitt der Brücke in der Mitte bei G H, Fig. 850 A B eine Ansicht, Durchschnitte und Grundrisse der Lagerplatten.

Die Höhe der Träger beträgt an den Enden 5 Fuß 6 Zoll und in der

Mitte 8 Fuß 6 Zoll. Die obere Abtheilung derselben ist 2 Fuß 6 Zoll weit und 1 Fuß 1 Zoll hoch und wird durch eine Mittelplatte in zwei Theile getrennt, wobei alles durch schmiedeeiserne Winkelrippen in Verbindung steht. Der Körper eines Balkens hat außen gemessen, eine Breite von 2 Fuß und besteht aus zwei Fuß breiten Blechen, die senkrecht mit $4\frac{1}{2}$ Zoll breiten Blechstreifen und $2\frac{3}{4}$ Zoll von einander entfernt stehenden Nieten zusammengefügt sind.

Die Platten, welche die obere Abtheilung bilden, messen 6 Fuß in der Länge und sind äußerlich mit darauf genieteten Blechstreifen, welche die Fugen decken, verbunden.

Die Fahrbahn ist 11 Fuß weit zwischen den Balken, welche in der Mitte ihrer Länge durch einen Bogen verbunden sind, der einen rechtwinkeligen Querschnitt hat. Dieser Bogen besteht aus Deck-, Boden- und Seitenplatten, die an Winkeleisen, welche außen liegen, genietet sind. Der Querschnitt dieses Bogens mißt in der Höhe 1 Fuß 9 Zoll und in der Breite 1 Fuß 6 Zoll.

Die Querhölzer für den Fahr- und Fußweg halten in der Mitte 10 und 8 Zoll und an ihren Enden 8 und 8 Zoll. Dieselben hängen in eisernen Bügeln an den Trägern. Die Fußwege, welche hier außerhalb der Träger angebracht sind, sind mit leichten Geländern von gußeisernen Stäben und schmiedeeisernen Verbindungsstangen versehen.

Eine der größten bis jetzt in dieser Art construirten Brücken ist in den Figuren 843, 844, 845 dargestellt. Dieselbe steht auf der Manchester-, Sheffield- und Lincolshire Eisenbahn über den Trentfluß bei Gainsborough. Sie hat zwei Joche, jedes von 154 Fuß Weite, mit einem steinernen Mittelpfeiler und zwei Widerlagern mit 40 Fuß weiten Spannbögen und bildet mit dem Fluß einen schiefen Winkel von 50 Grad. Die Träger haben durchaus gleiche Höhe und sind hier deren zwei; die ganze Breite der Doppelbahn mißt 26 Fuß im Lichten.

Fig. 844 zeigt einen Theil des Querschnitts der Brücke. Die Träger haben eine Höhe von 12 Fuß. Die obere Abtheilung mißt 3 Fuß $\frac{3}{4}$ Zoll in der Breite und 1 Fuß 3 Zoll in der Höhe und ist durch eine Mittelplatte in zwei Theile getheilt. Der Träger hat eine äußere Breite von 2 Fuß 6 Zoll und an der Bodenplatte 3 Fuß. Die Seitenplatten sind 2 Fuß breit und außen mit Deckplatten und innen mit Rippen verbunden. Ein Streifen von 1 Fuß breiten Eisenplatten ist in Form eines Bogens an der Außenseite des Trägers angebracht, um die Tragkraft desselben zu vermehren, welcher Zweck aber dadurch wohl wenig befördert werden möchte.

Die Schienen liegen in Stühlen auf Langschwellen, welche ihrerseits wieder von Querbalken getragen werden, die nach dem Röhrensysteme von schmiedeeisernen Platten construirt sind. Diese Querbalken ruhen auf den Bodenplatten der Träger, sind an deren Seitenplatten angenietet und liegen 4 Fuß von Mitte zu Mitte entfernt und zwar im rechten Winkel zur Brücke. In Fig. 845 ist ein Querschnitt derselben nach vergrößertem Maßstabe angegeben; sie haben sämmtlich durchaus gleiches Maß und halten 16 Zoll in der Höhe, 10 Zoll in der Breite. Der Zwischenraum zwischen den Langschwellen der Bahn und den Trägern ist mit dreizölligen Hölzern belegt.

Man hat auch das gewalzte Eisen zu Bogenhängwerks-Brücken angewendet und zwar in der Art, daß man sowohl den Tragbogen als auch die die Enden desselben verbindende Sehne aus Röhren herstellte, wie wir sie in diesem §. erwähnt haben. Dieses System hat Harrison zuerst eingeführt und machte er darnach einen Entwurf für eine Eisenbahnbrücke über die Ouse, mit einer Spannweite von 170 Fuß und einem Sinus versus von 15 Fuß. In den Figuren 783 — 785 ist eine Zeichnung dieser Anordnung gegeben und zwar zeigt Fig. 783 einen Theil der Ansicht; Fig. 784 einen Querschnitt durch die obere Bogenröhre und durch die untere horizontale Röhre und Fig. 785 einen Durchschnitt durch die Querbalken, auf welchen die Langschwellen und Schienen ruhen (die beiden letzten Figuren nach vergrößertem Maßstabe).

Wie schon erwähnt besteht das Tragsystem dieser Brücken aus einer bogenförmigen Röhre, die mit einer anderen horizontalen Röhre als Sehne verbunden ist. Diese letztere unterstützt die Fahrbahn und ist hier zu dem Ende durch eiserne Hängstangen an die obere Bogenröhre aufgehängt. Die Bogenröhre sollte von schmiedeeisernen $\frac{1}{2}$ Zoll dicken Platten construirt und mit Winkeleisen vernietet werden, so wie einen durchaus gleichen Queerschnitt von 4 Fuß Höhe und 3 Fuß Breite erhalten; die horizontale Röhre dagegen war nur 2 Fuß 6 Zoll hoch und 3 Fuß breit angenommen. Diese beiden Röhren sollten da, wo die Bogenröhre mit der horizontalen zusammentrifft, durch schmiedeeiserne Platten verbunden werden, die unter sich und mit den beiden Röhren fest zusammen genietet sind. Die Querbalken sollten ebenfalls aus Platten hergestellt werden (s. Fig. 785). Da die Eisenbahn doppelspurig war, so sollten drei solcher Tragröhren hergestellt werden, die zu einander parallel und in solchen Abständen standen, daß sich ein Geleis zwischen je zwei Röhren befand.

Dieses Project wurde nicht ausgeführt, dagegen wurden seitdem verschiedene andere ähnliche Brücken errichtet und zwar namentlich zwei auf der Strecke der Blackwell-Eisenbahn von Stepney nach Bow. Eine Zeichnung dieser Brücken zu liefern sind wir leider nicht im Stande, wir wollen aber hier die Beschreibung derselben liefern, wie sie Capitain Simmonds gegeben hat. Derselbe sagt: Diese beiden Brücken sind von einer eigenthümlichen Gestalt und die ersten ihrer Art, die für Eisenbahnen erbaut worden sind. Die Straße oder der Spurweg wird von schmiedeeisernen Gattern getragen, die der Quere nach zwischen zwei ganz aus Schmiedeeisen bestehenden Rippen gelegt sind. Die lichte Spannung der einen Brücke ist 120 Fuß und die der anderen 116 Fuß 8 Zoll. Jeder Bogen oder jede Rippe der letzteren Brücke, welche die Eisenbahn über den Regent's Canal führt, besteht aus einem Kasten aus eisernen Kesselplatten $\frac{11}{16}$ Zoll dick, und ist mit Winkeleisen fest zusammengenietet. Ihre Höhe mißt 2 Fuß, ihre Breite 2 Fuß 10 Zoll, und die Fläche des Querschnitts 81 Quadratzoll. Sie ist an der Basis mit einer eisernen Zugstange verbunden, welche den Horizontalschub des Bogens aufnimmt und aus Kettengliedern von 69 Quadratzoll Gesammtquerschnitt besteht, wobei die Bolzen $2\frac{3}{4}$ Zoll im Durchmesser halten. Zwischen den Zugstangen und dem Bogen ist ein System von verticalen und diagonalen Streben angebracht (ähnlich wie in Fig. 725), so daß die über die Brücke gehende Last gleichmäßig auf den ganzen Bogen ver-

theilt wird. Diese Bogenrippen liegen auf gußeisernen Platten, welche auf der einen Seite fest sind, auf der anderen aber sich frei bewegen, und zwar auf Rollen, so daß die Ausdehnung und Zusammenziehung des Metalles nach dem Temperaturwechsel ermöglicht ist. Der Pfeil des Bogens beträgt bei 116 Fuß 8 Zoll Spannweite 8 Fuß und liegt die Schienenbahn etwa 2 Fuß über den Zugstangen. Der Bau ist außerordentlich leicht, doch scheint er dennoch stark genug zu sein, die Last, welche auf ihn kommen mag, zu tragen. Man hat diese Brücke einer Last von 240 Tonnen, zu ihrem eigenen Gewichte von 59 Tonnen, unterworfen, indem das Gesammtgewicht in Stücken von je $34\frac{1}{2}$ Tonnen in gleichen Abständen über die Brücke vertheilt wurde. Es zeigte sich hierbei eine Einbiegung von $3\frac{11}{16}$ Zoll, die jedoch bei Entfernung der Last wieder verschwand, so daß die Brücke ihre frühere Gestalt genau wieder erhielt. Da diese Probe das Gewicht, welches von der Praxis zu erwarten ist, bedeutend übersteigt, so bin ich der Meinung, daß alle Sicherheit für das Passiren der Züge vorhanden ist. Da aber die ganze Construction sehr leicht ist und beim Darübergehen eines Zuges in deutlich vibrirende Bewegung geräth, so wird es nothwendig sein, sie immer genau im Auge zu halten und die Folgen zu beobachten, welche die Erschütterungen nach und nach hervorbringen möchten.

In beschränktem Maße sind schon vor Einführung der vom W. Fairbairn erfundenen Constructionsweise röhrenförmige Balken von Schmiedeeisen zum Brückenbau verwendet worden, und zwar ist in den Figuren 781 und 782 die Anordnung der Construction dargestellt, welche bei der Brücke in Anwendung gekommen, die die Landstraße von Carmunnok über die Polloc- und Govan-Eisenbahn bei Glasgow führt. Diese Brücke, welche die Eisenbahn schief übersetzt, wurde von A. Thompson erbaut, und hat $31\frac{1}{2}$ Fuß Spannweite an der Stirn, 30 Fuß senkrecht auf die Eisenbahn gemessen. Die Breite der Brücke beträgt von der Außenseite der einen bis zu der der anderen Brüstung $25\frac{1}{2}$ Fuß. Die Straße ruht auf 6 Trägern, von denen jeder 35 Fuß 3 Zoll lang ist; dieselben liegen 5 Fuß $1\frac{1}{4}$ Zoll von einander entfernt auf gemauerten Widerlagern. Jeder Träger liegt auf einer gußeisernen Platte an jedem Ende und ist aus den besten Kesselplatten von $\frac{3}{8}$ Zoll Dicke hergestellt, wie solches die Figuren im Querschnitt und im theilweisen Grundrisse zeigen.

Die einzelnen Träger haben eine Höhe von 18 Zoll, oben sind sie im Lichten $3\frac{1}{4}$ Zoll und unten ebenfalls im Lichten 6 Zoll weit. Die Deck- und Bodenplatten sind um je 6 Zoll breiter als der Träger selbst, wobei der Vorsprung von je 3 Zoll dazu bestimmt ist, die Winkeleisen zu befestigen, welche $\frac{3}{8}$ Zoll dick an den bezeichneten Stellen mit $\frac{1}{2}$zölligen Nieten in der Art befestigt sind, daß die Nieten je $1\frac{1}{2}$ Zoll von Mitte zu Mitte aus einander stehen. Diese Tragrippen sind, um ihren Widerstand gegen einen Druck von außen zu vergrößern mit Concret ausgefüllt. Ferner aber sind sie noch mit einander durch Quereisen verbunden, die 3 Zoll breit und $\frac{5}{8}$ Zoll stark sind. Diese Quereisen sind durch T-Eisen an die Seitenplatten befestigt. Die Zwischenräume zwischen den Trägern nehmen jedesmal zwei über einander liegende 9 Zoll dicke Bögen von Mauerwerk ein, welche eine Pfeilhöhe von $1\frac{1}{2}$ Zoll

haben. Die Krone dieser Bögen wurde mit heißem Theer begossen und darüber eine Schicht von Lehm gebracht, worauf die Macadamisirung des Fahrweges erfolgte. Die Fußwege zu beiden Seiten der Brücke erhielten eine Breite von 4 Fuß und waren von der Fahrbahn durch eine Rinne getrennt.

Die bisher angeführten Beispiele von Röhrenbrücken waren solche, die ganz aus Schmiedeeisen angefertigt waren; nun findet man aber auch Brücken, bei welchen die Träger in Röhrenform aus Schmiedeeisen und Gußeisen zusammen gesetzt sind, und zwar hat man dann hier das Gußeisen an solchen Stellen in Anwendung gebracht, wo es hauptsächlich in Hinsicht seiner rückwirkenden Festigkeit in Anspruch genommen wird. Die weiter folgenden Beispiele werden das Nähere zeigen.

Ein Paar sehr interessante Beispiele dieser Art liefern uns die auf der Eisenbahn von Rugby nach Leamington ausgeführten Brücken.*)

Die in den Figuren 824—832 dargestellten Constructionen zeigen einen Theil der Ueberbrückung der Court Street und des Bath Place.

Bei der hier in Rede stehenden Construction sind drei hohle Träger von den in Fig. 824 angegebenen Querschnitten angewendet. Jeder der beiden Seitenträger A, welcher in Fig. 825 in der Seitenansicht und im Längendurchschnitt und in Fig. 826 in der Ansicht und im Grundriß angegeben ist, besteht aus zwei je $\frac{1}{2}$ Zoll starken gewalzten Bodenplatten, aus einfachen $\frac{3}{8}$ Zoll starken gewalzten Seitenplatten und einer gußeisernen Deckplatte a, deren Verbindung in den Stößen durch Schraubenbolzen bewirkt und in Fig 827 näher dargestellt ist. An diese Deckplatte ist das gußeiserne Geländer b angeschraubt, wie in den Figuren 824 und 825 angedeutet ist. Dieses Geländer bildet somit eine Fortsetzung der gußeisernen Platte a und trägt zur vergrößerten Steifigkeit der Seitenträger A jedenfalls sehr viel bei. Um, ganz abgesehen hiervon, die Steifigkeit der Träger noch zu vergrößern so sind innerhalb des Trägers noch Querplatten in verticaler Stellung angebracht, die mit doppelten Winkeleisen an die Seitenplatten mittelst Nieten befestigt sind, in der Art, wie solches in Fig. 828 angedeutet ist.

Der Mittelträger B Fig. 824 ist ähnlich wie der Seitenträger construirt, jedoch etwas größer ohne Geländer und in der Mitte etwas höher als an den Enden. In Fig. 829 ist eine Seitenansicht A und ein Grundriß B desselben dargestellt.

Die Fugen der Seitenplatten der Träger sind mittelst 2 Fuß breiter Deckplatten bedeckt und die Platten mit 8 verticalen Reihen Nieten vernietet. Die Fugen der Bodenplatten sind auf gleiche Weise vernietet. Die Verbindung der Bodenplatten mit den Seitenplatten ist aus den bezüglichen Figuren ersichtlich.

Die Enden der Träger liegen auf gußeisernen Platten c Fig. 829, welche durch starke eiserne Bolzen fest auf den Widerlagsmauern gehalten werden, und die dergestalt mit angegossenen Backen versehen sind, daß

*) Organ für Fortschritte des Eisenbahnwesens.

der Träger sich an den Enden weder aufwärts biegen noch seitlich verrücken kann. Fig. 830 zeigt den Querschnitt von dem Ende eines Mittelträgers mit der zugehörigen Auflagsplatte, so wie Fig. 831 den Längenschnitt desselben.

Die Fahrbahn wird durch hölzerne, 9 Zoll breite und hohe, nur 18 Zoll von Mitte zu Mitte von einander entfernt liegende Querträger G Fig. 824 gebildet, die auf den hervorragenden Rändern der Bodenplatte der Träger aufliegen und durch Schrauben mit denselben und mit den Langhölzern F verbunden sind, welche letztere wieder durch Winkeleisen an die Seitenplatten des Trägers befestigt sind. Auf diesen Querträgern liegen dann die Langschwellen H Fig. 832, die als unmittelbare Unterlage für die Schienenstühle und Schienen dienen. Fig. 832 zeigt einen Theil des Grundrisses der Fahrbahn.

Die Ueberbrückung der Althorpe Street ist ebenfalls mittelst hohler aus gewalzten Platten bestehenden Träger geschehen, jedoch, abgesehen von der Construction selbst, mit dem Unterschiede, daß hier nur zwei Träger angeordnet sind, welche die beiden Geleise tragen. In den Figuren 833 — 842 sind die verschiedenen Constructionstheile dieser Ueberbrückung dargestellt.

Die Träger, welche hier so hoch sind, daß sie zugleich das Geländer bilden, bestehen jeder aus zwei, je $^3/_8$ Zoll starken Bodenplatten, aus einfachen $^3/_8$ Zoll starken Seitenplatten und einem gußeisernen Rahmen, der aus drei Stücken von je 22 Fuß 10 $^1/_6$ Zoll Länge zusammengesetzt und zusammengeschraubt ist. Die Anordnung eines solches Seitenträgers ist in Fig. 833 im Querschnitt und in Fig. 834 im Grundriß dargestellt; ferner zeigt Fig. 835 einen Theil der Seitenansicht und des Längendurchschnittes eines Trägers. Der Sockel, so wie die obere Gliederung und die Decke des Trägers sind von $^3/_8$ Zoll starkem Gußeisen, und es sind die Verzierungen mittelst Schrauben an die Träger befestigt. Die Fugen der Seitenplatten sind mittelst T förmiger Winkeleisen bedeckt und vernietet; die Fugen der Bodenplatten dagegen mittelst zwei Fuß breiter Deckplatten. Die Seitenplatten sind oberhalb an dem gußeisernen Rahmen, welcher in Fig. 836 im Grundriß dargestellt, vernietet; mit der Bodenplatte sind sie mittelst Winkeleisen vernietet.

Die Fahrbahn wird durch gußeiserne 8 Fuß von Mitte zu Mitte von einander entfernt liegende Querträger gebildet, welche an gußeiserne, innerhalb der hohlen Träger befindliche Gestelle (s. Fig. 833) mittelst Bolzen von Schmiedeeisen angehängt sind. Diese gußeisernen Gestelle sind jedes mit einem schmiedeeisernen Bande umgeben, welches wieder durch Nieten mit den Seitenplatten verbunden ist (s. Fig. 835). Auf diesen Querträgern liegen hölzerne Langschwellen, die einen Bohlenbelag mit den Schienenstühlen und Schienen tragen. Diese Anordnung geht aus den Figuren 833, 834 und 837 näher hervor, und stellt hier Fig 837 einen Querschnitt durch einen Querträger nach der Linie a b Fig. 833 dar. Fig. 838 zeigt einen Querschnitt dieses Trägers nach der Linie c d.

Fig. 839 zeigt einen Grundriß der ganzen Ueberbrückung mit der Anordnung der Lang- und Querträger. Die Querträger liegen hier rechtwinkelig zur Brückenbahn und können dieselben daher durchgehends nicht einerlei Form

erhalten, eben so auch nicht die Unterlagsplatten für die Lang- oder Hauptträger der Brücke. An den stumpfen Ecken der Brücke erhalten diese Platten eine solche Größe und Ausdehnung, daß sie zugleich dem Querträger Nr. 7 in Fig. 839 zur Auflage dienen. Fig. 840 zeigt eine solche Platte im Grundriß. Diese Unterlagsplatten sind nicht wie bei der vorher beschriebenen Construction durch Schraubenbolzen auf die Mauer befestigt, sondern es sind zur Verhütung des Verrückens an der unteren Fläche Würfel angegossen, die in entsprechende Löcher in den Steinen eingesetzt werden.

Fig. 841 zeigt nun eine Ansicht vom Ende des Querträgers Nr. 7 und Fig. 842 eine Ansicht und einen Grundriß des Querträgers Nr. 8.

Wir wollen nunmehr mit Uebergehung weiterer Beispiele zur Beschreibung der Röhrenbrücken bei Conway und über die Menaistreets auf der Chester-Holyhead-Eisenbahn in England übergehen, zumal dieselben alles bis dahin Gelieferte weit hinter sich lassen.

Der Zweck der Erbauung der Eisenbahn von Chester nach Holyhead in Nord-Wales war hauptsächlich der, die Communication und den Verkehr zwischen London und anderen Städten Englands mit Irland zu erleichtern und zu verkürzen. Um den ersteren Zweck zu erreichen, hatte man schon früher eine Chaussee zwischen Holyhead, Chester und Liverpool angelegt, welche von Thomas Telford ausgeführt war, und die wegen der dabei vorkommenden Schwierigkeiten, als auch wegen ihrer vorzüglichen Ausführung, Berühmtheit erlangt hat. Zur Herstellung des Ueberganges über den Conwayfluß und die Menaistraße, wurden zwei schöne Kettenbrücken ausgeführt, von denen die erstere eine Spannung von 400 Fuß bei einer Höhe der Fahrbahn über dem Hochwasser von 18 Fuß, und letztere eine Spannung von 570 Fuß und eine Höhe von 100 Fuß über dem Hochwasser hat.

Der Gedanke die Eisenbahn über eine dieser Brücken und zwar über die letztere zu führen, mußte schon wegen der Terrainschwierigkeiten aufgegeben werden, weil man zu ihr nur mit einer Steigung von 1 : 25 gelangt; es mußte daher eine neue Linie aufgesucht werden, welche zwar auch viele Terrainschwierigkeiten darbot. Auf dieser neuen Linie war die Herstellung zweier sehr bedeutenden Brücken erforderlich, nämlich die eine über den Conwayfluß, die andere über die Menaistraße. Für die Eisenbahn hier Kettenbrücken zu bauen, wurde sehr bald aufgegeben, zumal da die Anwendbarkeit dieser Art von Brücken für Eisenbahnen nach einer auf der Bahn von Stockton nach Darlington gemachten Erfahrung im hohen Grade zweifelhaft erscheinen mußte, indem diese Brücke gänzlich eingestürzt war. Stephenson, Oberingenieur dieser Bahn, schlug demgemäß vor, die Menaistraße mit einer gußeisernen Brücke in zwei Spannungen von je 450 Fuß zu überschreiten, wo der im Mittelpunkte der Strömung vorhandene Felsen als Grundlage für den Mittelpfeiler dienen sollte. Die Pfeilhöhe der Bögen sollte 50 Fuß betragen, und der Scheitel des Bogens vom Niveau des Wassers 100 Fuß entfernt sein. Da es ferner nöthig oder doch bestimmt war, daß die Wasserstraße nicht durch Gerüste unterbrochen würde wie gewöhnlich bei gewölbten Brücken angewandt werden, so schlug Stephenson vor, die halben Bogen auf jeder Seite des mittleren Pfeilers in Theilen zu

gleicher Zeit festzustellen und dieselben mit Bindestäben zu verbinden, so daß das Gewicht auf jeder Seite das auf der anderen balanciren sollte.

Diesem Projecte widersetzten sich jedoch die Commissaire der Admiralität, indem sie verlangten, daß sie lichte Höhe von der Wasserstraße unter dem niedrigsten Theile der Bögen von ihrem Ursprung an, nicht unter 100 Fuß betragen solle, wodurch aber das Project unausführbar wurde. Denn unter Beibehaltung des ursprünglichen Planes, den ganzen Bau um 50 Fuß über die vorgeschlagene Position zu erhöhen, würde nicht allein einen ungeheueren Zuwachs an Kosten für die Pfeiler und Ufermauern der Brücke hervorgerufen haben, sondern es würde der Bau auch nicht mit dem angränzenden Niveau der Eisenbahn in Einklang zu bringen gewesen sein.

Es mußte daher die gewölbte Form ganz verlassen werden und bestimmte sich Stephenson nun dafür, eine horizontale Form der Construction zu suchen, welche die für die Tragung der bestimmten Lasten über Räume von 450 Fuß nöthige Stärke und Unbiegsamkeit besäße und zugleich errichtet werden könnte, ohne die Schifffahrt zu hindern, und glaubte hierfür als die beste Form die einer horizontalen Röhre, welche aus schmiedeeisernen Platten von 1 Zoll Dicke zusammengesetzt würde.

Um aber diesen Vorschlag in Ausführung bringen zu können, mußten noch vielfache Versuche gemacht werden, nicht allein um die Haltbarkeit einer solchen Röhre kennen zu lernen, sondern auch um die Querschnittsform der Röhre zu bestimmen, für welchen dieselbe am meisten Festigkeit erhielte. Es wurden nunmehr die bereits oben mehrfach erwähnten Versuche in großer Ausdehnung von William Fairbairn angestellt.

Die ersten Versuche wurden deshalb angestellt, um die relative Festigkeit schmiedeeiserner Röhren von cylindrischer Form zu bestimmen. Später stellte man die Versuche mit elliptischen Eisenblechröhren an, wobei man beim letzten Versuche die Röhre an der oberen Seite noch mit einer angenieteten Zelle versah.

Allein die sämmtlichen Versuche mit diesen kreisrunden und elliptischen Röhren gaben klare Beweise von der geringen Festigkeit derselben; selbst nachdem man bei den letzten Versuchen die Proberöhre mit einer Zelle an der oberen Seite versehen hatte, zeigte sich dennoch eine geringere Festigkeit und entsprach diese Anordnung dem beabsichtigten Zwecke nicht. Ueberhaupt ging aus diesen Versuchen hervor, daß der Widerstand gegen das Zerdrücken an der oberen Seite mit dem Drucke daselbst nicht im Verhältnisse stand. Auch aus dem letzten Versuche, wo die elliptische Röhre mit einer Zelle versehen war, ging hervor, daß die beiden Widerstände gegen Ausdehnung und Zusammendrückung nicht waren ausgeglichen worden, und daß, um die erforderliche Spannung zu erhalten, die Quantität des Materiales an der oberen Seite nothwendig vermehrt, und ferner auch die Steifigkeit der Röhre noch vergrößert werden müsse.

Man ging daher von dieser Form ab und bestimmte zunächst die rectanguläre Form, wobei man aber schon gleich darauf Rücksicht nahm, die Decke der Röhren zu verstärken und zwar durch Anordnung von Zellen, wodurch natürlich eine größere Menge Material von der oberen Seite der Röhren erhalten

wurde. Hiernach und nachdem sich die Directoren der Eisenbahngesellschaft entschlossen hatten zu dieser von Stephenson vorgeschlagenen Brückenconstruction, wurde es noch für nöthig erachtet, noch mehrere Versuche in größerem Maßstabe auszuführen, um die Form und die Verhältnisse dieser Röhren zu bestimmen, zu welchem Zwecke eine ganz neue Proberöhre, genau in einem Sechstheil der Dimensionen der Britannia-Brücke gebaut wurde und hiermit nun die Versuche in der gewöhnlichen Weise ausgeführt. Die zu diesen neueren Versuchen benutzte Röhre hatte eine Länge von 75, eine Höhe von $4\frac{1}{2}$ und eine Weite von $2\frac{1}{2}$ Fuß und wog etwas über 5 Tonnen; die Dicke der Platten betrug oben etwa $\frac{1}{6}$, unten $\frac{1}{7}$ und an den Seiten $\frac{1}{10}$ Zoll. An der oberen Seite erhielt sie sechs quadratförmige Zellen.

Bei dem letzten Versuche mit dieser Röhre brach dieselbe unter einem Belastungsgewicht von $86\frac{1}{4}$ Tonnen, und zwar erfolgte der Bruch, indem die Zellendecke in einer Entfernung von 2 Fuß von der Tragvorrichtung zusammengedrückt wurde, während der Boden und die Seiten unbeschädigt blieben. Durch die Zusammendrückung der Decke wurde erreicht, was vom Anfange dieser Versuche an gesucht worden war. Man war hiernach im Stande, das Verhältniß der Querschnitte des Bodens und der Decke der Röhre zu bestimmen, um die Widerstände gegen Zusammendrückung und Ausdehnung bei einem transversalen Drucke ins Gleichgewicht zu setzen.

Man hatte beim Beginn des Baues geglaubt, daß an der oberen Seite eine doppelte Reihe von Zellen erforderlich sei, um der Zusammendrückung besser zu widerstehen und um die nöthige Querschnittsfläche zu erhalten; allein in Folge der zuletzt erhaltenen Versuchsresultate und in Betracht, daß eine solche Anordnung in der Ausführung namhafte Schwierigkeiten zeigte, unterließ man dies und begnügte sich mit der einfacheren Form; jedoch wurde die nöthige Querschnittsfläche beibehalten, was man dadurch erreichte, daß man die Dicke der Platten verstärkte.

Wir gehen nun zur näheren Beschreibung der Brücke selbst über.

Wir haben zwei Röhrenbrücken, nämlich die Conway-Brücke und die Britannia-Brücke. Von diesen Brücken wurde die über den Conway zuerst erbaut und war an sich ein Beispiel von siegreichem Erfolge. Doch von noch größeren Dimensionen ist die Britannia-Brücke, und wollen wir diese auch vornehmlich näher beschreiben, zumal die Details der Constructionen bei beiden Brücken dieselben sind. Die Conway-Brücke über den Fluß Conway hat eine Spannweite von 400 Fuß. während die Britannia-Brücke vier Spannweiten hat. Die beiden größeren erstrecken sich vom Pfeiler auf dem Britanniafelsen, welcher aus dem Bett der Menai-Straße emporsteigt, und zwar ziemlich in der Mitte ihrer Breite ist (von diesem Felsen hat die Brücke ihren Namen) nach den beiden Pfeilern auf den Ufern und sind jede 460 Fuß lang; die beiden anderen jede 230 Fuß, erstrecken sich von diesen Pfeilern nach den Widerlagern. Auf dem Britanniafelsen erhebt sich ein großartiger Thurm von Mauerwerk, dessen Basis 62 Fuß bei 52 Fuß 5 Zoll ist und sich bis zu 55 Fuß bei 45 Fuß 5 Zoll in der Höhe von 102 Fuß über der Hochwasserlinie verjüngt; in dieser Höhe gehen die Röhren durch denselben. Die Höhe dieses Thurmes

über Hochwasserstand beträgt 200 Fuß oder ziemlich 230 Fuß von der Grundlage auf dem Felsen. Die beiden nächstliegenden Brückenthürme haben an ihrer Basis dieselben Dimensionen, wie beim Britanniathurm, nämlich 62 Fuß bei 52 Fuß 5 Zoll, verjüngen sich aber zu 55 Fuß bei 32 Fuß auf dem Niveau des Röhrenbodens. Die Uferbauten verjüngen sich gleichfalls ähnlich wie die Thürme, betragen 176 Fuß in der Länge und haben eine den Thürmen entsprechende Weite, nämlich 55 Fuß im Niveau der Röhrenboden.

Jede der beiden Brücken besteht aus zwei neben einander liegenden Röhren, deren jede eine der Eisenbahnspuren trägt. Bei der Britannia-Brücke liegt auf dem mittleren Pfeiler die Röhre auf einer Länge von 45 Fuß auf; auf den beiden Landpfeilern 32 Fuß und auf jedem der Widerlager 17 Fuß 6 Zoll.

In beiden Brücken hat der obere Theil die Form einer sehr flachen Parabel, und bei der Britannia-Brücke erhielt auch die untere Seite eine Biegung von 9—10 Zoll um einer Durchbiegung vorzubeugen, die sich bei der Conway-Brücke bis auf 8 Zoll durch ihr eigenes Gewicht hervorgebracht, gezeigt hatte. In Fig. 855 ist ein Theil der Ansicht der Britanniabrücke dargestellt, so wie auch ein Theil des Grundrisses derselben.

Die besonderen Röhren, welche jede Linie durch die Brücke bildet, sind mit einander verbunden, so daß statt acht besonderer Röhren nur zwei parallele Röhren, jede von 1513 Fuß Länge entstanden sind. Für diesen Zweck wurden in den Thürmen kurze Längenstücke der Röhren errichtet und diese dann mit den Hauptröhrenlängen verbunden, nachdem diese letzteren ihre richtige Lage auf den Thürmen erhalten hatten. An den Stellen, wo diese Röhren durch die Thürme und Uferpfeiler gehen, ruhen sie einfach auf Walzen von Gußeisen, um im Fall einer Ausdehnung oder Zusammenziehung in der Länge, in Folge des Temperaturwechsels, diesem nicht hinderlich zu sein und nur in der Mitte, im Britanniathurm, liegen die Röhren fest. Dieselben können sich daher in ihrer ganzen Länge zusammenziehen oder ausstrecken.

Was die Construction der Röhren betrifft, so haben diese sowohl in ihrem oberen als auch in ihrem unteren Theile Zellen und zwar wie aus Fig. 851 zu ersehen (welche einen Querschnitt der Röhre darstellt), im oberen Theile acht und im unteren sechs Zellen. Die beiden Boden, welche die oberen Zellen unten und oben begränzen, bestehen aus 6 Fuß langen, 1 Fuß 9 Zoll breiten Eisenplatten, deren Dicke von der Mitte aus, wo sie $^3/_4$ Zoll beträgt, gegen die Enden hin allmälig bis auf $^5/_8$ Zoll abnimmt. Die senkrechten Platten dieser Zellen sind von gleicher Dicke wie die Boden- und Deckplatten, mit denen sie oben und unten mittelst Winkeleisen fest vernietet sind. An der ganzen oberen Seite stoßen die Platten an den Fugen genau an einander und sind mit doppelten Deckplatten verbunden. Die Winkeleisen in den Ecken der Zellen, welche bedeutend zum Widerstande gegen das Zerdrücken beitragen, sind auf dieselbe Weise sorgfältig zusammengefügt. Die Nieten in diesem Theile der Röhren sind 1 Zoll im Durchmesser und 3 Zoll von Mitte zu Mitte entfernt. Die Zellen sind quadratförmig und messen 1 Fuß 9 Zoll im Lichten. Die ganze Querschnittsfläche in den oberen Zellen beträgt 670 Quadratzoll. In Fig. 854 A und B ist diese Anordnung nach vergrößertem Maßstabe dargestellt.

Was den unteren Theil der Röhren betrifft, so mußte auf die Ausführung

desselben die äußerste Sorgfalt verwendet werden. Seine Querschnittsform gleicht derjenigen des oberen Theiles, mit dem Unterschiede, daß hier sechs Zellen angeordnet sind; ferner aber ist die Art und Weise der Zusammenfügung völlig verschieden von der des oberen Theiles; denn da der untere Theil der Ausdehnung ausgesetzt ist, so mußte darauf gesehen werden, daß durch Anordnung und Vertheilung des Materiales eine gleichförmige Stärke erhalten werde. Der ganze Boden der Röhre mußte hier ebenfalls aus einer großen Anzahl von Platten zusammengefügt und daher eine solche Verbindung hergestellt werden, daß die Fuge je zweier Platten an Stärke wo möglich der Platte selbst gleichkomme. Dies ließ sich nun natürlich nicht erreichen, und suchte man daher der Fugen so wenige als möglich zu erhalten, indem man größere Platten bis zu 12 Fuß Länge verwandte.

Um hier die nöthige Querschnittsfläche zu erhalten, wurde der untere Boden aus zwei Plattenlagen gebildet, die so angeordnet waren, daß die Fuge je zweier der unteren Platten genau der Mitte der oberen Platten entsprach; auf der offenen Seite wurde die Fuge mit einer Deckplatte von derselben Breite und Dicke bedeckt, wie solches in Fig. 856 angedeutet ist.

Das Nietensystem, welches an dem Boden der Conway- und Britanniabrücke befolgt wurde, ist von Fairbairn Kettennieter genannt worden, indem hier die Nieten hinter einander der Länge der Platte nach stehen. Um die Bodenplatten durch die vielen Nietenlöcher nicht zu schwächen, so wurden bei jeder Fuge der Breite nach nur vier Reihen von Nietenlöcher angeordnet, wodurch jedenfalls der Verlust an absoluter Festigkeit bedeutend vermindert wurde, als wenn man die gewöhnliche Art zu nieten hier angewendet hätte, wo dann der Breite nach mindestens zehn Nietenlöcher nöthig gewesen wären. Alle Deckplatten am Boden waren 2 Fuß 8 Zoll lang und eben so dick, als die dickere der beiden Platten, deren Fuge sie deckten. Die senkrechten Platten, welche die unteren Zellen von einander trennen, sind auf dieselbe Weise zusammengefügt. Diese Anordnung geht aus den Figuren 852 und 853 deutlich hervor, wo erstere Figur einen Theil des Längendurchschnitts und letztere einen Theil des Bodens der Britannia-Brücke darstellt. Die Zellen haben eine Höhe von 1 Fuß 9 Zoll und eine Breite von 2 Fuß 4 Zoll. Die Dicke der Bodenplatten wächst an den Enden, wo sie $^7/_{16}$ Zoll ist, gegen die Mitte, wo sie $^9/_{16}$ Zoll beträgt. Die senkrechten Platten sind an den Enden $^1/_2$ in der Mitte $^9/_{16}$ Zoll stark. Alle Nieten in diesem Theile der Röhre haben $1^1/_8$ Zoll Durchmesser. Die Querschnittsfläche in den unteren Zellen beträgt 517 Quadratzoll.

Was die Seitenwände der Röhren betrifft, so wurden diese von Fairbairn eigentlich nur als ein Mittel betrachtet, um den unteren und oberen Theil, welche beide augenscheinlich der größten Wirkung ausgesetzt sind, mit einander zu verbinden. Dennoch mußten sie bei möglichster Leichtigkeit eine hinreichende Steifigkeit besitzen, um den durch die Last darauf hervorgebrachten Wirkungen vollständig widerstehen zu können. Man construirte nun die Seitenwände der Röhren in folgender Weise:

Dieselben bestehen der Höhe nach abwechselnd aus 3 und 4 Platten, deren Breite 2 Fuß ist, und deren Dicke von der Mitte aus, wo sie $^8/_{16}$ Zoll

ist, gegen die Enden, wo sie $^{10}/_{16}$ Zoll ist, wächst. Die Verbindung der senkrechten Fugen wird durch 2 Tförmige Eisen, welche beiderseits über die Fugen genietet sind, gebildet, wie in Fig. 857 näher angedeutet ist. Gegen die Enden der Röhre hin oder vielmehr in der Nähe der Unterstützungspunkte sind die Seitenwandungen noch ferner verstärkt, indem bei jeder Fuge vier Winkeleisen aufgenietet sind, welche je zwei eine starke Platte zwischen sich haben, die senkrecht auf die Seitenfläche der Röhre steht. Diese Verstärkung ist an jedem der Enden etwa auf 60 Fuß angebracht und beträgt die Breite dieser Platten 9 Zoll. Jede sechste Rippe durch die ganze Länge ist mit einer Extraplatte inwendig verstärkt, welche die Ecke der T Eisenrippe trifft und vermittelst Nietnägel und Seitenplatten fest zusammengefügt ist. Fig. 858 zeigt die angedeutete Verstärkung der Rippen auf den Enden der Röhren.

Ferner sind die Enden der Röhren in den Thürmen noch durch gußeiserne Rahmen von beträchtlichen Dimensionen gesteift. Diese Rahmen bestehen aus horizontalen und verticalen Balken, die zusammengebolzt und an den Fugen in einander eingekerbt sind. Dieselben sind in den Figuren 859 näher angedentet.

Drei dieser Rahmen sind in jedes Ende jeder Röhre gebaut und zwischen Tförmigen Eisenrippen gelegt; dagegen die Theile der Röhre, welche durch die Thürme gehen, haben diese gußeisernen Rahmen in sich.

Unter jedem Ende jeder der vier Hauptröhren sind drei gußeiserne Riegelbalken angebracht, die, sobald die Röhre ihre bestimmte Höhe erreicht hat, in ihre bleibenden Plätze unter sie geschoben werden. Jeder dieser Balken hat eine Länge von 24 und eine Höhe von 4 Fuß. Fig. 859 A zeigt diese Balken im Querdurchschnitt. Dieselben ruhen wieder innerhalb der Mauer in gußeisernen Rahmen.

Diese eisernen Balken waren schon bei Erbauung der Thürme an ihre Stelle gebracht, bei Hebung der Röhren wurden sie aber nach auswärts und zwar nach der Seite hin geschoben und hier durch angebrachte Gerüste und schmiedeeiserne Hängebänder so lange in dieser Lage erhalten, bis die Röhren so weit gehoben waren, daß sie wieder untergeschoben werden konnten.

Auf diesen ebenerwähnten eisernen Tragbalken ruhen aber die Röhren nicht unmittelbar, sondern es liegen auf den Balken zunächst Rahmen, in denen gußeiserne Walzen sich befinden, die sich um ihre in dem Rahmen befestigten Achsen drehen, und auf diesen Rahmen ruhen dann die Röhren. Ein solcher Rahmen ist in Fig. 860 näher dargestellt. Die Walzen, deren in jedem Rahmen zwei Reihen angebracht sind, haben 6 Zoll im Durchmesser. Die Achsen drehen sich frei in Löchern, die in den schmiedeeisernen Rahmen gebohrt sind. Die Höhe dieses Rahmens ist geringer als der Durchmesser der Walzen, so daß derselbe mit den gußeisernen Platten, mit denen die Walzen ober- und unterhalb in Berührung kommen, nicht berührt werden. Die Construction ist in Fig. 861 A und B nach vergrößertem Maßstabe dargestellt.

Oberhalb ruhen die Enden der Röhren gleichfalls auf einem Apparat von gußeisernen Balken und Kanonenerzkugeln. Diese Anordnung ist folgende: Auf den vorspringenden Ecken von Querbalken, die in die Mauern des Thurmes gebaut sind, ruhen Längenbalken mit der Richtung der Brücke parallel. Diese

Längenbalken, welche auf die Querbalken befestigt sind, sind mit einem Canal in ihrer oberen Fläche versehen, in welchem sich die Kanonenerzkugeln, 6 Zoll im Durchmesser, frei bewegen. Unmittelbar hierüber liegen wieder Längenbalken mit einem gleichen Canal versehen. Ueber diese Längenbalken sind dann nach der ganzen Breite der Röhre Querbalken gestreckt und befestigt und an letzteren ist dann die Röhre mittelst 3 Zoll im Durchmesser haltender Schraubenbolzen, die an die oberen Theile der Seitenwände mittelst Nieten verbunden, befestigt. Diese Anordnung geht aus den Figuren 862 A u. B. näher hervor.

In den Figuren 864 und 865, welche einen Theil der Röhren mit den Verstärkungsrahmen in Querschnitt und Längendurchschnitt darstellen, ist die Anordnung des Ganzen deutlicher ausgedrückt und aus denselben das Nöthige zu entnehmen.

Wir haben nun zunächst das Nöthige über den Bau der Hauptröhren anzuführen. Es durfte die Wasserstraße durch Gerüste nicht beengt werden und sah man sich daher schon dieserhalb genöthigt, die Röhren an einem geeigneten Platze in der Nähe der Baustelle herzurichten. Man errichtete nun am Küstenrande eine Reihe von vier starken Gerüsten, um die Erbauung der vier Röhren gleichzeitig vornehmen zu können. Diese Gerüste wurden aus starken Pfosten errichtet und durch eine zusammenhängende dichte Bretterdecke bedeckt. An jedem Ende eines Gerüstes wurde ein Pfeiler aus Mauerwerk erbaut, welcher sich unter jedem Ende der Röhre auf eine Länge von 6 Fuß erstreckte. Sobald nun eine Röhre vollendet war, wurde die hölzerne Plattform entfernt und die Röhre von den beiden gemauerten Erdpfeilern ganz getragen. Hierauf wurde die Röhre flott gemacht, indem man bei niedrigem Wasser (bei der Ebbe) Pontons unter sie brachte und zwar in zwei Gruppen, an jedem Ende vier derselben. Diese Schiffe, welche flache Boden hatten, wurden je vier fest mit einander verbunden und hoben sich mit der Fluth und gleichzeitig auch die Röhre von ihren Stützen. Hatte man nun die Röhre auf den beiden Schiffsgruppen ruhen, so wurde sie an den Ort ihrer Bestimmung bugsirt, welche Arbeit sehr viel Geschick und Aufmerksamkeit erforderte. Als die Röhre am Fuße der Thürme angelangt war, wurde der Hochwasserstand abgewartet und sobald dieser eingetreten, die Röhre in die in den Thürmen befindliche Oeffnung eingeschoben. Um dies zu ermöglichen, war an dem einen Thurme ein Theil des Mauerwerkes, welches die Seiten des Einschnittes in demselben bildet, ausgelassen und zwar bis zu solcher Höhe, daß die Röhre eingelassen werden konnte. Nachdem nun die Röhre mit ihren Enden in die Einschnitte der beiden Thürme gebracht war, welche Arbeit während 15 Minuten ausgeführt werden mußte, weil während dieser Zeit die Fluth verweilt, ehe sie fällt, so senkten sich mit dem Abfließen des Fluthwassers auch gleichzeitig wieder die Pontons, auf welchen die Röhre lag. Die Röhre aber ruhte dann auf in den Einschnitten der Thürme gemauerten Vorsprüngen, von wo aus sie durch hydraulische Pressen in die Höhe gebracht wurde. Uebrigens waren die Pontons auch noch mit Klappen versehen, um Wasser einzulassen und augenblicklich zum Sinken gebracht werden zu können, sobald die Röhre die beiden Vorsprünge in den Einschnitten der Thürme

berührte und ein sofortiges Sinken der Schiffe, um ein Festliegen der Röhre herbeizuführen, nothwendig war.

Nachdem nun die Röhre auf diesen ihren temporären Landungsplatz gebracht war, blieb nur noch übrig, dieselbe auf die gehörige Höhe zu heben, was aber in Betracht der ungeheuren Last von 1300 Tons keine leichte Aufgabe war. Um diese Arbeit auszuführen, wurde nach reichlicher Erwägung beschlossen, auf jedem Pfeiler eine hydraulische Presse aufzustellen; da aber der Hub der Pressen nicht wohl größer als 6 Fuß gemacht werden konnte, so mußte auf ein Mittel gedacht werden, die Last zu unterstützen, während der Kolben der Presse herabgelassen und zu einem ferneren Hube mit der Röhre verbunden wurde. Dies erreichte man nun in folgender Weise: Am oberen Ende des Kolbens wurde ein sehr starkes Joch befestigt, an dessen beiden Enden starke Ketten angebracht waren, woran die Röhre hing. Die Länge der Kettenglieder wurde dem Hube des Kolbens gleich gemacht und dem oberen Theile dieser Kettenglieder die Gestalt Fig. 863 gegeben. Die durch Zusammenlegung mehrerer solcher Kettenglieder neben einander gebildete Kette erhielt an den einzelnen Gliedern Schultern a b, a′ b′, wodurch man Tragflächen erhielt, die, wenn sie gehörig unterstützt, vollständig im Stande waren, die an den Ketten hängende Last zu unterstützen. Auf dem obengenannten Joch C sowohl, als auch auf dem starken gußeisernen Balken, auf welchem die hydraulische Presse stand, waren gleitende Kammern angebracht, die genau in die Schultern an den Kettengliedern paßten und die, wenn sie zusammengeschraubt waren, die Ketten fest einklemmten (s. Fig. 859 bei c, c′).

Um nun die Röhre zu heben, wurden die Klammern auf dem Joche C zusammengeschraubt, dagegen die auf dem unteren Balken geöffnet und die Presse fing an zu arbeiten. Da nun die Länge der Kettenglieder gleich der Hubhöhe war, so kamen in demselben Augenblicke, wo der Kolben am Ende seines Hubes ankam, die Schultern der nächst unteren Kettenglieder zwischen die auf dem Balken befindlichen Kammern, welche nunmehr geschlossen wurden, wodurch die Ketten festgeklemmt waren. Hierauf wurden die auf dem Joche befindlichen Kammern geöffnet, der Kolben heruntergelassen, die auf dem Joche befindlichen Kammern geschlossen und die auf dem Balken befindlichen Kammern wieder geöffnet. Sobald nun der Kolben wieder gehoben war, wurde die eben beschriebene Arbeit wiederholt und so fortgesetzt, bis die Röhre bis zur bestimmten Höhe gehoben war.

Die vier Landröhren der Britanniabrücke dagegen wurden auf eigends dazu erbauten Gerüsten gleich an Ort und Stelle ausgeführt.

Die Schienen für die Eisenbahn sitzen auf zusammenhängenden Längenhölzern, die auf Stücken von Winkeleisen ruhen, die umgekehrt und durch 9 Zoll weite Platten von Eisen genietet sind. Diese sitzen auf der Ecke und sind quer über die Röhren in Zwischenräumen befestigt und durch verticales T Eisen in ihrer Lage gesichert.

Wir haben nunmehr noch die Befestigung der Zugketten an die Röhren zu erwähnen. Wie schon oben angeführt, sind die Enden jeder Röhre noch mit starken Rahmen von Gußeisen, die inwendig angebracht und mit den Röhren

selbst innig verbunden sind, verstärkt. In diese verticalen Rahmen waren wieder in der Mitte drei horizontale Rahmen*), die genau an die ersteren paßten, befestigt. An diese Rahmen waren dann die Ketten befestigt und zwar in der Art, daß die Kettenglieder auf ähnliche Weise mit Schultern versehen waren die gegen die unteren Wandflächen der horizontalen Rahmen sich preßten.

Ehe die Röhren an den Ort ihrer Bestimmung gebracht wurden, machte man nochmals ein Schlußexperiment und zwar mit der ersten Conway-Röhre selbst. Diese Röhre, welche eine Länge von 412 Fuß hat, eine Höhe von 25 Fuß 6 Zoll in der Mitte, und 15 Fuß Breite, und deren berechnetes Gewicht, einschließlich Schienen und gußeisernen Rahmen an den Enden = 1300 Tonnen beträgt, ruhte mit ihren Enden auf zwei Pfeilern, deren lichte Entfernung 400 Fuß betrug.

Durch das eigene Gewicht der Röhre von 1300 Tonnen wurde eine Durchbiegung von 7,91 Zoll verursacht. Diese vergrößerte sich durch eine Last von 95 Tonnen, welche während vier Stunden in der Röhre gelassen wurden, von 9,02 bis 9,25 Zoll. Bei einer Vermehrung der Last bis zu 154 Tonnen, vergrößerte sich die Durchbiegung bis 9,50 Zoll. Nachdem 301 Tonnen, ausschließlich des Gewichts der Röhre, in dieselbe eingelegt worden waren, zeigte sich eine Durchbiegung von 10,95 Zoll, so daß also die durch diese Last hervorgebrachte Durchbiegung im Ganzen nur 3,04 Zoll betrug. Nunmehr wurde aber das Experiment nicht weiter fortgesetzt, zumal man durch diese Belastung eine hinreichende Sicherheit erprobt hatte, um so mehr, da die eingelegte Last nicht über die ganze Röhre verbreitet worden, sondern nur immer in der Mitte und auf kleine Ausdehnungen. Das erste Gewicht von 95 Tonnen wurde auf einer Fläche von 70 Quadratfuß im Mittel der Röhre vertheilt; das zweite Gewicht auf eine Fläche von 105 Quadratfuß in der Mitte ausgebreitet und das letzte auf eine Fläche von 190 Quadratfuß in der Mitte.

Ferner stellte man Beobachtungen über die Wirkung der Sonnenwärme auf eine so große Eisenfläche an. Es wurden zu dem Ende bei Sonnenaufgang an einem hellen kalten Morgen eingetheilte Scalen angesetzt, und die Lage der Röhre genau angemerkt.

Zu Mittag, als die Sonne auf die Decke und auf eine Seite schien, wurde die Röhre nach dieser Richtung hin um 0,96 oder ziemlich um 1 Zoll gebogen. Bei Vergleichung der Durchbiegungen am Morgen vor Sonnenaufgang und zu Mittag, als die Temperatur bedeutend zugenommen hatte, ergab sich, daß eine Abnahme von $^7/_{10}$ Zoll oder ein eben so großes Emporgehen in der Mitte der Röhre stattgefunden hatte. Das Resultat dieses Temperaturwechsels war eine vermehrte Corripität in der Krümmung der Decke und des Bodens oder ein Heben der ganzen Röhre in der Mitte um 0,71 Zoll. Der Einfluß der Sonne war daher beträchtlich und die Wirkung der Wärme auf die Decke hatte durch die Verlängerung dieses Theils das ganze Gewicht der Röhre um etwa $^3/_4$ Zoll gehoben und dieselbe außerdem um ziemlich $^3/_4$ Zoll verlängert.

Auch wurden Beobachtungen angestellt, in wie fern starke Windstürme

*) In der Zeichnung Fig. 859 sind nur zwei solcher Rahmen angegeben.

auf die Röhren eine Wirkung äußern möchten. Bei einem starken Nordwestwinde, welcher unter einem Winkel von etwa 50 Grad auf die Röhre traf, wurde nach sorgfältiger Messung eine seitliche Durchbiegung von 0,23 Zoll bemerkt. Bei heftigen Windstößen, die auf die Röhre trafen, wurde dieselbe, obgleich merklich, doch nicht mehr als $^1/_4$ Zoll durchgebogen. Dies bestätigte vollkommen die vorhergefaßte Meinung hinsichtlich der seitlichen Steifigkeit der Röhren.

Am 21. October 1850 wurde dieses Riesenwerk, die Britannia-Brücke (die Conway-Brücke war schon früher der Benutzung freigegeben) eröffnet, wo dasselbe in der Hauptsache vollendet war, und nachdem man Tags vorher noch einmal eine Reihe Versuche mit derselben angestellt hatte.

Der erste Versuch bestand darin, daß man zwei Locomotiven durch die Röhre gehen und sie mitten in jeder Abtheilung halten ließ. Hierauf wurde ein Wagenzug mit 28 Wagen, die mit 280 Tonnen Kohlen belastet waren und zwei Locomotiven in die Röhrenabtheilungen gezogen und die Durchbiegungen notirt, welche bei dieser Belastung genau $^3/_4$ Zoll betrugen. Nachdem diese Versuche mehrfach wiederholt waren, ging der ganze Zug mit den beiden Locomotiven ungefähr eine englische Meile zurück, und schoß dann mit der größtmöglichsten Geschwindigkeit durch dieselbe, wobei sich ergab, daß die Durchbiegung und Schwingung bei dieser enormen Geschwindigkeit und Belastung bedeutend geringer waren, als wenn der Zug in der Röhre stehen blieb.

Der Apparat, durch welchen die Wirkung des Zuges auf die Röhrenbrücke genau angezeigt wurde, bestand in einer großen mit Wasser gefüllten Röhre, welche in die unteren Zellen der Röhrenbrücke gelegt war, von deren Enden das eine in der Mitte derselben aufwärts stand, während das andere auf dem Mauerwerke der Pfeiler befestigt wurde. Beide Röhrenenden waren mit Glasröhren und Scalen versehen, wodurch der jedesmalige Wasserstand genau beobachtet werden konnte.

Aus späteren Beobachtungen geht ferner noch hervor, daß die heftigsten Winde, welche durch die Meerenge ziehen, an keinem Röhrenstücke eine große Bewegung hervorbringen. Die stärksten Windstöße versetzten die Röhren in Schwingungen, welche nicht mehr als $^1/_4$ Zoll betrugen. Sturmwind, welcher senkrecht auf die Röhrenrichtung traf, verursachte Schwingungen von weniger als einem Zoll Größe. Diese Beobachtungen wurden angestellt, als die beiden neben einander liegenden Röhren noch nicht durch Rahmen mit einander verbunden waren, was aber jetzt geschehen ist, wodurch diese Bewegungen fast ganz aufgehört haben. Die Wirkung der Mittagssonne bewegte die Röhren nicht mehr als $^1/_4$ bis $^3/_8$ Zoll, und wechselte die tägliche Ausdehnung und Zusammenziehung der Röhre von $^1/_2$ bis 3 Zoll, wobei die größte Kürze Morgens um 3 Uhr und die größte Länge Nachmittags um 3 Uhr statt fand.

Wir haben hier wegen des beschränkten Raumes nur die Hauptdaten dieser beiden großartigen Brücken angegeben. Wer sich aber noch genauere Einsicht verschaffen will, dem empfehlen wir die Durchsicht des Werkes: An account of the construction of the Britannia and Conway Tubular-Bridges by W. Fairbairn, in welchem die einzelnen Theile sehr ausführlich dargestellt sind.

Fünftes Capitel.

§. 20. Die gußeisernen armirten Trägerbrücken.

Die bisher angeführten Beispiele von Brücken, bestanden entweder vorzugsweise von Guß- oder von Schmiedeeisen, und diente das bei der ersteren Art angewendete Schmiedeeisen in Form von Bolzen, Schienen oder Schrauben nur dazu, um die einzelnen Constructionstheile, woraus das Ganze zusammengesetzt wurde, mit einander zu verbinden. Bei den gußeisernen armirten Trägerbrücken aber finden wir das Guß- und Schmiedeeisen in solcher Art und Gestalt angewendet, daß das letztere nicht allein zur Verbindung der einzelnen aus Gußeisen bestehenden Theile dient, sondern man sucht durch dasselbe außerdem noch eine ausreichende Stärke für die Gußeisenconstruction zu erreichen, indem man davon Armirungen herstellt, die mit dem gußeisernen Träger verbunden sind, so daß also die Stärke des einen Materiales die des anderen ergänzt.

Wir haben schon weiter oben darauf aufmerksam gemacht, wie schwierig es ist, Gußeisen und Schmiedeeisen so mit einander zu verbinden, daß sie beim Tragen der Last vollkommen gleichmäßig wirken. Dies ist aber schwerlich oder man kann wohl sagen, gar nicht zu erreichen, weil beide Materialien rücksichtlich ihrer absoluten Festigkeit, Elasticität und Verschiebbarkeit ihrer kleinsten Theile gegen einander sich so verschieden verhalten. Nichts desto weniger findet man dennoch mehrfache Beispiele in dieser Art.

Die größte Brücke dieser Art ist wohl die gußeiserne Trägerbrücke über den Deefluß in der Chester-Holyhead-Eisenbahn, welche in den Figuren 866 — 869 näher dargestellt ist. Dieselbe hatte drei Oeffnungen und bildete ihre Längenachse mit der Richtung des Stromes einen Winkel von 51 Grad. Die rechtwinkelige Entfernung der zum Stromstrich parallelen Pfeiler betrug 72 Fuß, während die Entfernung nach der Richtung der Eisenbahn gemessen eine Länge von 98 Fuß ausmachte, welche Länge auch zugleich die freiliegende Länge der Brückenträger war. Die ganze Länge eines Trägers betrug 107½ Fuß und war aus drei Theilen zusammengesetzt und zwar so, daß die Endstücke 37¼ Fuß und das Mittelstück 33 Fuß Länge hatten; ferner hatten sämmtliche Stücke ringsum angegossene Flanschen. Diese Stücke waren an ihren Enden verbunden, und zwar wurde die Verbindung mit verticalen Stößen durch starke Schraubenbolzen von 1½ Zoll Durchmesser, welche durch die Flanschen hindurchgingen, erreicht. Auf die Oberkante jedes Stoßes war ein segmentförmiges Sattelstück von 13 Fuß Länge, 2 Fuß, 6½ Zoll Höhe angebracht, welches ebenfalls ringsum mit angegossenen Flanschen versehen war und unterhalb zwei keilförmige Vorsprünge hatte, die in entsprechende Vertiefungen an den Trägerstücken eingriffen. Diese Sattelstücke waren mit 1 und 2 Zoll starken Schrauben und Muttern fest an die Oberrippe (obere Flansche) des Trägers angeschraubt. Ferner war an der Unterseite der Träger auf jedem

Stoß eine 3 Zoll starke Platte h von Schmiedeeisen angebracht, die mit schwalbenschwanzförmigen Einschnitten gegen eben so geformte Vorsprünge des Trägers sich legten und mit 2 Zoll starken Keilen fest angetrieben wurden. In die zusammengepaßten Stöße der Gußeisentheile wurde beim Zusammenschrauben Filz gelegt, um überall eine vollkommene Berührung der Flächen zu erreichen (s. Fig. 867).

Außer den segmentförmigen Sattelstücken auf den Stößen waren ähnliche Aufsatzstücke auf jedem Ende des Trägers angebracht. Sie waren ebenfalls auf der oberen Flansche des Trägers festgebolzt und hatten an ihren Enden schmiedeeiserne Bänder, um zu verhindern, daß sie gehoben würden. Diese quadratförmigen Aufsatzstücke hatten den Zweck, die schmiedeeisernen Zugschienen b b, die zur Armirung der Träger dienten, zu tragen. Diese Ketten bestanden auf jeder Seite des Trägers aus einem Satze von 8 parallelen 6 Zoll hohen und $^5/_{16}$ Zoll starken Schienen, durch deren an ihren Enden befindlichen Augen und durch Löcher in den Aufsatzstücken selbst 3 Zoll starke Bolzen a hindurchgingen. Die letzteren fanden an ihren Enden außerdem noch eine Unterstützung durch 2 Schraubenbolzen c c, welche dieselben mit ihrem einen Ende umfaßten und mit ihrem anderen Ende, woran ein Schraubengewinde war, mittelst einer Mutter gegen ein hinter dem Aufsatzstücke liegendes Gußstück d angezogen wurden. Die Zugschienen hatten an ihrem anderen Ende einen Bolzen e, welcher durch sie und die Verticalrippe des Trägers an der Stelle des Trägers so hindurch ging, daß sowohl in verticaler als horizontaler Richtung des Trägers einiger Spielraum blieb. Diese von beiden Enden des Trägers geneigt herabgesenkten Zugschienen wurden durch horizontale Schienen f von denselben Dimensionen verbunden. Diese letzteren Schienen lagen zur Verticalrippe des Trägers parallel und etwas höher als die untere Flansche desselben. Auf den Bolzen e, welche diese Schienen kuppelten, steckten schmiedeeiserne Tragebolzen g, g mit Gewinden und Muttern am Unter- und mit Augen am Kopfende, welche durch die durchgebohrte untere Flansche des Trägers hindurch reichten und unter dieser eine schmiedeeiserne Platte h faßten, so daß die Zugschienen auf die untere Flansche der Träger herab und umgekehrt, die untere Flansche gegen die Schiene hinaufgeschraubt, und somit erstere in eine Spannung gebracht werden konnten. Dieses Heraufschrauben der Träger konnte so weit ausgedehnt werden, daß die Träger selbst eine Krümmung nach oben erhielten. Um aber dieses gehörig bewerkstelligen zu können, waren die Bolzenlöcher in dem gußeisernen Träger größer als die 3zölligen Bolzen gegossen, so zwar, daß nach oben ein Spielraum von $2^1/_2$ Zoll und in horizontaler Richtung von $^1/_2$ Zoll blieb (s. Fig. 868).

Die gußeisernen Träger bestanden, wie schon erwähnt, aus drei Theilen. Dieselben bestanden im Querschnitt aus einer verticalen Rippe und zwei horizontalen Flanschen oder eigentlich Rippen (Ober- und Unterippe). Die Oberrippe war 7 Zoll breit und nahe 2 Zoll dick; die Verticalrippe war 40 Zoll hoch und 2 Zoll dick; die Unterrippe dagegen 24 Zoll breit und $2^3/_4$ Zoll dick; so daß demnach die ganze Querschnittsfläche eines Trägers in der Mitte 160 Quadratzoll betrug.

Nach der Breite der Brücke lagen 4 Träger, auf denen und zwar auf je zwei ein Eisenbahngeleise ruhte. Die Entfernung von je zwei ein Paar bildenden Trägern betrug 12 Fuß von Mitte zu Mitte und waren diese durch 13 schmiedeeiserne Queranker von 4 Zoll und 1 Zoll Stärke, die in schwalbenschwanzförmigen, an die Unterrippen angegossenen Schuhen mit Keilen befestigt waren, mit einander verbunden (s. Fig. 869). Die in der Mitte der Brücke dicht neben einander liegenden Träger waren nicht mit einander verbunden.

Eichene Querbalken, welche die Querschwelle der Bahn bildeten, waren lose auf die Unterrippen der beiden Träger, ungefähr 3 Fuß von einander, gelegt.

Am 24 Mai 1847 beim Uebergang eines Eisenbahnzuges brach nun einer der Träger und der Zug stürzte mit Ausnahme der Locomotive und eines Tenders in den Fluß hinab. In Folge dieses Unfalls wurden sehr genaue Untersuchungen über die Ursache des Einstürzens angestellt und zu diesem Behufe mehrere Ingenieure aufgefordert, diese Arbeit zu unternehmen und das Resultat in Gutachten mitzutheilen. Die verschiedenen Gutachten enthalten manches sehr Interessante und wollen wir daher das Hauptsächlichste aus denselben mittheilen. Die beiden Ingenieure J. Walker und Capitain Simmons stellten im Auftrage der Eisenbahn-Commissarien Untersuchungen über den Unfall und überhaupt über die Construction an. Nach ihrer Meinung war das Brechungsgewicht jedes Trägers zu 80 Tons, in der Mitte des Trägers angebracht, anzunehmen, so daß also die Stärke eines Trägerpaares bei gleicher Vertheilung der Last über die ganze Fläche 320 Tons betragen würde. Nähme man nun 180 Tons als die größte wirkliche Belastung an, so verhalte sich diese zum Brechungsgewichte wie 18 : 32 oder $4\frac{1}{2} : 8$. Um aber eine Last von 180 Tons permanent und sicher zu tragen, müßte das Brechungsgewicht $= 3 . 180 =$ 540 Tons statt 320 Tons ausmachen.

Das in der Gießerei aufgelegte Gewicht, unter welchem sich die Träger um $2\frac{1}{2}$ Zoll einbogen, betrug 50 Tons oder 25 Tons für jeden Träger, welches Gewicht aber geringer war, als die regelmäßige tägliche Belastung, so daß also dasselbe nicht als ein Beweis der Stärke, wohl aber als eine Probe für die Tüchtigkeit des Gußes angesehen werden konnte.

Jede der Zugschienen war durch den gußeisernen Träger an vier Punkten hindurchgebolzt, so daß die Schwingungen dieser Zugketten beim Uebergange von Lasten, durch ihre Verbindung mit dem steifen Träger in hohem Maße aufgehoben wurden. Nichts desto weniger fand aber bei dieser Construction der Umstand statt, daß, wenn die schmiedeeisernen Schienen gleichzeitig wirkten, diese ausgedehnt und verlängert wurden, während sich der gußeiserne Träger nicht in dem Maße ausdehnen konnte. Dieser Umstand rührt in Folge der verschiedenen Richtungen her, nach welchen das Gewicht wirkt, indem auf die Schienen ein Druck oder Zug in der Längenrichtung, auf den Trägern aber ein Druck rechtwinkelig gegen die Länge stattfindet.

Bei dieser Construction wirkt aber ein Druck auf die Träger gleichzeitig auch auf die Verkürzung der Entfernung zwischen den beiden Aufhängepunkten

der Zugschienen, indem er das Ende, woran letztere befestigt sind, hinabzieht. Da nun diese Enden in einiger Höhe über der Oberkante des Trägers liegen, so ist der Hebelsarm der Zugschienen so groß, daß ein Vorwärtsschieben des Befestigungspunktes die Folge ist. Dies wurde genau beobachtet und man fand, daß bei einer Belastung der Brücke von 48 Tons der Aufhängepunkt auf einer Seite sich um $^7/_{16}$ Zoll verrückte. Fand nun dasselbe auch bei dem andern Aufhängepunkte statt, so ergab sich zwischen beiden eine Verkürzung von $^7/_8$ Zoll und in Folge dessen mußten die Zugschienen verhältnißmäßig gelüftet werden.

Wenn nun im Anfange Guß- und Schmiedeeisen zusammen wirken, was die Bedingung für die größte Stärke der Brücke ist, so wird dennoch bei einer Belastung verhältnißmäßig der größere Theil des Druckes auf das Gußeisen übertragen und hier eine Durchbiegung erzeugen. Die verticalen Tragbolzen, welche durch den Träger hindurch gehen, müssen dann angezogen werden, in Folge dessen dann der Träger in der Mitte gehoben wird. Dieses Anziehen der Bolzen wurde auch gleich bei der ersten Adjustirung der Brücke, bevor die Stützen weggenommen wurden, in Anwendung gebracht. Da das eigene Gewicht der Träger schon eine Abweichung von der geraden Linie verursachte, so hob man die Träger in der Mitte mittelst Keilen oder auf andere Weise, bis sie etwa 2 Zoll nach oben gekrümmt waren, und brachte darauf die Tragstangen und Zugschienen an. Zeigte sich dennoch eine Durchbiegung, so setzte man das Anschrauben der Tragbolzen so lange fort, bis die Unterippe der Träger mit dem Durchsteckbolzen oder den Zugschienen in Berührung kam, was zur Zeit der Untersuchung mit den meisten Trägern der Fall war. Sobald aber der Träger so hoch gehoben war, daß die Bolzen entweder die Unterrippe oder die Unterkante der im Träger angebrachten Löcher berührten, so hatte man kein weiteres Mittel mehr zum Adjustiren der Träger.

Die Berichterstatter bemerken nun weiter, daß sie zwar nicht mit Gewißheit annehmen könnten, daß die Ketten wirklich schlaff gewesen seien, doch sei es nach den obigen Gründen als höchst wahrscheinlich anzunehmen, daß vor dem Unfalle der Träger selbst die ganze Last zu tragen gehabt habe. Sie sprachen ihre Ansicht ferner dahin aus, daß in praktischer Hinsicht die Zugschienen nur wenig leisten, oder doch, daß man sich auf dieselben nur wenig verlassen darf, vielmehr in Fällen dieser Art die gußeisernen Träger für sich allein ohne dieselben eine ausreichende Stärke besitzen müssen.

Außerdem findet hier noch eine rüttelnde und oscillirende Bewegung statt, die durch die mit großer Geschwindigkeit hinübergehende Maschine erzeugt wird. Wenngleich nun deren Wirkung nicht in Rechnung zu stellen ist, so ist dieselbe nichts desto weniger doch eine sich stetig wiederholende Kraft, die einen starren Körper, wie ein gußeiserner Träger ist, zu schwächen und zu beschädigen strebt. Dazu kommen noch ferner die Schwingungen des Trägers beim Uebergange der Maschine, welche Schwingungen so stark waren, daß Capitain Simmons die Kante des Trägers nicht scharf unterscheiden konnte.

Bei weiterer Untersuchung fand sich, indem man eine Maschiene mit Tender, von etwa 60 Tons Gewicht, über den stehend gebliebenen Theil der Brücke

mit einer Geschwindigkeit von 15 Meilen in der Stunde gehen ließ, eine Durchbiegung von $^7/_8$ bis $1^1/_{16}$ Zoll. Als man aber eine Maschine von 48 Tons daraufbrachte und dieselbe darauf stehen ließ, ergab sich eine Durchbiegung von 2,4 Zoll.

Ein anderer Umstand der hier noch gerügt wurde, war der, daß man bei der Construction der Brücke die ganze Belastung auf eine Seite der Unterrippe der Träger gebracht hatte, indem hierdurch ein Bestreben entstünde, den Träger in der Verbindungslinie zwischen Unter- und Verticalrippe zu verdrehen, die Unterrippe abzubrechen und die Träger mit den Oberrippen einander zu nähern.

Das Ergebniß einer Anzahl Versuche, welche Capitain Simmons zur Bestimmung der Größe dieses Bestrebens machte, war, daß die Oberrippen zweier Träger bei einer Belastung von 48 Tons, welche gleichmäßig darüber vertheilt wurden, mit ihren inneren Kanten um 1 bis 2 Zoll einander näher gerückt wurden.

Weiter heißt es, als Ergebniß der obigen Einzelheiten kann nunmehr angesehen werden:

1) daß die Brücke hinreichend stark war, wenn man annimmt, daß Schmiede- und Gußeisen zusammenwirken und jedes seinen verhältnißmäßigen Theil zu tragen bekommt;
2) daß es aber äußerst schwierig ist, diese gemeinschaftliche Zusammenwirkung zu erreichen, und daß, wenn diese das Constructionsprincip der Brücke ist, solches nicht zu billigen ist;
3) daß weder das Schmiedeeisen noch das Gußeisen, für sich allein genommen, für eine vollkommene Widerstandsfähigkeit ausreichend war, und daß, um letzteres zu erreichen, die gußeisernen Träger für sich allein Stärke genug besitzen müssen, um mit einem großen Ueberschusse für die verschiedenen nachtheiligen Umstände das ganze Gewicht zu tragen.

Als unmittelbare Ursache des Einsturzes wird nun Folgendes angenommen: Da die Brücke vorher größere Lasten getragen hatte, ohne von Unfällen begleitet zu sein, so ist es in diesem Falle nicht unwahrscheinlich, daß ein Schienenende vor dem andern vorgestanden und von der Maschine getroffen worden oder daß der Tender aus den Schienen gerathen nnd seitwärts gegen den Träger gestoßen ist. Die Ingenieure, welche von der Eisenbahngesellschaft hinzugezogen, waren der Meinung, daß der Bruch einer Zugschiene zunächst dem Tender, das aus dem Träger herausgebrochene Stück und die Beschädigung am Landpfeiler bestätigten, und sei der Unfall durch den aus den Schienen gerathenen Tender, der hierbei stark gegen den Träger gestoßen, veranlaßt. Daß der Tender oder der Wagen hinter diesem aus den Schienen gerathen und die Brustwehr des Landpfeilers beschädigt habe, sei außer Zweifel, und wenn der Tender seitwärts gegen den Träger stieß, während dieser unter dem Einfluß einer starken Spannung stand, so sei auch ein Bruch die wahrscheinliche Folge davon. Es setze dies jedoch voraus, daß der Tender aus einer anderen Ursache, als durch den Bruch des Trägers aus den Schienen gerathen sei.

Die Berichterstatter sagen ferner:

Unsere eigene entschiedene Meinung, gegründet auf die vorangeschickte Aus-

einandersetzung der Stärke der Träger und auch die vorgefundene Lage der gebrochenen Trägerstücke, woran beide Hälften sich in gerader Linie oder doch beinahe in einer solchen fanden, so nämlich, daß sie nur eine kleine Neigung gegen einander hatten, ist, daß der erste Bruch in der Mitte und nicht in dem nahe am Brückenpfeiler befindlichen Theile des Trägers statt hatte. Zur Bekräftigung dieser letzteren Ansicht sei noch der Umstand anzuführen, daß man unmittelbar vor dem Einsturz ein permanentes Gewicht von 18 Tonnen Bruchsteine auf die Brücke gebracht habe, und die Thatsache, daß, wenn eine theils permanente, theils vorübergehende, doch zusammen einen beträchtlichen Theil des Brechungsgewichts ausmachende Last, zugleich wirke, flache gußeiserne Träger leiden und in ihrer Stärke bedeutend abnehmen; daß ferner, wenn das Moment des vorübergehenden Gewichts durch eine Unregelmäßigkeit in den Schienen oder durch die Bewegung der Maschine vergrößert wird, welchem auch die am besten gebauten und unterhaltenen Eisenbahnen ausgesetzt sind, ein Bruch gleichfalls die Folge davon sein wird.

Hierin und in noch anderen über diese Brückenconstruction aufgestellten Gutachten ist es genügend ausgesprochen, daß die einzelnen Träger zu schwach waren. Ueberhaupt war es bei dieser Construction schon ein sehr nachtheiliger Umstand, daß die Aufhängepunkte der armirenden Schienen in den Trägerenden selbst lagen; denn es brauchte hierbei gar keine Verlängerung der Schienen statt zu finden, sie gaben bei Durchbiegung der Träger schon ganz von selbst nach, indem mit dem Durchbiegen der Träger auch gleichzeitig ihre Enden sich näherten und in Folge dessen die Schienen nachgaben. Es waren also hier die Armirungsschienen überflüssig. Ein anderer Fall wäre es gewesen, wenn die Aufhängepunkte dieser Schienen, wie bei anderen Brücken von Stephenson, außerhalb der Construction angebracht gewesen, und zwar etwa in die Enden anstoßender Träger, in welchem Falle dann die Belastung gleichzeitig mit auf die benachbarten Träger übertragen worden wäre. Allein auch dann bleibt eine solche Construction immer mißlich, indem die verschiedenen Eigenschaften des Guß- und Schmiedeeisens eine gleichmäßige Wirkung verhindern; denn die schmiedeeiserne Armirung kann sich, sowohl durch Belastung als durch Erwärmung verhältnißmäßig bedeutend verlängern und ausdehnen ohne erheblichen Nachtheil zu erleiden, was aber bei dem Gußeisen durchaus nicht der Fall ist.

Es ist daher immer nothwendig, daß im Fall der Anwendung einer solchen Construction der gußeiserne Träger schon an und für sich eine solche Tragkraft besitze, daß er ohne die schmiedeeiserne Armirung die darauf zu bringende Belastung mit voller Sicherheit zu tragen im Stande ist, in welchem Falle aber dann die Armirung von Schmiedeeisen überflüssig ist. Keinenfalls aber darf man die Querschnittsform des gußeisernen Trägers in solchen Abmessungen wählen, daß derselbe durch Hinzufügung der schmiedeeisernen Armirung erst die hinreichende Festigkeit erhalte, indem er dann keineswegs eine genügende Sicherheit darbietet.

Ein Paar andere ebenfalls streng genommen hierher gehörige Beispiele

sind die in den Figuren 870 und 875 dargestellten Brücken, die wir in Folgendem näher beschreiben wollen.*)

Die in den Figuren 870—874 dargestellte Brücke ist eine schiefe Brücke von 70 Fuß Weite, welche auf der thüringischen Bahn über den Mühlgraben bei Weißenfels ausgeführt worden ist.

Die Construction dieser Brücke unterscheidet sich sehr wesentlich von der vorherbeschriebenen, ganz abgesehen von der größeren Weite, welche diese hatte. Bei dieser ruhte die Brückenbahn auf den unteren Rippen zweier horizontaler Träger, die mit ihren Enden auf den Pfeilern und Widerlagern ruhten und mittelst schmiedeeiserner Zugschienen verspannt wurden, welche Construction zum größten Theil oberhalb der Brückenbahn befindlich war. Bei der jetzt vorliegenden Brücke besteht aber die Construction aus einem Sprengwerk von Gußeisen und werden die Sprengstreben hier durch schmiedeeiserne Zuganker zusammen gehalten. Ferner aber sind hier 6 Sprengwerke angeordnet, um zwei Bahngeleise zu tragen, wo dagegen bei oben beschriebener Brücke nur 4 horizontale Träger über jeder Oeffnung vorhanden und diese noch so angeordnet waren, daß immer zwei und zwei für sich allein bestanden, und daher die Belastung immer von zwei Trägern getragen wurde, wo dagegen in dem vorliegenden Beispiele die Belastung schon immer auf eine größere Anzahl Träger vertheilt wird.

Jedes einzelne Sprengwerk ist aus 5 Stücken zusammengesetzt. Um nun ein Verschieben der einzelnen Stücke bei einer übergehenden Belastung zu verhindern, so hat man noch in jedem Sprengwerke eine Kreuzverbindung von schmiedeeisernen Stangen angebracht. Zunächst sind aber die beiden Sprengstreben durch ein starkes Zuganker mit einander verbunden, an dessen beiden Enden Schraubenspindeln sind, die durch den Fuß jeder Sprengstrebe hindurch gehen und auf welchen außerhalb eine starke Mutter aufgeschraubt ist, durch deren stärkeres Anschrauben die Spannung vergrößert wird. In der Mitte ist dieses Zuganker wieder durch zwei Hängeeisen (s. Figur 872) mit dem Spannriegel oder der Spannrippe des Sprengwerks verbunden. Diese beiden Hängeeisen sind wieder durch Kreuze von $1\frac{1}{2}$zölligem Rundeisen mit einander verbunden. Außerdem gehen von den beiden Verbindungspunkten der Hängeeisen mit dem Zuganker jedesmal wieder Zugeisen nach jedem oberen Ende eines Sprengwerks und zwar durch eigends dazu vorgerichtetete Löcher in den Streben und der oberen Rippe des Sprengwerkes. An dieser Stelle haben diese Eisen auch wieder Schraubenspindeln, worauf Muttern aufgeschraubt sind, durch deren stärkeres Anschrauben die Spannung erhöht wird. Die Sprengwerke sind $1\frac{1}{2}$ Zoll im Eisen stark, im mittleren Theile 2 Fuß 6 Zoll, in den Doppelstreben 1 Fuß 4 Zoll hoch mit 6 Zoll breiten oberen und unteren Rändern. Die schmiedeeisernen Zuganker sind von Rundeisen und 2 Zoll stark.

Die Querverbindung ist hier durch Röhren hergestellt, wie in den Figuren 873 und 874, welche einen Theil des Querschnitts und Grundrisses nach ver-

*) Ferner gehört hier auch streng genommen die in den Figuren 636—640 dargestellte Hängewerksbrücke her, so wie auch die in den Figuren 708—714 dargestellte Brücke.

größertem Maßstabe darstellen, angegeben ist. Es ist nicht zu verkennen, daß der Zweck, eine solide Ueberbrückung herzustellen, hier jedenfalls mit einem bedeutenden Aufwande an Material erreicht ist und daß man dasselbe mit geringerem Aufwande würde erreicht haben, wenn man entweder nur Schmiedeeisen oder auch nur Gußeisen angewendet hätte (wobei natürlich die Bolzen und Schrauben von Schmiedeeisen mit inbegriffen sind).

Die Verwendung des Schmiedeeisens ist hier jedenfalls sehr luxuriös gewesen und sie würde keinenfalls ein Verschieben der Construction verhindern, wenn diese nicht an und für sich stark genug wäre, um der Belastung Widerstand leisten zu können. Denn wäre die Construction nicht von solcher Beschaffenheit, so würden die Zuganker einem Verschieben der einzelnen Theile des Sprengwerks nicht vorbeugen, sondern zunächst würden die schrägen Zugeisen, welche zu jeder Seite durch die Doppelstreben gehen, entweder vorbiegen oder es würde dadurch verursacht werden, daß das Gußeisen an dieser Stelle ausbräche. In solchem Falle würde aber die Construction bei Entfernung der Last nicht wieder ihre ursprüngliche Gestalt annehmen, sondern jedenfalls in der Form verbleiben, welche sie während der Belastung gehabt. Ein Nachschrauben der Zuganker würde auch wenig nützen und dann auch immer nur für eine kurze Zeit, indem mit großer Sicherheit anzunehmen ist, daß das Schmiedeeisen nicht allein durch darauf einwirkende Wärme als auch durch Kraft, welche die absolute Festigkeit desselben in Anspruch nimmt, wieder ausgedehnt werden würde.

Würde überhaupt die absolute Festigkeit des Schmiedeeisens hier sehr bedeutend in Anspruch genommen, so würde die Anordnung der schrägen Zugeisen von der Mitte aus nach den oberen Endpunkten der Rippe gehend, nicht sehr zweckmäßig sein. Denn durch eine, wenn auch nur geringe Ausdehnung, würden dieselben nicht in ihrer jetzigen Lage bleiben können, sondern entweder mit ihren äußersten Endpunkten heraustreten oder eine Krümmung annehmen, die aber nachtheilig werden würde, sobald die Belastung entfernt wäre und alsdann die Construction ihre ursprüngliche Gestalt wieder annehmen sollte. Im anderen Falle würden sie aber anfänglich zur größeren Festigkeit der Construction wenig beitragen und zwar nur erst dann, wenn die frühere Senkung so weit eingetreten, daß die Schraubenmuttern dicht gegen die eisernen Platten lägen.

Der eben beschriebenen Brücke ganz ähnlich ist die in den Figuren 875 bis 878 dargestellte Brücke über die Luppe bei Leipzig. Diese Brücke hat zwei Oeffnungen, jede von 40 Fuß Weite.*)

Jede Oeffnung enthält 5 Sprengwerke, von denen diejenigen Theile, deren relative und rückwirkende Festigkeit in Anspruch genommen wird, von Gußeisen, und diejenigen, deren absolute Festigkeit in Frage kommt, von Schmiedeeisen sind.

Die gußeisernen Streben und Spannriegel sind 1 Fuß hoch, $1\frac{1}{2}$ Zoll stark und oben und unten mit einer 6 Zoll breiten Verstärkungsrippe versehen. Die den Streben angegossenen dreieckigen Füllstücke haben Durchbrechungen

*) Försters Bauzeitung 1848.

und auf der oberen Verstärkung, gleich den Spannriegeln, erhöhte Ränder, zwischen welchen die Querbalken ein sicheres Auflager finden.

Die Lage der Sprengwerke wird durch gußeiserne Mauerplatten genau normirt. Sie endigen an diesen Auflagern mit einer röhrenförmigen Oeffnung darüber, durch welche ein zwei Zoll starkes schmiedeeisernes Rundeisen gesteckt und hinten befestigt wird. Dieses Rundeisen endet auf der anderen Seite mit einer Oese zwischen zwei Platten, desgleichen auch die Hängeeisen und die dazwischen eingesetzten Kreuze, welche von $1\frac{1}{2}$ zölligem Rundeisen construirt sind. Außerhalb dieser Platten, ebenfalls am Bolzen, sitzen die beiden parallelen Eisenstangen, durch welche die horizontale Längenverbindung erst vollständig wird.

Die Querverbindung zwischen je zwei Sprengwerken wird durch 4 gußeiserne Röhren bewirkt, durch welche Eisenstangen von Stirn zu Stirn reichen und dort durch Schraubenmuttern angezogen werden.

Was diese Construction betrifft, so gilt auch hier in vielfacher Beziehung das bereits beim vorigen Beispiele Angeführte; denn wenn hier auch durch ein scharfes Anziehen der in den Enden der Zuganker befindlichen Schraubenmuttern eine große Spannung in die tragenden Theile gebracht werden kann, so darf eine solche Spannung doch nicht weiter hervorgebracht werden, als daß die Fugen zwischen den einzelnen Theilen des Sprengwerks vollständig schließen. Wollte man darüber hinaus gehen, so würde bei einer Durchbiegung in Folge einer darüber gehenden Last die Construction eben wohl leiden, indem dann die Constructionstheile mit großer Kraft ihre frühere Lage wieder einzunehmen bestrebt sein würden. Daß hierbei die schwächeren Fugentheile leiden, liegt klar auf der Hand. Berücksichtigt man aber noch ferner, daß bei dieser Belastung die absolute Festigkeit des Zugankers ebenfalls bedeutend in Anspruch genommen wird und die horizontale Kraft, welche darauf wirkt, so groß werden kann, daß eine Ausdehnung erfolgt, so muß das Obengesagte auch hierauf vollständig Anwendung finden.

Es sind nun zwar in dieser Art schon viele Brücken gebaut, allein dies spricht noch keineswegs für die große Zweckmäßigkeit der Construction und zwar um so weniger, da bis jetzt bei allen Ausführungen die Abmessungen nach der Breite und Höhe so stark gewählt wurden, daß ein guter Erfolg erreicht werden mußte. Versuche bis wie weit man eine Ersparung von Material hierbei erzielen kann, sind noch bis jetzt nicht gemacht, wenigstens nicht in der Art, daß sich daraus wichtige Schlüsse ziehen ließen; ferner aber würde es auch bei der verschiedenen Beschaffenheit des Guß- und Schmiedeeisens sehr schwierig sein, beide Arten von Eisen in der Art und in solcher Stärke anzuwenden, daß die Festigkeiten beider Materialien sich gegenseitig so unterstützten, daß alle Veränderungen, welche durch Temperaturwechsel an den Materialien hervorgebracht würden, ohne Nachtheil und überhaupt ohne weiteren Einfluß auf die Construction wären. Allein um dies zu erreichen, müßte man im Stande sein, die Länge der Verbindungsstangen so adjustiren zu können, daß trotz einer Verlängerung dennoch ein gleichmäßiges Tragen der Last erhalten würde.

Sechstes Capitel.

§. 21. Die Drehbrücken.

Die Drehbrücken, wovon hier die Rede sein soll, können sowohl von Schmiedeeisen als auch von Gußeisen hergestellt werden, und hat man dabei sehr verschiedenartige Constructionen angewendet, die hier aber nicht näher classificirt werden sollen; sondern wollen wir uns damit begnügen, hier einige der vorzüglichsten Beispiele anzuführen und zwar sowohl von gußeisernen als auch von schmiedeeisernen Brücken.

Bekanntlich machte man früher die Drehbrücken nur aus Holz und waren die Engländer die ersten, welche anstatt des Holzes, des Gußeisens sich zu den Drehbrücken bedienten. Später aber, nachdem man sich von der Zweckmäßigkeit der Anwendung des Schmiedeeisens zu Brücken mehrfach überzeugt hatte, wendete man vielfach das Schmiedeeisen an, uud wenn nun gleichwohl noch manche Drehbrücken aus Gußeisen hergestellt sind und hergestellt werden, so tritt dennoch das Schmiedeeisen, namentlich in neueren Zeiten als mächtiger Nebenbuhler auf.

Wir können, ohne Rücksicht auf das angewendete Metall zu nehmen, drei Classen von Drehbrücken annehmen:

1.) solche mit einem Flügel;

2.) solche mit zwei Flügeln, die in der Mitte gegen einander schließen;

3.) solche mit doppelten Flügeln, in deren Mitte der Zapfen sich befindet und deren beide Flügel die zu beiden Seiten desselben vorhandenen Durchflußöffnungen überdecken.

Bei geringeren Weiten bedient man sich der Drehbrücken mit einem Flügel; dagegen bei größeren Weiten, wo ein Flügel nicht mehr ausreichen und überhaupt auch das Drehen desselben zu schwierig sein würde, läßt man die Brücke aus zwei Flügeln bestehen, wo dann jeder Flügel für sich besonders gedreht wird. Bei dieser Anordnung entsteht aber der nachtheilige Umstand, daß die Flügel in der Mitte, sobald die Brücke geschlossen ist, keinen gehörigen Stützpunkt haben und hier sich gegenseitig stützen müssen. Da aber, wenn die Brücke nur durch dieses gegenseitige Stützen sich erhielte, der Drehzapfen und überhaupt die Maschinerie sehr bald und leicht leiden würde, so hat man dies dadurch mehr oder weniger entbehrlich gemacht, daß man den hinteren Theil jedes Flügels durch Gewichte schwer belastet und so ein Gegengewicht hervorbringt, so daß der andre Theil des Flügels mehr in der Schwebe gehalten wird und nicht mit ganzer Kraft gegen den anderen Flügel sich stützt. Hierdurch wurde aber gleichzeitig bedingt, daß die einzelnen Flügel bedeutend stärkere Dimensionen erhalten mußten, als dies bei einflügeligen Brücken von der halben Weite erforderlich war. Wo es daher die Localumstände zuließen hat man mit Vortheil die oben erwähnte dritte Klasse von Drehbrücken in Anwendung gebracht, indem man hier den Vortheil erreicht, daß beide Flügel, sobald die Brücke geschlossen ist, mit ihren Enden auf den Stirnpfeilern ruhen und in der Mitte durch die Anordnung des Drehzapfens unterstützt werden. Diese Anordnung hat jedenfalls den großen Vortheil, daß die Construction leichter

ausgeführt werden kann und ferner auch nicht so leidet, indem die Enden der Flügel direct unterstützt werden.

Durch die nunmehr anzuführenden Beispiele wird das Ebengesagte noch deutlicher.

Die in den Figuren 694—705 dargestellte Brücke zeigt die Drehbrücke über den Canal bei der Station zu Mecheln auf der belgischen Eisenbahn.*)

Diese Brücke dient zum Ueberfahren der Eisenbahnzüge und wird, da der Canal mit Schiffen befahren wird und nur eine sehr geringe Höhe über dem Wasserspiegel vorhanden ist, beim Durchfahren derselben gedreht.

Sie besteht aus vier gußeisernen Hauptbalken a a', welche ein Gewicht von 28729 Kilogr. und die Form eines Kreissegments haben, dessen Sehne horizontal an dem oberen Theile, und dessen converer Theil sich unterhalb befindet. Die Länge der mittleren Langbalken beträgt 64 Fuß $2\frac{1}{2}$ Zoll, die der äußeren nur 62 Fuß $1\frac{1}{4}$ Zoll; jede ist von zwei Stücken zusammengesetzt und an ihren Enden durch verticale Flanschen vermittelst Bolzen verbunden. Die Entfernung der beiden mittleren Langbalken von Mitte zu Mitte beträgt 7 Fuß 3 Zoll und die Entfernung der äußeren bis zu den mittleren 4 Fuß $11\frac{1}{2}$ Zoll.

Alle mit einer Leiste auf den genannten Balken eingefaßten Figuren sind Oeffnungen, außer zwei, welche in den äußeren Balken gerade dem Haupttriebwerke gegenüber sich befinden; selbige sind zugegossen, damit die Zahnräder dadurch geschützt werden. Zur Erhaltung der Steifheit und parallelen Entfernung der Längenbalken a unter sich, sind sie auf der Seite, welche über dem aus Quadersteinen gemauerten Fundament steht, mit 18 gußeisernen Querstücken bb, cc, dd mit einander verbunden, auf der über dem Wasser hängenden Seite mit drei gußeisernen ee und vier aus Rundeisen ff, welche letztere jeden Balken vermittelst zwei Muttern mit sich vereinigen. Das Gewicht der 21 Querstücke ist gleich 15828 Kilogr., der vier Bolzen aus Rundeisen 423 Kilogr. Eben so ist die Stärke der Hauptbalken a an dem Theile über dem Wasser um $\frac{1}{4}$ Zoll geringer, als an dem auf der Plattform ruhenden Theile, nämlich für die mittleren Längenbalken $2\frac{1}{4}$ Zoll und resp. $2\frac{1}{2}$ Zoll, sowie für die äußeren $1\frac{7}{8}$ Zoll und resp. $2\frac{1}{8}$ Zoll. Dieser Unterschied in der Stärke und der Art der Verbindung wurde deshalb angenommen, um dem Theile über dem Hauptpfeiler, welcher kürzer ist, als der über dem Wasser befindliche, bedeutend mehr Gewicht zu geben, damit der von der Plattform aus gehaltene Brückentheil mit dem freiliegenden im Gleichgewicht bleibe.

Der Belag der Brücke besteht aus 4 Zoll starken eichenen Bohlen, die durch Schrauben mit versenkten Köpfen an den oberen horizontalen Rippen der Längenbalken a befestigt sind. Auf diesen sind in einer Entfernung von 5 Fuß 7 Zoll zwei Paar Schienenstränge aus $2\frac{1}{2}$ Zoll im Quadrat starkem Eisen durch versenkte Bolzen festgeschraubt. (s. Fig. 696.)

Diese Drehbrücke wird von dem Drehzapfen g und den beiden gußeisernen konischen Rollen hh getragen. Ersterer ist von Schmiedeeisen, $5\frac{1}{2}$ Zoll stark und steckt in einem Wulste der gußeisernen Platte b' Fig. 696, 696 A zwischen den beiden mittleren Längenbalken a'; er ruht auf einer stählernen Platte i, die in einer gußeisernen Büchse k steckt. Die Rollen hh haben einen mittleren

*) Organ für Fortschritte des Eisenbahnwesens.

Durchmesser von 4 Zoll und eine Breite von 6 Zoll, liegen gleich weit von der Brückenachse zwischen den an den äußeren und inneren Längenbalken befestigten Querstücken c und d und zwar so, daß ihre verlängerten Achsen Radien vom Drehzapfen g bilden. Wenn die Brücke gedreht wird, rollen sie auf einer gußeisernen kreisrunden Bahn l von 10 Fuß 1 Zoll Halbmesser. Zur Bewegung der Rollen dienen die Zahnräder m n o p; indem man den Hebel q auf die Achse des kleinen konischen Rades p setzt, wird die an m angeschraubte Rolle h gedreht. Ein Mann ist hinreichend stark, die Brücke zu bewegen; für den Fall jedoch, wo das Geleise mit Schnee, Eis oder Regen bedeckt ist, dient das zweite, an der anderen Stelle angebrachte Triebwerk. Durchmesser der Räder m = 48 Zoll, n = 10 Zoll, o = 30 Zoll, p = 5 Zoll. Das in der Mitte der Brücke angebrachte Triebwerk, bestehend aus dem konischen Getriebe r und dem gezahnten Quadranten s steht vermittelst der auf der Achse von s befestigten Hebel t und der langen Stangen u u, die durch andere Hebel v v Fig. 704 A, B, C, D, E, F unterstützt werden, mit den beiden an den äußeren Enden der Brücke befindlichen Achsen w in Verbindung und werden ebenfalls durch den Hebel q, welcher auf die verticale Achse von r paßt, in Bewegung gesetzt. Dies hat zum Zweck, die vier Paar auf den Achsen w befindlichen excentrischen Rollen x, x in eine verticale Lage zu bringen, wo diese Excentriks als Unterlage in das Fundament eingelassene halbrunde Stühle y finden, um beim Ueberfahren die mittleren Hauptunterstützungspunkte nicht zu sehr zu belasten, sondern die Last auch auf die Enden gleichmäßig zu vertheilen und ein Schwanken der Brücke zu verhindern.

Die Kosten dieser Drehbrücke betrugen mit Ausschluß der Mauerarbeiten ca 40,000 Frcs.

Fig. 694 A zeigt die Seitenansicht und B einen Vertical-Längendurchschnitt;

Fig. 695 ist ein Grundriß der Brücke;

Fig. 696 ist ein Querdurchschnitt beim Drehungspunkt der Brücke;

Fig. 697 und 698 zeigen zwei andere Querdurchschnitte der Brücke;

Fig. 696 A ist ein Durchschnitt des Drehzapfens, Fig. 699, 699 A zeigen den Grundriß und einen horizontalen Durchschnitt durch die Platte i desselben.

Fig. 700 Ansicht des Querstücks c; Fig. 701 Ansicht des Querstücks d.

Fig. 702 Aufriß der Vorrichtung zum Drehen der Brücke; Fig. 702 A Durchschnitt der Rolle h, des Rades m und der Lager für deren Achse.

Fig. 703, 703 A Aufriß und Grundriß der Vorrichtung zur Bewegung der excentrischen Rollen.

Fig. 704 Aufriß und Grundriß der Hebel und Stangen zur Bewegung der excentrischen Rollen.

Fig. 705, Fig. 705 A Seitenansicht der excentrischen Rollen und Unterlagsstühle und Ansicht derselben von unten.

Ein anderes sehr interessantes Beispiel zeigt uns die in den Figuren 900—904 dargestellte Brücke über die Nethe bei Düffel, welche massiv ist, aus 6 Bögen besteht und einen beweglichen Brückenboden über einen Durchlaß von 7,5 Meter Weite hat. Der bewegliche Brückenboden liegt hier mit seinem Drehzapfen auf einem der Landbögen.

Die Plattform, auf welcher der Brückenboden liegt, ist 1,45 Meter über dem höchsten Wasserstand; der nach einem Kreisstücke gewölbte Bogen, welcher ihn trägt, hat eine Spannung von 6,5 Meter mit 1 Meter Gewölbhöhe, der Bogen jenseits des Durchlasses hat eine Spannung von 7 Meter und die darauf folgenden vier Bögen jeder eine Spannung von 8 Meter, deren Mittelpfeiler bei 3 Meter Höhe eine Stärke von 0,90 Meter haben.

Der bewegliche Brückenboden hat an seiner Oberfläche eine Breite von 5 Meter und trägt, wie die ganze Brücke, drei Schienenreihen, deren mittelste für beide Bahnen dient.

Fig. 902 zeigt die Querverbindung der Brücke; Fig. 903 den Grundriß des Drehzapfens und Fig. 904 einen Durchschnitt durch den Drehzapfen.

Wir fügen hier keine weitere Beschreibung hinzu, indem diese einmal aus der Zeichnung selbst hervorgeht, ferner aber auch wenig Bemerkenswerthes noch darbietet.

Was die in den Figuren 706 und 707 dargestellte Brücke betrifft, so haben wir schon weiter oben über die Construction selbst das Nöthige gesagt und bleibt hier noch übrig, einiges über den angebrachten Mechanismus anzuführen.

Die Wendesäule, welche fest vermauert worden, so wie auch die Kreuzarme wurden aus zwei großen Schiffsankern hergestellt und erhielt die Wendesäule ohne die Ringe eine Stärke von 6 Zoll.

In dem mittleren Theile des oberen Kreuzarmes ist eine stählerne Pfanne, welche auf dem ebenfalls stählernen, aber spührisch abgerundeten Zapfen der Spindel ruh.

In der Mitte unter dem eisernen Kreuze sind 4 Rollen angebracht, die von Schmiedeeisen sind und auf einem eisernen im Mauerwerk befestigten Kranz laufen. Am hinteren Ende der Brücke sind aber ferner vier schmiedeeiserne Rollen angebracht; diese laufen jedoch nicht auf einem eisernen Kranz, sondern auf einer Steinbahn, die aus gut und eben behauenen Pflastersteinen hergestellt ist.

Das Drehen der Brücke geschieht ohne Schwierigkeit und kann, wenn die Rollen gehörig geölt sind, von einem einzigen Menschen vorgenommen werden; gewöhnlich wird das Oeffnen und Schließen der Brücke von zwei Leuten besorgt. Um hier das nöthige Gleichgewicht der Brücke herzustellen, ist der hintere Theil der Brücke unterhalb mit Bohlen ausgelegt und hierauf dann Pflastersteine gelegt in solcher Menge, bis das Gleichgewicht erhalten wurde.

In den Figuren 906—911 ist eine Drehbrücke mit einem Flügel dargestellt, welche in Brüssel erbaut ist.

Diese Brücke, welche von Gußeisen ist, überspannt eine Oeffnung von 22 Fuß 4 Zoll und bildet der Flügel unterhalb einen Kreisbogen.

Diese Brücke hat 5 Rippen, und haben diese eine Dicke von 2,28 bis 2,64 Zoll. De Symmetrie wegen ist der feste Theil der Brücke, übereinstimmend mit demjenigen, welcher auf dem Zapfen ruht, aus Gußeisen gemacht, weshalb hier ein sehr erhebliches Quantum Gußeisen hat mehr verwendet werden müssen, als sonst erforderlich gewesen wäre.

Der Flügel bewegt sich horizontal um eine in der Steinmauer befindliche verticale Achse, welche von Schmiedeeisen hergestellt ist und 3 Fuß 2 Zoll in die Mauer hinabgeht. Dieser Zapfen wird durch ein Kreuz D Fig. 908 und 909 unter der obersten Werksteinschicht und durch ein Kreuz E Fig. 908 und 909 über dieser Schicht, in Blei eingegossen, gehalten. Der in dem Mauerwerke befindliche Theil des Drehzapfens ist viereckig und 6 Zoll dick. Jedes Kreuz ist 3 Fuß 9 Zoll lang und 2 bis $2\frac{1}{2}$ Zoll dick. Der Theil des Drehzapfens über der Mauerfläche ist cylindrisch 3 Fuß 2 Zoll lang und hat 4 Zoll im Durchmesser; er reicht in den Brückenflügel 2 Fuß 4 Zoll hinein und wird durch die Längen- und Querverbindungen umfaßt. Der Zapfen hat an seiner Spitze eine stählerne Pfanne, die das Ende eines kupfernen an dem Flügel befestigten Zapfens aufnimmt. Der Zapfen und die Pfanne (s. bei x) sind Kugelabschnitte von verschiedenen Halbmessern, so daß sie sich nur in einem Punkte berühren.

Das ganze Gewicht des Brückenflügels ruht zwar auf dem Zapfen, da es aber unmöglich ist, dasselbe so genau ins Gleichgewicht zu bringen und ferner auch bei der leicht entstehenden veränderten Lage des Flügels der Zapfen zu sehr leiden würde, so ist unter dem Flügel ein im Kreise mit Walzen besetzter Wagen (Fig. 908 und 910) angebracht, auf welchem ab und zu das Gewicht der Brücke sich stützen kann, wenn es während der Bewegung das Gleichgewicht verlieren sollte. Der Wagen hat 13 Fuß 4 Zoll im Durchmesser; sein Mittelpunkt fällt mit dem des Drehzapfens zusammen, und hat derselbe einen hohlen Kern, der den Drehzapfen umgiebt. Der Durchmesser des Drehzapfens ist, wie schon oben angeführt, 4 Zoll, derjenige des hohlen Theils des Cylinders aber $4\frac{1}{4}$ Zoll; er ist auf seinem inneren Theil mit einem kupfernen Streifen von $\frac{3}{4}$ Zoll Höhe und 1 Zoll Breite besetzt, welcher bis dahin reicht, wo der Drehzapfen aufhört cylindrisch zu sein. Dieses Berühren des Cylinders E Fig. 908 schafft dem Wagen eine Stütze auf seinem Mittelpunkt; derselbe ist auf $\frac{1}{3}$ seiner Höhe und $2\frac{1}{2}$ Zoll tief ausgehöhlt. Diese zirkelförmige Aushöhlung bildet eine Art von Zapfenloch, in welchem sich die Zirkelausschnitte vereinigen, welche den Wagen bilden (s. Fig. 910). Die Ausschnitte sind alle gleich und ähnlich und der Zahl nach 8; sie sind hohl und $1\frac{1}{2}$ Zoll hoch und durch Schraubenbolzen mit einander verbunden und durch 1 Zoll hohe Ränder verstärkt. Im äußersten Kreise dieses Kranzes sind 20 kupferne Walzen W angeordnet, worauf der Brückenflügel, so oft es nöthig ist, eine augenblickliche Stütze findet. Diese Walzen sind abgekürzte Kegel von Kugelabschnitten begränzt; sie sind 7 Zoll lang und 7 Zoll hoch in der größeren Grundfläche gemessen. Diese Walzen bewegen sich oberhalb und unterhalb zwischen kegelförmigen Ringen. Der obere Ring, welcher 7 Zoll breit und $\frac{3}{4}$ Zoll im Mittel dick ist, ist von geschmiedetem Eisen und an dem Brückenflügel selbst befestigt. Unterhalb laufen die Walzen auf der Mauerfläche, auf einer gußeisernen ringförmigen 7 Zoll breiten und 1 Zoll dicken Platte, welche in die Steine $\frac{1}{3}$ Zoll tief eingelassen ist.

Damit Gleichgewicht zwischen dem hinteren und vorderen Theil des Flügels in Bezug auf den Drehzapfen stattfindet, so hat man auf den hinteren

Theil Gewichte gelegt und zu diesem Behufe zwischen den Rippen Fächer hergestellt in welchen sich 25,000 Kilogr. Gegengewicht befinden.

Das Oeffnen und Schließen dieser Brücke geschieht hier durch Räderwerk mit dem Vorgelege, welches in einen großen gezahnten Quadranten eingreift, welcher letztere aber an dem Stirnpfeiler der Brücke befestigt ist, dagegen das Räderwerk mit dem Vorgelege an der Brücke selbst. Ein einziger auf der Brücke stehender Mann kann durch Umdrehen einer Handkurbel an einer stehenden Welle, mittelst 56 Kurbelumdrehungen, die Brücke in 56 Secunden öffnen.

Ganz ähnlich dieser eben beschriebenen Brücke ist die in den Figuren 926 und 927 dargestellte Drehbrücke zu Antwerpen, nur mit dem Unterschiede, daß diese Brücke zwei Flügel hat und eine Oeffnung von 56 Fuß 6 Zoll überspannt. Diese Brücke führt über das zwischen den Hafenbassins liegende Schleusenhaupt. Die Brückenöffnung ist oben noch bis auf 57 Fuß 10 Zoll erweitert, damit auf der obersten Steinschicht ein stumpfer Mauerabschnitt x von 8 Zoll Breite entstehe, gegen welchen sich die Streben C lehnen. Die Brücke hat, wie schon erwähnt, zwei Flügel, die sich horizontal um eine in der Schleusenmauer befestigte lothrechte Achse drehen. Sie ist 14 Fuß 7 Zoll zwischen den Geländern breit und da ihre Spannung, wie vorhin bemerkt, 57 Fuß 10 Zoll beträgt, so ist die Länge des vorderen Theils jedes Flügels gleich der Hälfte dieser Weite und der halben Breite der Brücke, also 36 Fuß $2\frac{1}{2}$ Zoll; der hintere Theil des Flügels ist 18 Fuß, also die ganze Länge jedes Flügels gleich 54 Fuß $2\frac{1}{2}$ Zoll.

Da sich die Flügel um ihre Achse bewegen sollen, so sind die hinteren Theile derselben in einem Bogen von 18 Fuß Halbmesser, welcher den Drehzapfen zum Mittelpunkt hat, abgerundet.

Um die Reibung der äußersten Enden der Flügel zu verhindern, so hat man die eine Hälfte des Flügels durch eine gerade, auf der Achse der Brücke senkrechte Linie PQ begränzt, die andere Hälfte des Bogens aber durch einen Bogen RQ abgeschnitten, dessen Mittelpunkt außerhalb des Drehzapfens liegt, so daß, wenn der eine Flügel zuerst geöffnet wird, derselbe den anderen, vom ersten Augenblick der Bewegungen, verläßt, und die Flügel nur erst beim vollkommenen Schlusse sich wieder berühren.

Jeder Brückenflügel hat 7 gußeiserne Rippen, jede aus einem Stücke bestehend, die an dem äußersten Ende des Flügels, 22 Zoll, über dem Drehzapfen 3 Fuß 8 Zoll und am hintersten Ende 3 Fuß hoch sind. Die Rippen sind durchbrochen sowohl um die Brücke zu erleichtern, als um Eisen zu sparen und durchgängig $2\frac{1}{2}$ Zoll dick. Ihre Oberfläche befindet sich in einer und derselben, gegen den Horizont geneigten Ebene, und zwar so, daß das äußerste Ende des Flügels 22 Zoll höher liegt, als der hintere Theil desselben. Da dieser Abhang aber auf 54 Fuß zu stark sein würde, so hat man es durch den Brückenbelag vermindert, dessen Dicke nach dem Hintertheil hin zunimmt, wodurch der Abhang bis auf 12 Zoll vermindert wird.

Der untere Theil der Flügel, von der perpendiculären Schleusenmauer bis zum äußersten Ende der Flügel ist durch einen Kreisbogen begränzt, dessen Mit-

telpunkt in der durch dieses äußerste Ende gehenden Verticale liegt. Die Klappen bilden sonach ein Gewölbe, welches auf der Schleusenmauer anfängt und 4 Fuß Bogenhöhe hat. Um aber durch diese Anordnung nicht das Drehen der Flügel unmöglich zu machen, so hat man die äußersten Enden der Hauptstücke, welche sich auf die Widerlager stützen, 9 Fuß lang weggelassen und sie durch bewegliche Streben ersetzt, welche an ihrem oberen Theile durch eine wagerechte Achse S aus geschmiedetem Eisen, von 2 Zoll Durchmesser vereinigt sind, die die Stützen und die Hauptstücke durchschneidet und erstere in einer Gabel faßt; eine zweite Achse vereinigt sie auf die Hälfte ihrer Länge. Diese Streben sind 10 Zoll hoch und $2\frac{1}{2}$ Zoll breit. Die Rippen sind 2 Fuß 5 Zoll von Mitte zu Mitte entfernt; sie sind der Quere nach durch mehrere gußeiserne Rahmen von 2 Fuß $2\frac{1}{2}$ Zoll durchgängiger Breite vereinigt, die daher ihrer Lage nach verschiedene Höhe haben. Dieselben haben die Form eines Parallelogramms mit seinen beiden Diagonalen und an ihren Seiten haben sie vorstehende Ränder, in welchen Löcher sind, um sie quer durch die Rippen mit diesen zusammenbolzen zu können.

Um die Tragkraft der Brücke noch zu vermehren, hat man den äußersten Enden der Flügel eiserne Querstücke gegeben, von welchen das eine einen Falz hat, dagegen das andere eine Nuthe (s. Fig. 911) so daß die Berührung der beiden Flügel, wenn die Brücke geschlossen ist, vollkommen ist und sie sich dann wechselseitig unterstützen.

Auf die Rippen sind 29 eichene Querstücke ee gelegt und $\frac{3}{4}$ Zoll tief auf dieselben eingekämmt. Das dem Hintertheile am nächsten liegende Querstück ist 9 Zoll, das äußerste des Flügels $5\frac{1}{2}$ Zoll im Quadrat; die dazwischen liegenden sind verhältnißmäßig dick. Zu beiden Seiten der Brücke liegen auf diesen Querhölzern 2 Lagerbalken zur Bildung des Trottoirs. Die Fahrbahn ist mit eichenen Bohlen belegt, die der Länge nach auf die Querhölzer gestreckt sind und ist der Belag auf dem Hintertheil 5 Zoll und auf dem Vordertheil 3 Zoll dick. Ueber diesen eisernen Bohlenbelag ist noch ein Belag von Pappelholz nach der Quere gelegt, welcher auf dem Hintertheil $1\frac{1}{2}$ Zoll und auf dem Vordertheil $\frac{3}{4}$ Zoll dick ist.

Um ein Gleichgewicht in Bezug auf den Drehzapfen hervorzubringen, so hat man auf den hinteren Theil jedes Flügels Gewichte gelegt. Einen Theil dieser Gewichte E hat man aber an Ketten, welche über zwei cylindrische und horizontale Rollen rr laufen, aufgehängt, um den Streben als Gegengewicht zu dienen, so daß man mittelst einer, an der unteren Achse der Streben befestigten gezahnten Stange und eines am Geländer angebrachten Getriebes B dem Systeme eine auf- und absteigende Bewegung geben kann.

Der übrige Mechanismus zum Oeffnen der beiden Flügel ist ganz in der Art, wie bei der vorher beschriebenen Brücke zu Brüssel.

Eine andere Drehbrücke dieser Art ist die in den Figuren 890—898 dargestellte gußeiserne Drehbrücke über den Caledonischen Canal bei Bannarie in Schottland *).

*) Verhandlnngen des Vereins zur Beförderung des Gewerbefleißes in Preußen. Jahrgang 1830.

Die Breite des Canals zwischen den massiven Schülungen an der Brücke beträgt 41 Fuß; die Entfernung der beiden Drehpunkte der Brückenhälften 51 Fuß; die ganze Länge der Brücke 67 Fuß und ihre Breite 10 Fuß 5 Zoll. Jede der Brückenhälften ruht auf einer aufrecht stehenden Säule, um welche sie sich, mittelst eines Wagens mit Rollen drehen kann. Diese Brückenhälften bestehen ferner aus fünf Bögen, von welchen jeder wieder aus zwei Theilen zusammengesetzt und durch Querstücke und Anker zu einem festen Ganzen verbunden ist. Die lothrechte Säule befindet sich auf einem massiven Mauerwerk von gehauenen rothen Sandsteinen, welches mit der Schülungsmauer verbunden ist und $5\frac{1}{2}$ Fuß unter der Brückenbahn liegt, einen Einschnitt von 11 Fuß Breite und 27 Fuß Länge bildet, welchen die Brückenhälften einnehmen, wenn sie aufgezogen sind.

Unter der Drehsäule liegt unmittelbar auf dem Mauerwerk eine Scheibe von Gußeisen (Fig. 892), $6\frac{1}{2}$ Fuß im Durchmesser und mit einem 4 Zoll breiten konischen Rande versehen, auf welchem die Rollen ruhen, auf denen die Brücke sich dreht.

Auf dieser Scheibe ist die aufrecht stehende Säule (Fig. 893) befestigt. Dieselbe ist 4 Fuß 5 Zoll hoch und unten mit einem Kranz und davon ausgehenden vier Flügeln zur Verstärkung versehen. Diese Flügel sind unten bei c mit Oeffnungen versehen, durch welche kleine Platten, behufs der Befestigung dieses Stücks auf den Armen der Scheibe gesteckt werden. Oben endigt sich die Säule in einen halbkugelförmigen Zapfen, auf dem die zugehörige Brückenhälfte lagert und dreht.

Der Brückenkörper besteht aus zwei äußeren Bogen, zwei Zwischenbogen und einem Mittelbogen. Der äußere Bogen jeder Brückenhälfte besteht aus zwei Theilen, von denen der eine (s. Fig. 891) von der Mitte a der Brücke bis b reicht, und der zweite von b bis c. Der erste Theil ist 21 Fuß lang und umfaßt den eigentlichen Bogen; der andere Theil hat nur eine Länge von von 11 Fuß. Zwischen beiden Theilen wird bei Zusammensetzung ein Querstück, Fig. 894, eingesetzt, welches auch als Querverbindung der vorderen Bögen mit den Zwischenbögen dient. Die vorstehenden Ränder c an den äußeren Bögen (Fig. 891) befördern die Zusammensetzung, die mittelst Schrauben vollzogen ist. Ein solches Querstück ist 4 Fuß 8 Zoll hoch und nach Abzug des abgerundeten Stabes, der außerhalb des Stoßes beider Theile eines Außenbogens zu stehen kommt, 2 Fuß 4 Zoll breit. Die äußeren Bögen, haben im Allgemeinen nur 1 Zoll Eisenstärke, unten einen Rand von $1\frac{1}{2}$ Zoll Stärke, der nur 1 Zoll vorspringt, oben einen Rand von 1 Zoll Stärke, der um 3 Zoll vorspringt. Die Breite des Eisens oben und unten beträgt 6 Zoll, in den Stäben $7\frac{3}{4}$ Zoll. An dem oberen Rande befinden sich kleine Vorsprünge, die zur Befestigung der Gitterstäbe dienen.

Die auch aus zwei Theilen zusammengesetzten Zwischenbögen sind da mit einander verbunden, wo der Drehpunkt der Brücke liegt, damit die Querstücke, welche hier von den äußeren Bogen bis nach der Mitte reichen, angebracht werden können. Hierzu die Oeffnungen c und d Fig. 896, welche zwischen beiden Stücken bleiben. Da wo beide Stücke zusammenstoßen, sind Laschen

angebracht, welche sich an die Querstücke anschließen und mit denselben verschraubt sind. Diese Bögen sind ganz glatt bis auf einen oben vorspringenden Rand, welcher zur Befestigung der Bohlen dient.

Die beiden Stücke des Mittelbogens stoßen gar nicht zusammen, sondern sind durch drei besondere Stücke mit einander verbunden, welche in Fig. 897 im Querdurchschnitt durch den Drehpunkt der Brücke in a, b und c dargestellt sind. Das obere Stück a enthält die Pfanne, auf welcher sich die ganze Brücke dreht, in Fig. 898 A und B im Durchschnitt und im Grundriß näher dargestellt. Das mittlere b, ein lediglich zur Befestigung des Mittelbogens und der Querstücke eingeschraubter Kranz; das untere, c, ein großes Achteck von Gußeisen, konisch zulaufend, an welchem sich acht Rollen befinden, die die Brücke tragen und auf der gußeisernen Scheibe, Fig. 892, laufen. Dieses Achteck ist an besonderen Laschen angeschraubt, welche sich zu diesem Zwecke an den Stücken des Mittelbogens und an den durchgehenden Querstücken befinden. In Fig. 899 ist dieses Achteck im Grundriß zur Hälfte und im Durchschnitt dargestellt.

Die beiden Querstücke Fig. 897 sind in ihrer ganzen Construction dem Endstücke gh Fig. 891 des Mittelbogens gleich und in der Mitte auf gleiche Weise an der Pfanne, dem Kranz und Achteck, an ihren Enden aber mittelst Laschen an den äußeren Bögen, und wo sie durch die Zwischenbögen hindurchgehen, an diesen, wie schon oben bemerkt worden, angeschraubt. Durch diese Verbindung wird die Pfanne und die Rollen, auf welchen die ganze Last der Brücke ruht, in eine sehr feste Verbindung gebracht. Die Pfanne, Fig. 898, besteht aus einem äußeren Lager, welches mit den übrigen Theilen verschraubt und die eigentliche Pfanne, welche in diesem eingesetzt ist und auf dem halbkugelförmigen Zapfen, Fig. 893, ruht. Die kleinen Walzen, Fig. 899, von 4 Zoll Breite und $4^1/_2$ Zoll Durchmesser, liegen in besonderen Zapfenlagern, welche an das Achteck angeschraubt sind. Diese Walzen laufen auf der konischen Fläche der Scheibe, Fig. 802, und berühren dieselbe vollkommen, da ihre Achsen der Seitenlinie des Kegels parallel liegen.

Außer den Querstücken, Fig. 897, welche gerade am Drehpunkt der Brücke liegen, wird die weitere Verbindung der Bogenstücke noch durch vier, in Entfernungen von 4 Fuß 10 Zoll vom Drehpunkt angebrachte Querstücke bewerkstelligt. Es liegen auf der nach der Mitte der Brücke hingewendeten Seite zwischen den äußeren und den Zwischenbögen die bereits angeführten Querstücke, Fig. 894, zwischen den Zwischenbögen und dem Mittelbögen dagegen die Querstücke k, welche in Fig. 895 nach vergrößertem Maßstabe dargestellt sind. Außer dieser Querverbindung sind noch andere in Fig. 891 angedeutete Querstücke von Gußeisen angeordnet. An dem Ende aber findet die Verbindung durch eine große Platte statt, an welcher sich ein gezahnter Randkranz r befindet, welcher zur Drehung der Brücke dient. In diesen Kranz greift ein gezahntes Getriebe ein, welches die Bewegung auf eine zweite senkrechte Achse überträgt, die bis zu einer Höhe von 3 Fuß über die Brückenbahn reicht. Die Bewegung wird hier durch zwei konische Räder auf eine horizontale Achse übertragen, welche mit einer Kurbel zur Drehung versehen ist (s. Fig. 890).

Um das nöthige Gleichgewicht in der Brücke herzustellen, liegen über den

Endtheilen große und schwere gußeiserne Platten, zu deren Anbringung sich in den Bogen ein Einschnitt p (Fig. 896) befindet. Außerdem sind noch große Massen Gußeisen zwischen die Bogen gelegt.

Um die Brücke bequem öffnen zu können, stehen die beiden Theile in der Mitte nicht gerade, sondern nach dem Kreisbogen at Fig. 891, welcher aus dem Mittelpunkt v beschrieben ist, um den sich der eine Brückentheil dreht, zusammen. Dieser Theil wird jederzeit zuerst geöffnet und von t nach a gedreht, wohin derselbe kein Hinderniß findet; sobald dieser Theil etwas geöffnet ist, kann der andere nachfolgen. Die Brücke hat in der Mitte eine sehr geringe Steigung, was dazu beiträgt, daß, wenn dieselbe geschlossen ist, beide Theile sich fester gegen einander setzen.

In den Figuren 879—889 ist die Drehbrücke der Berlin-Anhaltischen Eisenbahn über den neuen Schifffahrts-Canal bei Berlin dargestellt *). Diese Brücke unterscheidet sich von den gewöhnlichen, so wie von den bisher beschriebenen Drehbrücken sehr wesentlich und zwar dadurch, daß sie, auf einem Pfeiler in der Mitte des Canals ruhend, nach beiden Seiten hin die zu öffnenden Durchlässe überbrückt. Dieses System gewährt jedenfalls den großen Vortheil, daß, sobald die Brücke geschlossen ist, die beiden Enden auf den Steinpfeilern aufliegen, wie dies bei den einflügeligen Drehbrücken eben so der Fall ist. Diese Drehbrücke besteht aus zwei Tragwänden, deren Construction und Verbindung mit den Brückenbalken und dem Belag in Fig. 881 und 882 in der inneren Ansicht und im Profil dargestellt ist. Die 4 Fuß hohen Wände bestehen aus doppelten, ungekröpft neben einander liegenden, sich überkreuzenden, 3 Zoll breit und $\frac{1}{2}$ Zoll stark gewalzten Schienen, die oben in einer gußeisernen Deckplatte, unten gegen eine gußeiserne Winkelschiene und in den Kreuzungspunkten unter einander vernietet sind. Unter der Winkelschiene ist eine breite geschmiedete, ebenfalls durchgehende Platte befestigt, welche innerhalb noch 5 Zoll weit vorsteht. Auf dieser Platte liegen die etwas über 2 Fuß von Mitte zu Mitte entfernten 10 Zoll breiten, 13 Zoll hohen hölzernen Balken oder vielmehr deren gußeiserne 9 Zoll hohe und 6 Zoll breite Muffen a, die innerhalb jene Platte noch um 1 Zoll weit überragen und mit dem Boden auf dessen ganze Stärke in den Balken eingelassen sind.

Zwischen je drei Balken und zwar in 6 Fuß 8 Zoll Entfernung von Mitte zu Mitte jedesmal, sind beide Tragwände durch einen gußeisernen Balken mit zwei aufsteigenden Rippen mit einander verankert. Der Eisenbalken b Fig. 881 und 882, welcher eine Höhe von 11 Zoll und eine Breite von 7 Zoll hat, besteht aus $1\frac{1}{2}$ Zoll starken Wandungen, dessen beide ebenfalls 7 Zoll breite aufsteigende Rippen aus Mittelwänden von $1\frac{1}{2}$ Zoll und aus Seitenwänden von 1 Zoll Stärke bestehen; unten am Balken beträgt deren Stärke 13 Zoll, oben greifen sie unter die Deckplatte der Tragwände; der Balken ist deshalb an beiden Enden auf 13 Zoll Länge zu beiden Seiten durch unterstützende Leisten gegen die obere Platte verstärkt.

Die Brücke, deren ganze Länge 68 Fuß 6 Zoll beträgt, ruht in der Mitte

*) Notizblatt des Architekten-Vereins zu Berlin.

auf einem gemauerten Pfeiler, der einen Durchmesser von 18 Fuß hat. Die auf beiden Seiten zu öffnenden Durchlässe haben jeder eine Weite von 24 Fuß, so daß die Brücke mit jedem Ende noch 15 Zoll auf dem resp. Stirnpfeiler aufliegt. Die ganze Breite der Brücke ist 14 Fuß. Fig. 879 zeigt zur Hälfte die Ansicht, zur anderen den Längendurchschnitt und Fig. 880 den Grundriß, zum Theil über, zum Theil unter der Fahrbahn genommen.

Zur Drehung der Brücke ist ein Ständer von Gußeisen durch vier Grundschrauben, zu welchem die Löcher l Fig. 883 gehören, auf dem Mittelpfeiler über dessen Mittelachse befestigt. Um den Cylinder t dieses Ständers liegt oberhalb der mittelst kegelförmigen Ansatzes u gebildete Mittelkranz einer viereckigen Platte, auf welche die Drehbrücke durch vier Bolzen k befestigt ist (s. Fig. 883 und 884). Die einzige senkrechte Unterstützung der Brücke in der Mitte bildet der, durch den Lagerdeckel reichende, und zur Stellung mit Keilvorrichtungen versehene Zapfen gegen die obere Spur des Ständers.

Unter der eben gedachten Platte liegt um denselben Cylinder des Ständers, durch einen Vorsprung unterstützt, der Mittelkranz einer kreisrunden Scheibe mit aufstehendem äußeren Rand m, in den die Wellen für die 8 Lauf- und Leitrollen s von beiden Seiten mit Schraubenmuttern, also zugleich contra, befestigt sind. Der Kegel u ist über jeder Verschraubung mit einer Oeffnung versehen, damit man leichter dazu kommen kann. Eine gleichartige Befestigung findet zwischen den Wellen und den Rollen s statt. Diese Rollen, deren Mantelflächen ein wenig conver abgedreht sind, laufen auf dem kreisrunden ebenen Schienenkranz r, der auf dem massiven Mittelpfeiler befestigt ist, und führen den auf ihnen ruhenden obersten ebenfalls ebenen Kranz n, der mit der Platte u und der ganzen Drehkappe ein festes System bildet, herum. Die Bewegung geschieht mittelst eines oberhalb um die Spindel q gelegten eisernen Schlüssels. Diese Spindel ist in einem Hängegerüste an den beweglichen Brückenkranz n befestigt und hat unterhalb ein Getriebe o, welches in die auf den massiven Pfeiler befestigte gezahnte Schiene p greift, die eine Ausdehnung von etwas mehr als einem Halbkreis hat und 96 Zähne enthält.

In den Figuren 885—889 ist die Vorrichtung für die Fixirung der Brücke dargestellt und zwar in Fig. 885 im Grundriß, in Fig. 886 in der Ansicht. In den Figuren 887—889 sind die Details dieser Anordnung im vergrößerten Maßstabe dargestellt.

Unterhalb der Drehklappe, nahe jedem Ende derselben, liegt das konische Rad a Fig. 886, welches durch einen auf dessen Achse gesteckten Schlüssel bewegt wird. Das Rad a greift in das konische Rad b auf der Welle f, welche vier Schrauben ohne Ende d, enthält. Diese greifen in die Zahnräder e Fig. 885, deren Wellkränze aus Schraubenmuttern (s. Fig. 889) bestehen, die um die Schraubenspindel h liegen und diese auf und nieder bewegen.

Das bisher beschriebene System ist unterhalb an der Brückenklappe befindlich. Bei der abwärts gerichteten Bewegung der Schraubenspindeln greift jede derselben mit einer kegelförmigen Spitze in die gleichgeformte Vertiefung ihrer auf dem massiven Stirnpfeiler befestigten Grundplatte g, wodurch die Brücke in acht Punkten zugleich fixirt wird. Fig. 889 zeigt den Durchschnitt

der Schraubenspindel und des umliegenden Zahnrades, mit der Seitenansicht des einen Lagers für die hier durchschnittene Welle f gegen das Spindelgerüst. Fig. 887 ist die vordere Ansicht dieser Verbindung. Auf dem senkrechten, links befindlichen Arm des Spindelgerüstes ist das Lager der hier fortgelassenen Welle f mit dem Deckel gezeichnet; der rechts befindliche Arm des Gerüstes ist ohne Lager dargestellt, um dessen Verbindung für den festen Sitz des Well-Lagers zu zeigen. Fig. 888 zeigt die untere Ansicht des Spindelgerüstes ohne Zahnrad e und Welle f, Fig. 889 A den Durchschnitt der Grundplatte g. In den Figuren 885 und 886 sind die Räder a, b und e wegen des kleinen Maßstabes ohne Zähne angegeben, und in Fig. 886 nur bei der dem Rade b zunächst befindlichen Schraube ohne Ende d, das Spindelgerüst mit den beiden Lagern für die Welle f und die Spindel gezeichnet, welche Anordnung aber für alle vier dieselbe ist.

Eine andere sehr interessante Drehbrücke ist auf der Ashford-Rye und Hastings Zweigbahn der South-Eastern-Eisenbahn über den Fluß Rother in der Nähe der Stadt Rye, wovon in Fig. 905 eine Skizze gegeben ist. Diese Brücke ruht auf einem in der Mitte des Stromes befindlichen Pfeiler und überbrückt, wie beim vorhergehenden Beispiele, nach zwei Seiten hin die zu öffnenden Durchlässe. Diese Durchlässe haben jeder eine Breite von 40 Fuß. Die Drehbrücke selbst hat eine Länge von 112 Fuß und wiegt 116 Tonnen.

Die Brücke ruht, wie schon erwähnt, in ihrer Mitte auf einem Pfeiler von 22 Fuß im Quadrat, und ist auf 37 in das Flußbett eingerammten Pfählen fundirt, deren Köpfe mit zwei Lagen von 6zölligen Bohlen bedeckt sind. Auf der oberen Fläche des Pfeilers liegt eine kreisförmige Bahn von Gußeisen aa, 17 Fuß im Durchmesser, auf welcher 16 Frictions-Räder (18 Zoll im Durchmesser und 12 Zoll breit), eine ähnliche Scheibe tragend, laufen. Sie sind wie die Rollen der gewöhnlichen Drehscheiben, in entsprechender Entfernung von einander durch einen ihre Achsen umschließenden Ring von Schmiedeeisen gehalten. Die untere Rollbahn, so wie die obere bb wiegt 12 Tonnen. Auf der letzteren sind die gußeisernen Hauptbalken der Brücke cc befestigt. Diese Balken, auf der äußeren Seite mit verschiedenen Ornamenten gegossen, bestehen jeder aus zwei an einander geschraubten und verzapften Theilen. Die Fuge beim Zusammenstoß der beiden Letzteren ist mit einer Platte g bedeckt. Auf diesen Trägern stehen zwei große Ständer von Gußeisen d, d, jeder nahe 8 Tonnen wiegend, auf deren Obertheil zwei starke Lager befestigt sind, in denen ein sechszölliger schmiedeeiserner Bolzen ruht. Von dem letzteren gehen nach beiden Seiten hin die Zugstangen ee zur Unterstützung der Träger, wenn die Brücke geöffnet ist. Die Verbindung dieser Zugstangen, deren im Ganzen 12, also an jeder Seite 6 sind, mit den Bolzen auf dem Obertheil der Ständer ist durch Schrauben hergestellt, welche mit ihrem einen Ende in ein Gewinde in den Zugstangen, mit ihrem anderen Ende in Muttern reichen, welche durch zwei Verbindungsplatten an dem sechszölligen Bolzen befestigt sind. Das erstere Gewinde ist rechts, das letztere links geschnitten, so daß eine Drehung dieser dazu vorgerichteten Schrauben mittelst eines Hebels eine Verlängerung oder Verkürzung der Zugstangen hervorbringt. Beides ist zur Ausgleichung der durch die

Temperaturunterschiede auf die Zugstangen bewirkten Veränderungen an der Länge erforderlich. Die Zugstangen bestehen jede aus zwei Flacheisen, 6 Zoll breit und 1 Zoll dick, am unteren Ende durch $2^1/_2$ Zoll starke Bolzen verbunden, auf denen die angebrachten Träger der Brücke aufliegen. Ueber die oberen Enden der Zugstangen und deren Verbindung mit den Hauptbolzen auf Ständern ist eine große Kappe von Gußeisen f, zum Schutz gegen die Witterung und als architektonischer Schluß für die ganzen Pfeiler dienend, angebracht.

Die Drehung der Brücke wird durch zwei Mann mit Leichtigkeit in $2^1/_2$ Minuten bewerkstelligt und zwar mittelst eines konischen Getriebes.

Siebentes Capitel.

Die Hänge-Brücken.

---

§. 22. Allgemeines.

Der Gebrauch von Seilen und Ketten zur Ueberbrückung von Flüssen und Abgründen ist schon sehr alt, und zwar dediente man sich in Asien und Südamerika schon seit mehreren Jahrhunderten solcher Brücken. Diese waren nun zwar sehr einfach und bestanden darin, daß man quer über den Fluß oder den Abgrund, welchen man übersetzen wollte, hinreichend starke Seile spannte und daran die Brückenbahn hing, welche aber dann gewöhnlich nur für Fußgänger bestimmt war.

Wenngleich die Anwendung der Seile zu diesem Zwecke, wie mit aller Sicherheit anzunehmen ist, nun schon länger bekannt war, so war bis zum Anfang dieses Jahrhunderts, mit Ausnahme einiger isolirten Fälle, welche außer in dem verwendeten Materiale nur sehr wenig von den ersten rohen Bauten verschieden waren, kein namhafter Versuch gemacht, statt der Seile sich des Eisens zu bedienen und hierbei nach bestimmten Regeln zu verfahren, wodurch gleich von vorn herein nicht allein die Zweckmäßigkeit der Anlage, sondern auch ihre Sicherheit hervorleuchtete. Der erste, welcher einen ordentlichen Versuch in dieser Hinsicht machte, war Finlay in Amerika, welcher im Jahre 1801 ein Patent nahm, in welchem die Art wie man die Tragketten aufhängen wollte und wie durch diese die Brückenbahn getragen werden sollte, speciell angegeben war. Nach diesem Zeitpunkte kam diese Art Brückenbau mehr in Aufnahme und waren in Nordamerika, dem Berichte des Architekten Thomas Pope zu New-York zufolge, im Jahre 1811 bereits 8 Kettenbrücken, ausgeführt, worunter die, im Jahre 1809 zu Massachutes über den Fluß Marimak erbaute, eine Spannung von 244 Fuß hat.

Seitdem kam diese Brückenart auch in Europa vielfach zur Anwendung und waren es nunmehr die Engländer, welche diesen Zweig der Brückenbaukunst sehr cultivirten und die größten und vollkommensten Bauwerke dieser Art ausführten. Sie machten vielfache und großartige Versuche mit geschmiedeten Eisenstangen und Ketten, wovon die letzteren eine Länge von 30 bis 900 Fuß hatten, an zwei Enden aufgehängt und an verschiedenen Punkten derselben belastet wurden. Aus diesen Versuchsresultaten war man dann im Stande, bestimmte Gesetze für den Bau der Kettenbrücken zu entwickeln. Ferner lieferte das Resultat dieser mannigfachen Versuche den Beweis, daß Kettenbrücken für die größten Spannungen ausführbar seien und daß sie bei großer Sicherheit in den meisten Fällen einen weit geringeren Kostenaufwand erforderten als steinerne und gußeiserne Brücken.

Eine Hängebrücke besteht nur aus den Pfeilern, auf welchen die Tragketten hängen, aus den Widerlagern, an welchen die Kettenenden verankert sind, aus den Tragketten, welche die Brückenbahn mit verticalen Trägern, Hängestangen, halten und endlich aus der Brückenbahn selbst. Daß die Bestimmung dieser Theile nicht willkührlich angenommen werden darf und ferner auch nicht die Form der einzelnen Theile und die Lage, die sie gegen einander erhalten sollen, wie bei gewöhnlichen Bauten nach Gefallen angenommen werden kann, ist einleuchtend, indem bei den Hängebrücken die Vertheilung der Belastung nicht bedeutend sich verändern läßt, ohne daß die Gestalt der biegsamen Ketten sich nicht eben so veränderte.

Man hat daher zunächst die krumme Linie zu bestimmen, nach welcher die Ketten sich biegen, sobald sie unter ihrem eigenen Gewichte und dem der Fahrbahn, im Gleichgewichte oder in Ruhe bleiben sollen; ferner aber ist die Spannung zu bestimmen, welche die aufgehängten Ketten in den einzelnen Gliedern erleiden, um darnach ihren Querschnitt zu bestimmen. Endlich aber sind auch noch die Bedingungen des Gleichgewichts der Stützpfeiler, so wie der Stärke der Widerlager anzuführen.

Die verschiedenen Bestimmungen sollen in den folgenden §§. näher angeführt werden.

§. 23. Die Bestimmung der Kettenlinie.

Zunächst haben wir hier die Gestalt der krummen Linie zu bestimmen, nach der sich die Ketten biegen, sobald sie unter ihrem eigenen Gewichte und dem der Fahrbahn, im Gleichgewichte oder in Ruhe bleiben sollen. Kennt man nun diese Linie, so läßt sich leicht die Länge der eisernen Stäbe bestimmen, durch welche die Fahrbahn mit den Ketten verbunden wird.

Denkt man sich zu dem Ende einen vollkommen biegsamen Faden, der im Punkte A Fig. 912 befestigt ist, ferner am anderen Ende der Linie M eine lothrechte Kraft P und eine wagerechte Q angebracht; ferner seien alle Punkte von A bis M mit Gewichten beschwert, so kommt es darauf an, wenn diese Gewichte bekannt sind, die Gestalt zu bestimmen, bei welcher der Faden im Gleichgewichte bleibt.

Nehmen wir nun an, daß das System in Ruhe sei, so läßt sich auch die Spannung, welche in einem unbestimmten Elemente mn der krummen Linie stattfindet, als eine Kraft ansehen, die nach der Richtung der Tangente der krummen Linie im Punkte m wirkt und allen im Theile MOm angebrachten Kräften das Gleichgewicht halten muß. Diese Spannung muß daher der Mittelkraft aus allen jenen Kräften gleich und gerade entgegengesetzt sein, vorausgesetzt, daß diese ihrer Größe und Richtung nach, im Punkte m angebracht wäre. Bezeichnet man nun die Spannung mit T, die Coordinaten Ap und p m des Punktes m mit x und y, den Bogen Am mit s und zerlegt T nach wagerechter und lothrechter Richtung, so muß die wagerechte Seitenkraft $Q = T \frac{\delta x}{\delta s}$ sein.

Diese Seitenkraft Q drückt nun diejenige Kraft aus, welche die Punkte, an denen die Ketten befestigt sind, einander zu nähern strebt und welche für alle Punkte der krummen Linie, der wagerechten Seitenkraft der Spannung gleich ist. Diese Kraft ist daher wohl zu unterscheiden von der eigentlichen Spannung T, die nach der Richtung jedes Elements stattfindet und daher in jedem Punkte einen anderen Werth hat.

Die lothrechte Seitenkraft der Spannung T, welche hier durch $T \frac{\delta y}{\delta s}$ ausgedrückt wird, muß gleich sein — P, weniger der Summe der, in den verschiedenen Punkten der krummen Linie, von m bis M wirkenden Gewichte. Es sei nun p das Gewicht, welches in dem Punkte angebracht, dessen Abscisse gleich x ist, so ist p nothwendig eine gegebene Function von x; der Werth, welchen sie ausdrückt, bezieht sich auf die Einheit der Länge, deren man sich für die Abscisse bedient und $p\,\delta x$ drückt das Gewicht aus, womit das Element δs belastet ist, dessen wagerechte Projection δx.

Hieraus erhält man also die Gleichungen

$$T \frac{\delta x}{\delta s} = Q$$

und

$$T \frac{\delta y}{\delta s} = - P + \zeta\, p\, \delta x.$$

Nimmt man nun an, daß die ganze Belastung als über eine, unter der Kette liegende wagerechte Linie verbreitet sei, was zwar in Betreff der Fahrbahn einer Kettenbrücke anzunehmen ist, aber nicht ganz so mit dem Gewichte der Ketten, hier aber ohne große Fehler zu begehen, geschehen kann, indem das Gewicht der Ketten nur immer einen geringen Theil der ganzen Belastung ausmacht, so ist p eine unveränderliche Größe, die das Gewicht ausdrückt, welches auf jede Einheit der Länge jener Linie kommt. Es sei nun AB diese wagerechte Linie und bezeichnet man dann die Abscisse AB für den äußersten Punkt M mit a, so verwandeln sich die beiden Gleichungen in

$$T \frac{\delta s}{\delta x} = Q$$

und

$$T \frac{\delta y}{\delta s} = - P + p\,(a - x).$$

Dividirt man nun die eine Gleichung durch die andere, so entsteht

$$\frac{\delta y}{\delta x} = \frac{-P + p(a-x)}{Q}.$$

Es ist aber $\frac{\delta y}{\delta x}$ die trigonometrische Tangente desjenigen Winkels, welchen die Tangente der krummen Linie mit der Abscissenlinie bildet, und bezeichnet man diesen mit φ, so hat man allgemein

$$\frac{\delta y}{\delta y} = \text{tang } \varphi = \frac{-+p(a-x)}{Q}.$$

Setzt man nun den Werth von φ für den Anfangspunkt A der Abscissen $= \alpha$, so verwandelt sich tang φ in tang α, wenn man in den Werth der ersteren $x = o$ setzt, und man erhält alsdann

$$\text{tang } \alpha = \frac{-P + pa}{Q} = \frac{-P}{Q} + \frac{pa}{Q}$$

und folglich auch $$\frac{\delta y}{\delta x} = \text{tang } \alpha - \frac{px}{Q}.$$

Integrirt man nun diesen letzten Werth, so erhält man leicht

$$y = x \text{ tang } \alpha - \frac{px^2}{2Q}.$$

Eine Constante kommt nicht dazu, indem für $y = o$ auch $x = o$ wird.

Nimmt man nunmehr die Coordinaten des letzten Punktes, nämlich $AB = a$ und $BM = b$ und setzt diesen Werth in die vorstehende Gleichung, so entsteht

$$b = a \text{ tang } \alpha - \frac{pa^2}{2Q}$$

oder $$\text{tang } \alpha = \frac{b}{a} + \frac{pa}{2Q}.$$

Setzt man dann diesen Werth für tang α in obige Gleichung für y so erhält man

$$y = \frac{bx}{a} + \frac{p(ax - x^2)}{2Q}.$$

Setzt man ferner hierin $x - \frac{a}{2}$, so erhält man den Werth der Ordinate DN, welche gleichweit von den Punkten A und B entfernt ist. Die Tangente der krummen Linie im Punkte N ist mit AM gleichlaufend, indem bei der Annahme $x = \frac{a}{2}$, $\frac{\delta y}{\delta x} = \frac{b}{a}$ wird. Es ist nun ferner $DG = \frac{b}{2}$, und wenn man $GN = g$ annimmt, so erhält man

$$DN = \frac{b}{2} + g = \frac{b}{2} + \frac{pa^2}{8Q} \text{ und hieraus}$$

$$g = \frac{pa^2}{8Q}, \text{ also } Q = \frac{pa^2}{8g} \text{ und tang } \alpha = \frac{b + 4g}{a},$$

so daß nun die unveränderlichen Größen in der Gleichung

$$y = x \text{ tang } \alpha - \frac{px^2}{2Q}$$

durch die Coordinaten des Endpunktes M und durch die lothrechte Höhe g oder D N ausgedrückt werden. Diese letzte Gleichung giebt die Gestalt der krummen Linie, sobald die beständigen Größen tang α und Q auf die angegebene Art bestimmt sind.

Was nun die Spannung der Kette betrifft, die im Punkte O = Q ist, so findet man dieselbe für jeden anderen Punkt aus der Gleichung

$$T \frac{\delta x}{\delta s} = Q \text{ oder } T = \frac{\delta s}{\delta x} Q.$$

Es ist aber auch $T = Q \frac{\sqrt{\delta x^2 + \delta y^2}}{\delta x} = \sqrt{1 + \frac{\delta y^2}{\delta x^2}}$, oder wenn man den Werth für $\frac{\delta y}{\delta x}$ substituirt

$$T = Q \sqrt{1 + \left(^{t g \alpha} - \frac{p x}{Q}\right)^2}.$$

Hiernach ist die Spannung für den äußersten Punkt A, da hier x = o wird,

$$T \quad Q \sqrt{1 + t g \alpha^2} = \frac{Q}{\operatorname{Cos} \alpha}$$

und ferner für den Punkt M, wo x a wird

$$T = Q \sqrt{1 + \left(t g \alpha = \frac{p a}{Q}\right)^2}.$$

Was die lothrechten Seitenkräfte dieser letzteren Spannungen betrifft, oder die lothrechten Pressungen auf die festen Punkte A und M, woran der Faden befestigt ist, so sind diese resp. gleich der Summe der von dem Punkte A oder M bis zur Spitze der Curve angebrachten Gewichte, und da hier die Abscissen h und a — h sind, so hat man also diese lothrechten Pressungen auf die festen Punkte A und M, respective

$$p\,h \text{ und } p\,(a - h).$$

Die oben gefundenen unveränderlichen Größen lassen sich aber auch durch die Coordinaten des tiefsten Punktes O der krummen Linie ausdrücken, für den die Tangente wagerecht liegt. Bezeichnet man zu dem Ende die Abscisse A C mit h und die zugehörige Ordinate C O mit f, so wird x = h, weil die Tangente im Punkte O parallel mit der Abscisse ist, $\frac{\delta y}{\delta x} = o$

und also auch $\quad \operatorname{tang} \alpha - \frac{p h}{Q} = o$

oder $\quad \operatorname{tang} \alpha = \frac{p h}{Q}.$

Setzt man nun ferner in die Gleichung $y = x\, t g \alpha - \frac{p x^2}{2 Q}$, y = f und x — h, so entsteht

$$f \_ h \operatorname{tang} \alpha - \frac{p h^2}{2 Q}$$

oder $f = h \operatorname{tang} \alpha - \frac{Q}{2 p} \cdot \frac{p^2 h^2}{Q^2} = \frac{2 p h \operatorname{tang} \alpha}{2 p} - \frac{Q \operatorname{tang} \alpha^2}{2 p} = \frac{Q \operatorname{tang} \alpha^2}{2 p}.$

Aus dieser Gleichung in Verbindung mit der oben gefundenen

$$b = a \operatorname{tang} \alpha - \frac{p\,a^2}{2\,Q}$$

lassen sich dann die Werthe für tang α und Q bestimmen.

Man findet übrigens auch aus der Gleichung

$f = h \operatorname{tang} \alpha - \frac{p\,h^2}{2\,Q}$, da $\operatorname{tang} \alpha = \frac{p\,h}{Q}$ unmittelbar $\operatorname{tang} \alpha = \frac{2\,f}{h}$ und $Q = \frac{p\,h^2}{2\,f}$.

Um die Länge des Bogens A O zu finden der sich in dem Punkte endigt, für welchen die Coordinaten h und f, hat man, wenn diese Länge durch c bezeichnet wird, die Gleichung

$$c = h\left(1 + \frac{1}{6}\left(\frac{2\,f}{h}\right)^2 - \frac{1}{40}\left(\frac{2\,f}{h}\right)^4 + \frac{1}{112}\left(\frac{2\,f}{h}\right)^6 \cdots\right) \text{ oder}$$

$$c = h\left(1 + \frac{2}{3}\left(\frac{f}{h}\right)^2 = \frac{2}{5}\left(\frac{f}{h}\right)^4 + \frac{4}{7}\left(\frac{f}{h}\right)^6 \cdots\cdot\right).$$

Nach diesem allgemeinen Ausdrucke läßt sich in jedem Falle die Länge der krummen Linie berechnen, sobald deren Spannweite und Höhe gegeben ist.

Von diesem Ausdruck, der natürlich noch mehrere Glieder hat, reichen diese drei hier angegebenen Glieder vollständig aus, indem wegen der gewöhnlich im Verhältniß zur Spannweite sehr gering angeordnet werdenden Pfeilhöhe des in der Klammer befindliche Glied $\frac{f}{h}$ schon immer ein kleiner Bruch ist und dieser durch die Erhebung zur 4ten und 6ten Potenz noch sehr bedeutend kleiner wird. In den meisten Fällen werden daher schon die zwei ersten Glieder allein zur Berechnung der Bogenlängen zureichen.

Will man die Länge s irgend eines Theiles der krummen Linie A O bestimmen, dessen Coordinaten x und y sind, so hat man nur diese statt h und f einzuführen und es würde der Ausdruck zur Bestimmung von s alsdann folgender sein:

$$s = x\left(1 + \frac{2}{3}\left(\frac{y}{x}\right)^2 = \frac{2}{5}\left(\frac{y}{x}\right)^4 + \frac{4}{7}\left(\frac{y}{x}\right)^6 \cdots\cdots\right).$$

Aus der Gleichung für c läßt sich nunmehr, indem man das bekannte Verfahren der Reihen anwendet, auch ein Ausdruck ableiten, nach welchem die Pfeilhöhe berechnet werden kann, wenn die Bogenhöhe und die Spannweite bekannt ist.

Bringt man zu dem Ende die Potenzen des Verhältnisses $\left(\frac{f}{h}\right)$ auf die eine Seite, so erhält man

$$\frac{c - h}{h} = \frac{2}{3}\left(\frac{f}{h}\right)^2 - \frac{2}{5}\left(\frac{f}{h}\right)^4 + \frac{4}{7}\left(\frac{f}{h}\right)^6 \cdots\cdot$$

Setzt man nun $\frac{c - h}{h} = z$ und $\left(\frac{f}{h}\right)^2 = t$, so kann man statt des vorliegenden Ausdrucks schreiben

$$z = \frac{2}{3}\,t + \frac{2}{5}\,t^2 + \frac{4}{7}\,t^3 - \cdots\cdot$$

Durch Umkehrung desselben kann aber nur

$$t = \alpha z + \beta z^2 + \gamma z^3 + \ldots$$

gefunden werden, wo dann $\alpha, \beta, \gamma \ldots$ noch näher zu bestimmende Coëfficienten bezeichnen. Entwickelt man daher, um diese zu finden, auch noch die darauf folgenden Potenzen von z, als z^2, $z^3 \ldots$, und stellt die hieraus gefundenen Werthe für t in obige für z aufgestellte Gleichung, so erhält man dieselbe

$$z = \tfrac{2}{3} a z - \frac{1}{15}(6\alpha^2 - 10\beta) z^2 + \frac{1}{105}(60\alpha^3 - 84\alpha\beta + 70\gamma) z^3 - \ldots$$

und weil nun in jeder Function diese Art Coëfficienten, welche zu einerlei Potenzen der Veränderlichen gehören, einander beiderseits gleich sind, so ist nothwendig

$$\frac{2}{3}\alpha = 1, \text{ also } \alpha = \frac{3}{2};$$

ferner ist

$$\frac{1}{15}(6\alpha^2 - 10\beta) = 0,$$

also

$$\beta = \frac{3\alpha^2}{5} = \frac{27}{20};$$

erner findet man auch leicht $\gamma = -\frac{81}{175}$ u. s. w.

Es ist somit

$$\left(\frac{f}{h}\right)^2 = \frac{3}{2}\frac{c-h}{h} + \frac{27}{20}\left(\frac{c-h}{h}\right)^2 \frac{81}{175}\left(\frac{c-h}{h}\right)^3 + \ldots$$

und hieraus also die Pfeilhöhe oder

$$f = h\sqrt{\frac{3}{2}\frac{c-h}{h} + \frac{27}{20}\left(\frac{c-h}{h}\right)^2 - \frac{81}{175}\left(\frac{c-h}{h}\right)^3 + \ldots}.$$

Durch ein ähnliches Verfahren erhält man eine Gleichung, nach welcher die einer gegebenen Kettenlänge und Spannweite zugehörige Pfeilhöhe bestimmt werden kann. Ist z. B. s die Länge des Bogens und y die zugehörige Ordinate, so ist die Gleichung, wonach y bestimmt wird

$$y = \frac{f s^2}{h^2} - \frac{4 f^3 s^4}{3 h^4} + \frac{176 f^5 s^6}{45 h^{10}} - \frac{4672 f^7 s^8}{315 h^{14}} + \ldots$$

Mittelst dieser Gleichung ist man nunmehr im Stande für Kettenbrücken, deren Kettenglieder gleich lang gemacht werden sollen, den verticalen Abstand eines in jeder beliebigen Entfernnng vom Scheitel der krummen Linie liegenden Punktes derselben von einer durch diesen Scheitel gelegt gedachten horizontalen Geraden und somit auch die in diesem Punkte erforderliche Länge der Hängestange zu berechnen, sobald die Entfernung dieses Punktes vom Scheitel der Bogenlänge noch bekannt ist.

Mit Hilfe der obigen Formeln kann man immer die Gestalt und die Länge der Ketten, die Spannung in jedem Punkte und die Pressungen auf die Aufhängepunkte ausmitteln und dadurch wird es wieder möglich, die Größe der Querschnitte zu bestimmen, welche die Kettenglieder erhalten müssen, um unter dem Gewichte und der Belastung der Fahrbahn nicht zu zerreißen.

Wir haben oben für die Spannung T im Punkte A gefunden

$T = Q\sqrt{1 + \tang \alpha^2}$ oder wenn wir für tang α und Q die Werthe setzen für die Coordinaten h und f, so entsteht

$$T - \frac{p\,h}{2\,f}\sqrt{h^2 + 4\,f^2}.$$

$$\text{Aus } T = Q\sqrt{1 + \tang \alpha^2}$$

geht unmittelbar hervor, daß im Scheitel der Curve, wo die Tangente mit der Abscisse parallel, die Spannung der Kette = Q ist, und nehmen somit die Spannungen der einzelnen Kettenglieder von den Aufhängepunkten bis zum Scheitel fortwährend ab. Gewöhnlich aber berechnet man den Querschnitt der Ketten nur nach der Formel

$$T = \frac{p\,h}{2\,f}\sqrt{h^2 + 4f^2},$$

welcher Ausdruck die Größe der Spannung der Kette an den Aufhängepunkten giebt, und behält die hieraus sich ergebende Stärke auch im Scheitel bei. Uebrigens hat man bei Bestimmung der Größe des Querschnitts der Kette wohl zu beachten, daß auch keine Veränderung durch die Last auf dieselbe hervorgebracht werde, als namentlich eine Ausdehnung der einzelnen Kettenglieder, weshalb die einzelnen Glieder unter keinerlei Umständen einer solchen Spannung ausgesetzt werden dürfen, die zu wiederholten Malen eintretend, dieselben immer mehr und mehr würden verlängern können.

§. 24. Von den Stützpfeilern und Ankerketten.

Die Ketten oder Taue, woran die Brückenbahn angehangen, müssen auf beiden Enden feste Punkte haben, woran sie befestigt werden. Ist nun die Stelle, auf welcher die Brücke angelegt werden soll, von der Beschaffenheit, daß sich in hinreichender Höhe Befestigungspunkte finden, so sind zwar solche Vorkehrungen zu treffen, daß die Ketten mit Sicherheit angehängt werden, allein es sind dann keine Stützpfeiler zu errichten. Im entgegengesetzten Falle aber müssen auf den Stirnpfeilern Stützpfeiler aufgeführt werden, auf denen die Ketten ruhen und jenseits derselben diese in schiefer Richtung nach dem Boden zu laufen, wo dann die Enden befestigt werden. Die Verlängerung der Kette jenseits der Pfeiler nennt man Anker- oder Spannketten.

In diesem letzteren Falle ist es nun unerläßlich, die Größe der Spannung zu bestimmen, welche als Folge der Spannung der Tragketten in den Ankerketten bewirkt wird, da hieraus nur auf die Größe des Querschnitts, den die letzteren erhalten müssen, so wie auf den Widerstand zu schließen ist, welchen die Befestigungspunkte dieser Ketten, den sie, nach der verschieden möglichen Befestigungsweise, verschieden in Anspruch nehmenden Kräften werden leisten müssen. Ferner aber läßt sich nun aus diesen verschiedenen Spannungen die Größe jener Kräfte ableiten, durch welche sowohl die rückwirkende Festigkeit

der Stützpfeiler, über welche die Ketten weggeführt werden, als auch ihre Standfähigkeit in Anspruch genommen werden.

Wir haben hier nun zunächst den einfachen Fall zu untersuchen, wo die Kette N A M Fig. 913 über eine vertical stehende Stütze A B wegläuft, mit deren oberem Ende A sie so fest verbunden ist, daß, je nachdem der horizontale aus den Spannungen der Kette hervorgehende Zug entweder nach D oder nach E hin größer wird, eine Bewegung in A nach D oder nach E hin nothwendig erfolgen muß.

Bezeichnet man nun, wie oben, den Winkel, den die Hängekette A M in A mit dem Horizonte bildet, mit α und ferner die wagerechte Seitenkraft der Spannung jener Kette mit Q, so haben wir oben gefunden den Werth dieser Spannung im Punkte A $= \frac{Q}{\text{Cos}\,\alpha}$. Im Zustande des Gleichgewichts muß der Punkt A daher so angesehen werden, als würde er, nach der Richtung A M durch die Kraft $\frac{Q}{\text{Cos}\,\alpha}$ getrieben, deren horizontale Seitenkraft Q und deren verticale Seitenkraft $\frac{Q\,\text{Sin}\,\alpha}{\text{Cos}\,\alpha} = Q\,\text{tang}\,\alpha$ ist.

Bezeichnet man ferner den Winkel, welche die Spannkette mit der Horizontalen D E einschließt, mit ω und mit R diejenige Spannung, welche in der Spannkette N im Zustande des Gleichgewichts stattfindet, so muß, da der Ständer einer einseitigen horizontalen Kraft nicht widerstehen kann, im Zustande des Gleichgewichts die Spannung nach A N die horizontale Seitenkraft Q der Spannung nach A M aufheben, und es ist daher

$$R\,\text{Cos}\,\omega = Q \text{ oder } R = \frac{Q}{\text{Cos}\,\omega}$$

Aus dieser Gleichung ersieht man nun, daß die Spannung der Spannkette bei der in Rede stehenden Anordnung um so geringer wird, je kleiner der Winkel ω, welchen die Spannkette mit dem Horizonte bildet, also je flacher die Spannkette zu liegen kommt; daß sie jedoch nie kleiner als die horizontale Spannung der Tragketten werden kann und daß sie ferner jener der Tragkette im Aufhängepunkte gleich wird, sobald die Winkel α und ω einander gleich sind. Es ist aber auch leicht zu ersehen, daß sie unendlich groß werden würde, wenn es möglich wäre, die Spannkette von A ab, vertical in den Boden treten zu lassen.

Die lothrechte Seitenkraft der Spannung der Befestigungskette ist nun ferner $R\,\text{Sin}\,\omega = Q\,\text{tang}\,\omega$ und bezeichnet man den ganzen verticalen Druck, welchen der Ständer von der Spannkette und Tragkette zu erleiden hat, mit P, so ist

$$P = Q\,(\text{tang}\,\alpha + \text{tang}\,\omega).$$

Aus dieser Gleichung ist ebenfalls zu ersehen, daß der Verticaldruck mit der Abnahme des Winkels ω abnimmt, aber wächst, sobald der Winkel ω wächst. Es muß daher der Ständer stark genug sein, um dieser Pressung widerstehen zu können.

Nehmen wir an, der Ständer stünde nicht vertical, sondern habe eine gegen die Spannkette geneigte Stellung, welche von der verticalen Richtung

A C um den Winkel β abweicht, so haben wir in diesem Falle die Spannung der Spannkette nach horizontaler Richtung und nach der Richtung der Stütze zu zerlegen. Die hier entstehenden Seitenkräfte der Spannungen sind jedenfalls verschieden von den oben gefundenen, weil hier durch die geneigte Stellung der Stütze die horizontale Spannung im Punkte A nothwendig kleiner werden muß. Bezeichnen nun R und T die Spannungen der Spannkette und Tragkette, so haben wir in Bezug auf Fig. 914 unter Beibehaltung der obigen Bedeutung der Größe α und ω

die horizontale Spannung oder Seitenkraft der Spannung

$$(R = R\ (\text{tang}\ \beta\ \text{Sin}\ \omega + \text{Cos}\ \omega) = \frac{R\ \text{Sin}\ \beta\ \text{Sin}\ \omega + \text{Cos}\ \beta\ \text{Cos}\ \omega}{\text{Cos}\ \beta}$$

oder

$$= \frac{R\ \text{Cos}\ (\omega - \beta)}{\text{Cos}\ \beta};$$

ferner die horizontale Spannung oder Seitenkraft der Spannung T

$$= T\ (\text{tang}\ \beta\ \text{Sin}\ \alpha - \text{Cos}\ \alpha) = \frac{T\ \text{Cos}\ (\alpha + \beta)}{\text{Cos}\ \beta}.$$

Da aber hier Gleichgewicht stattfinden soll, so müssen auch die beiden sich ergebenden horizontalen Spannungen einander gleich sein, und man hat sonach für diesen Zustand

$$R\ \text{Cos}\ (\omega - \beta) = T\ \text{Cos}\ (\alpha - \beta)$$

und hieraus findet man dann die fragliche Spannung der Spannkette oder

$$R = T\ \frac{\text{Cos}\ (\alpha + \beta)}{\text{Cos}\ (\omega + \beta)}.$$

Die in der Richtung der Stütze von A gegen B wirkenden Seitenkräfte der Spaunungen T und R ergeben sich ferner mit

$$T\ \frac{\text{Sin}\ \alpha}{\text{Cos}\ \beta}\ \text{und}\ T\ \frac{\text{Sin}\ \omega}{\text{Cos}\ \beta}$$

und sonach ergiebt sich der Gesammtdruck oder

$$P = \frac{T\ \text{Sin}\ \alpha + R\ \text{Sin}\ \omega}{\text{Cos}\ \beta}.$$

Geringer, als sie sich aus den bisher dafür aufgestellten Gleichungen ergiebt, wird die Spannung der Spannketten in jenen Fällen bleiben, wo die Ketten auf Pfeilern befestigt werden, welche eine durch ihre Schwere und Construction bedingte Standfähigkeit besitzen. Denn ruhen die Ketten auf einem steinernen Pfeiler oder auf einem Verbande von Holz oder Eisen, der eine breite Grundfläche hat, so können die Pfeiler oder Stützböcke einer darauf nach der Quere wirkenden Kraft widerstehen. Es brauchen dann die Ketten nicht, wie in den vorhin angenommenen Fällen nöthig, an die oberen Enden der Ständer befestigt, sondern blos auf die Stützpunkte gelegt zu werden, so daß die Spannketten zu Verlängerungen der Tragketten werden und somit beide zusammen nur eine Kette bilden, die sowohl nach der einen als auch nach der andern Seite gleiten kann, ohne daß der Stützpunkt an der Bewegung Theil nimmt.

Wir haben nunmehr das Verhältniß der Spannungen der beiden Theile der Kette und die Wirkung auf den Stützpunkt aufzufinden.

Es sei zu dem Ende MACN die aus einem Stücke bestehende Hänge- und Spannkette, welche in AC auf dem Pfeiler ABDE Fig. 915 liegt. Die Höhe des Pfeilers sei gleich h, seine Breite in der Krone und am Fuße gleich b und seine obere Länge gleich l; ferner sei die Ausladung des Pfeilers am Fuße nach der Spann- und Tragseite das nfache seiner Höhe und g sei das Einheitsgewicht des Pfeilers. Die Größen T, R, ω, α behalten auch hier die angenommene Bezeichnung.

Der körperliche Inhalt des ganzen Pfeilers ist nach dieser Bezeichnung

$$= (l + n\,h)\,b\,h$$

und daher das statische Moment, mit welchem der Pfeiler den ihn um die Kante B gegen M zu drehen suchenden Kräften widersteht

$$= \left(\frac{l}{2} + nh\right)(l + nh)\,b\,h\,g.$$

Die Kraft nun, welche den Pfeiler gegen die Bahn hin zu neigen strebt, ist gleich der Differenz der horizontalen Seitenkräfte der in den Punkten A und C stattfindenden Tragketten- und Spannketten-Spannungen, also ist der horizontale Zug, wenn man die Punkte A und C gleich hoch liegend annimmt, der von A nach K stattfindet

$$= T \operatorname{Cos} \alpha - R \operatorname{Cos} \omega$$

und demnach das auf die Drehungsachse B bezogene Moment dieser auf den Umsturz des Pfeilers wirkenden Kraft $= h\,(T \operatorname{Cos} \alpha - R \operatorname{Cos} \omega)$.

Aus den Spannungen T und R entstehen aber auch gleichzeitig verticale Seitenkräfte $T \operatorname{Sin} \alpha$ und $R \operatorname{Sin} \omega$, welche die Stabilität des Pfeilers noch vergrößern. Bildet man nun die statischen Momente dieser Verticalpressungen in Bezug auf die Drehachse B, so ist das Moment der Kraft $T \operatorname{Sin} \alpha$

$$= n\,h\,T \operatorname{Sin} \alpha$$

und das Moment der Kraft $R \operatorname{Sin} \omega = (l + n\,h\,R \operatorname{Sin} \omega)$,

mithin muß, wenn wirklich keine Bewegung stattfindet und wirklich Gleichgewicht vorhanden ist,

$$h\,(T \operatorname{Cos} \alpha - R \operatorname{Cos} \omega) = \left(\frac{l}{2} + nh\right)(l + nh)\,b\,h\,g + n\,h\,T \operatorname{Sin} \alpha + (l + nh)\,R \operatorname{Sin} \omega$$

sein.

Man kann auch auf die Weise prüfen, ob die Stabilität des Pfeilers zureichend ist, indem man die Mittelkraft aus den Spannungen R und T sucht, wobei also vorausgesetzt wird, daß diese beiden Kräfte schon bekannt sind. Geht dann die Richtung dieser Mittelkraft noch innerhalb der Grundfläche des Pfeilers fort, so ist die Stabilität desselben in keiner Weise gefährdet; findet dieses aber nicht statt, und geht die Richtung außerhalb des Drehpunktes B fort, so muß für den Zustand des gesicherten Gleichgewichts das statische Moment des Pfeilers in Bezug auf die Drehachse B dem der auf dieselbe Achse bezogenen Mittelkraft aus R und T wenigstens gleich sein.

Die Größe dieser Mittelkraft findet man aus dem Parallelogramm EGFL Fig. 915, in welchem EG die Spannung der Spannkette und FG die der Tragkette bezeichnet. Bezeichnet man nun diese Mittelkraft mit P, so ist, da $\angle GFL = \alpha + \omega$ ist,

$$P = \sqrt{R^2 + T^2 - 2\,R\,T\,\mathrm{Cos}\,(\alpha + \omega)}.$$

Ist nun der Winkel, welchen die Richtung der Mittelkraft mit der Verticalen bildet, gleich β, so hat man zur Bestimmung desselben, da die Tangente dieses Winkels dem Quotienten aus der verticalen Seitenkraft der Kraft P in ihrer horizontalen Seitenkraft gleich ist, die Gleichung

$$\mathrm{tang}\,\beta = \frac{T\,\mathrm{Cos}\,\alpha - R\,\mathrm{Cos}\,\omega}{T\,\mathrm{Sin}\,\alpha + R\,\mathrm{Sin}\,\omega}.$$

Aus diesem Ausdrucke ist nun leicht zu ersehen, daß mit einer Abnahme von ω auch der Werth von P sich verkleinert.

Bei der bisherigen Annahme waren die Ketten auf dem Scheitel der Pfeiler als mit diesen untrennbar vorausgesetzt. Nehmen wir nun an, daß die Ketten, je nachdem ihre Spannung in den Tragketten oder in den Spannketten überwiegend ist, auf dem Scheitel der Pfeiler über ein beide Ketten berührendes Kreissegment hin und her gleiten können, so ist auch selbstredend, daß dieses Gleiten nicht ohne Reibung vor sich gehen kann, welche aber einen Widerstand erzeugt, der auf die Spannung der Spannkette, als Folge der Tragkettenspannung, ein weiteres Gleiten nicht mehr zulassen würde.

Nimmt man nun an, daß der Reibungswiderstand gleich Null sei, so ist für den Zustand des Gleichgewichts unter Beibehaltung obiger Bezeichnung der Größen R, T, α, ω, jedenfalls

$$R = T.$$

Zerlegt man dann diese Größen in verticale und horizontale Seitenkräfte so ist der verticale Druck, welchen der Pfeiler von beiden Ketten erleidet,

$$= T\,\mathrm{Sin}\,\alpha + R\,\mathrm{Sin}\,\omega;$$

ferner aber ist $T\,(\mathrm{Cos}\,\alpha - \mathrm{Cos}\,\omega)$ der Unterschied beider horizontalen Seitenkräfte, oder die Kraft, mit welcher der Pfeiler in den Aufhängepunkten horizontal gegen die Bahn hin in Anspruch genommen wird.

Aus beiden Werthen läßt sich nun leicht ersehen, daß ihre Größe sich um so mehr verkleinert, je mehr der Winkel ω sich dem Winkel α nähert.

Allein, wenn wir auch ein Gleiten der Ketten über die Pfeiler annehmen, so kann dies doch nie stattfinden, ohne daß nicht Reibung erzeugt wird, in welchem Falle aber die Spannung der Spannketten immer kleiner bleiben wird, als jene der Tragketten, indem hierbei eine Wirkung stattfindet, die der ähnlich ist, welche erhalten wird, wenn man ein Seil um einen unbeweglichen Cylinder schlägt, und wo eine kleine Kraft einer sehr großen Spannung das Gleichgewicht hält.

Wir haben nunmehr zu untersuchen, wie groß die Kraft ist, welche zur Ueberwindung dieser Reibung erforderlich ist, und sei zu dem Ende B A Fig. 916 der Halbmesser eines unbeweglichen Cylinders, um welchen ein von F bis E anliegendes, vollkommen biegsames Seil auf der einen Seite durch die Kraft R gehalten, auf der anderen Seite aber durch die Kraft T in Bewegung gebracht werden soll, von welchen Kräften R kleiner als T, die aber durch die stattfindende Reibung eben noch im Zustande des Gleichgewichts erhalten werden.

Denkt man sich nun den Bogen A E möglichst klein und bezeichnet die

Kraft, welche am Ende dieses möglichst kleinen Theils der Kraft T das Gleichgewicht hält mit R, so kann, soweit es sich blos um die Größe des senkrechten Druckes handelt, welcher aus den Spannungen R′ und S′ auf dieses kleine Theilchen hervorgeht, R = T angenommen werden. Verlängert man daher die Richtungen dieser Kräfte, deren Angriffspunkte A und E sind, bis zu ihrem Durchschnittspunkte B und stellen A B und B E die Größen dieser Kräfte vor, bezeichne man dann ferner den Winkel A C B $= \beta$, so findet man leicht die aus den Kräften A B und B E hervorgehende Mittelkraft oder

$$M = 2\,T \operatorname{Sin} \beta.$$

Dieser Ausdruck stellt sonach jene Kraft vor, womit das Seilelement A E an den Cylinder angedrückt wird, und ist daher dieselbe mit dem Reibungs-Coëfficienten μ zu multipliciren, um die Größe jener Kraft zu erhalten, welche zur Ueberwindung der Reibung des Seiles am Cylinder erforderlich ist. Hierdurch erhält man die Größe der Kraft R′ welche am Ende des Elements A E mit der Kraft T im Gleichgewicht ist, wenn man dieser das zuletzt erwähnte Prodruct in Abzug bringt. Demnach ist

$$R = T\,(1 - 2\,\mu \operatorname{Sin} \beta).$$

Auf eine ähnliche Art findet man für die Spannung R″, welche am Ende eines zweiten solchen Elements der Kraft R′, und somit auch der Spannung T das Gleichgewicht hält, den Ausdruck

$$R'' = R'\,(1 - 2\,\mu \operatorname{Sin} \beta).$$

oder substituirt man hierin den Werth für R′, so ist

$$R'' = T\,(1 - 2\,\mu \operatorname{Sin} \beta)^2.$$

Auf dieselbe Weise erhält man dann ferner auch

$$R''' = T\,(1 - 2\,\mu \operatorname{Sin} \beta)^3,$$

$$R^{IV} = T\,(1 - 2\,\mu \operatorname{Sin} \beta)^4 \text{ u. s. w.}$$

Ist nun der Winkel A B E der nte Theil des der Bogenlänge E F entsprechenden Winkels ECF, so wird endlich

$$R = T\,(1 - 2\,\mu \operatorname{Sin} \beta)^n \text{ gefunden werden.}$$

Denkt man sich nun die Zahl n groß genug, so daß man den Winkel β sehr klein erhält, so kann man auch statt den Sinus des Winkels β, die diesem Winkel zugehörige Bogenlänge einführen und bezeichnet man diese mit z, so erhält man leicht

$$z = \frac{\beta\,\pi}{180}, \text{ so daß also,}$$

wenn man diese Größe für Sin β einführt,

$$R = S\left(1 - \frac{\mu\,\beta\,\pi}{90}\right)^n \text{ erhalten wird.}$$

Bezeichnet man nun ferner die dem Winkel A B E $= 2\,\beta$ für den Halbmesser r entsprechende Bogenlänge mit s, so erhält man leicht

$$\beta = \frac{90\,.\,s}{r\,\pi}$$

und substituirt man diesen Werth für β wieder in die letzte Gleichung, so erhält man

$$R = T\left(1 - \frac{\mu s}{r}\right)^n$$

worin s alsdann den nten Theil der ganzen Bogenlänge, auf welcher eine Reibung des Seiles stattfindet, μ den Reibungscoëfficienten und r den Krümmungshalbmesser des Bogens darstellt.

Entwickelt man nun diese Gleichung für R, so erhält man

$$R = T\left(1 - \frac{n\,\mu\,s}{r} + \frac{n(n-1)}{2}\left(\frac{\mu s}{r}\right)^2 - \frac{n(n-1)(n-2)}{2.3}\cdot\left(\frac{\mu s}{r}\right)^3 + \frac{n(n-1)(n-2)(n-3)}{2.3.4.}\cdot\left(\frac{\mu s}{r}\right)^4 - \ldots\right).$$

Ist nun die ganze Bögenlänge gleich l, also

$s = \frac{l}{n}$, so erhält man nach erfolgter Substitution für s

$$R = T\left(1 - \frac{\mu l}{r} + \frac{(n-1)(\mu l)^2}{2\ n r^2} - \frac{(n-1)(n-2)}{6}\cdot\frac{(\mu l)^3}{n^2 r^3} + \frac{(n-1)(n-2)(n-1)}{24}\,\frac{(\mu l)^4}{n^3 r^4} - \ldots\right).$$

Wählt man nun endlich n sehr groß, so daß man ohne Nachtheil statt $n - 1$, n setzen kann; ferner n^2 statt $(n-1)(n-2)$, n^3 statt $(n-1)(n-2)(n-3)$ u. s. w. so erhält man endlich

$$R = T\left(1 - \frac{\mu l}{r} + \frac{1}{2}\left(\frac{\mu l}{r}\right)^2 - \frac{1}{6}\left(\frac{\mu l}{r}\right)^3 + \frac{1}{24}\left(\frac{\mu l}{r}\right)^4 - \ldots\ldots\right).$$

Nehmen wir ferner an, A C sei ein Kreisbogen, der die beiden Richtungen der Ketten berührt, so bilden die beiden Normalen auf die Richtungen A M und C N einen Winkel, welcher $= \alpha + \omega$ ist, und es ergiebt sich dann für diese Bogenlänge AC Fig. 917, oder mit Rücksicht auf die dafür gewählte Bezeichnung

$$\frac{l}{r} = \frac{\pi(\alpha + \omega)}{180}.$$

Substituirt man diesen Werth dann für $\frac{l}{r}$ in die letzte Gleichung, so erhält man

$$R + S\left(1 - \frac{\mu\pi(\alpha+\omega)}{180} + \frac{1}{2}\left(\frac{\mu\pi(\alpha+\omega)}{180}\right)^2 - \frac{1}{6}\left(\frac{\mu\pi(\alpha+\omega)}{180}\right)^2 + \frac{1}{24}\left(\frac{\mu\pi(\alpha+\omega)}{180}\right)^4 - \ldots\right).$$

Bei dem Gebrauche dieser Gleichung kann man sich in den meisten Fällen mit den drei ersten Gliedern dieser Gleichung begnügen, indem nicht nur μ, sondern auch $\frac{\pi(\alpha+\omega)}{180}$ gewöhnlich Brüche zu sein pflegen.

Aus diesen Untersuchungen läßt sich ersehen, daß der Einfluß des aus der Reibung der Ketten auf den Pfeilern entstehenden Abgleitungswiderstandes, bei vollkommen unbeweglichen Pfeilern, die Spannung der Tragketten nicht ganz, sondern bald mehr, bald weniger gemindert, in die Spannketten übertreten läßt. In diesem Falle wird nämlich das Gleiten der Ketten über die Pfeiler nur so lange vor sich gehen, bis sich in den Spannketten die, durch die letzte Gleichung

bedingte Spannung erzeugt hat; alsdann verhindert der durch diese Spannung und durch jene der Tragketten ausgeübte Druck auf die Tragpfeiler in Folge des hieraus anwachsenden Reibungswiderstandes jede weitere Bewegung der Ketten über die Pfeiler.

Nunmehr lassen sich der horizontale Zug, welcher, wenn in den Spannketten die durch die letzte Gleichung bedingte Spannung bereits eingetreten ist, nach der Bahnseite im Aufhängepunkte stattfindet, und der verticale Druck, welchen die Pfeiler alsdann zu erleiden haben, so wie die Richtung und Größe der, aus der so ermittelten Spannung R und der in den Tragketten stattfindenden Spannung T hervorgehenden Mittelkraft berechnen, wenn man in die oben gefundenen Ausdrücke

$$T \operatorname{Cos} \alpha - R \operatorname{Cos} \omega$$
$$T \operatorname{Sin} \alpha + R \operatorname{Sin} \omega$$
$$\text{und } P + \sqrt{R^2 + T^2 - 2\,R\,T \operatorname{Cos}(\alpha + \omega)}$$

für R den gefundenen Werth einführt.

Aus der Gleichung für R geht unmittelbar hervor, daß die Spannung R der Spannkette im Verhältniß zu T der Spannung der Hängekette, um so kleiner ist, je größer der Werth des Reibungscoëfficienten μ ist. Man vermindert daher die Wirkung der Spannkette und vermehrt die Kraft, welche den Pfeiler umzuwerfen strebt, um so stärker, je schwieriger man das Gleiten der Kette auf dem Pfeiler macht. Es wird daher stets gut sein, die hierdurch nothwendig hervorgerufene stärkere wagerechte Pressung so viel als möglich zu verringern.

Um dies zu erreichen, kann man die Kette über Rollen laufen lassen wie in Fig 918 angedeutet ist. Bei dieser Anordnung erreicht man den Vortheil, daß der Punkt, in welchem die Enden der Ketten befestigt sind, jeder Pressung nach der Länge der Kette nachgiebt, und wenn daher das System im Gleichgewicht sein soll, so müssen die wagerechten Spannungen nach A M und B N gleich sein. Bezeichnet man nunmehr noch immer den Winkel, welche die Richtungen jener Spannungen mit dem Horizonte bilden, mit α und ω und sieht man zugleich die Reibungen (die wälzende im Umfange der Rollen und die gleitende in den Zapfenlagern) so klein an, daß man sie füglich außer Acht lassen kann, so ergiebt sich der Werth der Spannung in der Spannkette B N aus

$$R = \frac{Q}{\operatorname{Cos} \omega}.$$

Hierbei erleidet der Stützpfeiler keine wagerechte Pressung, wenigstens keine bedeutende, indem dieselbe dem Unterschiede der wagerechten Seitenkräfte der Spannungen in beiden Ketten gleich ist. Der lothrechte Druck ergiebt sich hier aus der Gleichung

$$P = Q\,(\operatorname{tang} \alpha + \operatorname{tang} \omega).$$

Endlich ist aber noch zu bemerken, daß, wie auch schon oben angeführt wurde, die Wirkung der Kette den Pfeiler ABCD Fig. 915 nicht umzuwerfen strebt, so lange die Richtung der Mittelkraft beider Spannungen zwischen den

Kanten B und D der Grundfläche BD durchgeht. Der Pfeiler wird dann blos zusammengepreßt und es ist nichts weiter nöthig, als daß die Materialien, die zum Pfeiler verwendet werden, der sie zusammendrückenden Kraft vollkommen widerstehen können, deren Werth aber aus den bezüglichen Formeln leicht gefunden werden kann.

Es müssen nun auch noch die Bedingungen des Gleichgewichts für den Zustand angegeben werden, in welchem die Stützpfeiler eben anfangen umzustürzen, da hier noch der erforderliche Widerstand berechnet werden muß.

Nimmt man an, daß die Kette sich in der Oberfläche der Stützpfeiler nach einem Kreisbogen A C Fig. 945 krümme, dessen Tangenten in A und C die Richtungen A M und C N sind, und daß die Kette auf der krummen Linie, welche den Stützpfeiler oben begränzt, nicht ohne Reibung gleiten könne, und betrachtet den Stützpfeiler in dem Augenblick, wo er der Mittelkraft P, deren Richtung G B ist, nachzugeben, also sich um die Kante B zu drehen anfängt, so kann diese Bewegung nur dann stattfinden, wenn der Theil A C der Kette und die krumme Linie, auf der er liegt an einander weggleiten, und es muß daher die daraus entstehende Reibung sich dem Umsturze des Stützpfeilers widersetzen, und gemeinschaftlich mit dem Gewichte des letzteren dahin wirken, diesen in seiner Lage zu erhalten. Will man die Wirkung der erwähnten Reibung bestimmen, so erwäge man, daß, wenn man die Kette so ansieht, als könne sie in der Richtung B A gleiten, die Wirkung der Reibung die ist, die Spannung der Kette, vom Punkte A nach dem Punkte C zu, zu vermindern. Im vorliegenden Falle aber, von welchem hier die Rede ist, muß die Kette als unbeweglich angesehen werden, und die krumme Linie auf der dieselbe ruht, so, als wenn sie nach der Richtung C A fortglitte, was mit dem Falle gleichbedeutend ist, in welchem die fragliche krumme Linie unbeweglich ist und die Kette darauf nach der Richtung A C zu gleiten anfängt. Es wirkt daher hier die Reibung in einer Richtung, die der im früher vorgekommenen Falle entgegengesetzt ist, so daß also hier die Spannung der Kette vom Punkte A nach dem Punkte C zu wächst. Hieraus folgt, wenn man die obige Bezeichnung beibehält, daß, da die Spannung nach A M immer $= T$ bleibt, in dem Augenblicke, in welchem der Pfeiler sich um die Achse B anfinge zu drehen, in dem mit C N bezeichneten Theile der Kette sich eine Spannung R erzeugen würde, für die

$$P = R\,(1 - 2\,\mu \operatorname{Sin} \alpha)^n \text{ und}$$

$$\text{hieraus } R = \frac{T}{(1 - 2\,\mu \operatorname{Sin} \beta)^n} \text{ würde.}$$

Ist der Theil C N der Kette stark genug, um auch unter dieser neuen Spannung nicht zu zerreißen, so ist es für die Pfeiler, um nicht umgeworfen werden zu können, hinreichend, wenn ihre Dimensionen von der Art sind, daß sie der Gleichung

$$h\left(T \operatorname{Cos} \alpha - R \operatorname{Cos} \omega\right) = \left(\frac{1}{2} + n\,h\right)(+ n\,h).\,b\,h\,g + n\,h\,T.\operatorname{Sin} \alpha + (l + n\,h)$$
$$R \operatorname{Sin} \omega$$

mit Einführung der hier gefundenen Größe R entspreche.

Oder wenn man bei der Berechnung der Standfähigkeit des Stützpfeilers,

den letzteren so ansieht, als wirkte darauf im Punkte A in der Richtung A M die Kraft T und im Punkte C in der Richtung C N die Kraft $R = \frac{T}{(1 - 2\mu \operatorname{Sin}\beta)^n}$. Bestimmt man nun aus der oben gefundenen Gleichung

$$P = \sqrt{R^2 + T^2 - 2\,R\,T \operatorname{Cos}(\alpha - \omega)},$$

indem man darin für R den zuletzt gefundenen Werth setzt, die Größe der Mittelkraft P und aus der Gleichung $\operatorname{tang}\beta = \frac{T \operatorname{Cos}\alpha - R \operatorname{Cos}\omega}{T \operatorname{Sin}\alpha = R \operatorname{Sin}\omega'}$ so findet man ihre Richtung.

Diese Richtung geht nun entweder zwischen B und D durch oder nicht. Im ersteren Falle kann der Stützpfeiler nicht umstürzen und es ist dann nur nöthig, Sorge dafür zu tragen, daß seine rückwirkende Festigkeit groß genug sei, um der Einwirkung widerstehen zu können. Fällt aber die Richtung der Mittelkraft dennoch über den Punkt B hinaus, so hat man zu untersuchen, ob die Standfähigkeit des Stützpfeilers, in Bezug auf die durch B gehende Drehachse größer ist, als das Moment der Kraft P, welche den Stützpfeiler um dieselbe Achse nach der entgegengesetzten Richtung zu drehen strebt.

Hat eine Hängebrücke mehrere Oeffnungen und wirkt auf die Ketten, welche die Fahrbahn in einer Oeffnung tragen, eine hinzukommende zufällige Belastung unmittelbar, so hat man die Spannung der Ketten zu beiden Seiten des Pfeilers, einmal für die Brücke ohne Belastung und dann auch für die Brücke mit Belastung zu berechnen. Bestimmt man alsdann hieraus die Mittelkraft, so ist diese diejenige Kraft, welche den Stützpfeiler umzuwerfen strebt.

§. 25. Ueber Befestigung der Anker- oder Spannketten.

Die Enden der Ketten können auf verschiedene Art im Boden befestigt werden und sollen hier die vorzüglichsten Fälle näher angeführt werden.

Die einfachste Anordnung ist jedenfalls die, wo die Befestigungskette in unveränderter Richtung im Erdreiche fortgesetzt und an deren Ende eine Platte, die aus einem Holzverbande oder aus Eisen besteht, angebracht wird, wie in Fig. 919 angedeutet. Es ist offenbar denkbar, daß bei eintretender Spannung der Spannketten irgend ein Erdprisma E C D F mit einem eintretenden Losreißen von dem dasselbe umgebenden Erdkörper auf der Ebene D F herausgeschoben wird. Dieser Körper, dessen Grundfläche die Platte C D ist, wird durch zwei geneigte Ebenen C E und D F und durch zwei andere begränzt, zwischen denen die Platte C D liegt. Die Lage der unteren Grundfläche C D ist nun zwar gegeben, und eben so auch die der oberen Grundfläche E F, allein die Richtungen der beiden Seitenflächen sind unbekannt und daher näher zu bestimmen. Allein es ist sehr schwierig, die Bedingungen des Gleichgewichts genau durch Rechnung anzugeben und deshalb, um in dieser Beziehung sicher zu gehen, am rathsamsten, daß man unter allen hier denkbaren Prismen dasjenige in Rechnung bringt, welches den kleinsten Widerstand leistet; und

hat man dann denjenigen Widerstand zu ermitteln, welchen dieses Prisma, indem man ihm bald mehr, bald weniger geneigte Seitenflächen giebt, dem Abschieben, Losreißen und Heben entgegensetzt. Ferner ist aber hier auch noch erforderlich, daß, indem man die Spannung R am unteren Ende in eine horizontale und verticale Seitenkraft zerlegt, durch erstere kein Abschieben des Körpers E C D H B auf der horizontalen Ebene D H oder auf irgend einer geneigten Ebene D I, und durch letztere kein Herausheben des Körpers E C D F aus dem ihn umgebenden Terrain möglich sei.

Bei dem in Rede stehenden Falle läßt sich der Widerstand noch bedeutend dadurch vermehren, daß man die Grundplatte C D Fig. 920 in die Grundfläche eines Mauerwerks C D c d verwandelt, welches einen Theil eines Gewölbes bildet. Hierdurch vermehrt man das Volumen der Materien, welche die Befestigungskette A N nach sich ziehen würde, wenn die Spannung der letzteren so weit zunähme, daß sie jene mit fortziehen könnte. In diesem Falle würde die Figur C D d E F das Profil des prismatischen Körpers vorstellen, welchen auf der schiefen Fläche d F zu erheben, die Kette ein Bestreben haben würde. Auch in diesem Falle würde man, gleicher Weise wie vorhin, zu prüfen haben, ob nicht etwa das Abschieben des prismatischen Körpers und des davor liegenden Erdkörpers auf einer horizontalen oder irgend geneigten Ebene bewirkt werden könnte. Dieses würde um so nothwendiger sein, und zumal für den Fall, daß das umgebende Erdreich vom Hochwasser erreicht würde, wo dann die früher vorhandenen Widerstände jedenfalls sehr bedeutend vermindert werden würden, indem dadurch sowohl die Cohäsion als auch die Reibung des Erdreichs eine bedeutende Verminderung erlitten.

Wir haben oben angeführt, daß man die Spannung der Kette A N an ihrem Wurzelende nach horizontaler und verticaler Richtung zu zerlegen hätte, und in Beziehung auf letztere zu untersuchen, ob ein Herausheben des Körpers E C D F möglich sei. Dieses Heben könnte aber nur darin bestehen, daß der Körper sich um irgend eine feste Achse drehte. Bei der hier angenommenen Bauart läßt sich nun die Lage der Achse wohl nicht im Voraus bestimmen. Nehmen wir aber an, der aus Erde und Mauerwerk bestehende Körper, durch welchen die Kette geht, sei gleichförmig dicht und unpreßbar, so müßte die fragliche Drehachse in der Oberfläche des Bodens liegen. Der Punkt sei in F Fig. 921, so kann man annehmen, daß ein Prisma, dessen Durchschnitt das Viereck C D F E darstellt, durch die Wirkung der Kette von dem umliegenden Erdreich losgerissen, und um die durch F gehende Achse nach oben gedreht werde. Das Moment der Kraft wäre dann das Product aus der Spannung der Kette, und der aus F auf A N gezogenen Normale; das Moment des Prismas aber würde sein das Product aus dessen Gewicht und dem Abstande der Verticalen durch dessen Schwerpunkt vom Punkte F, zusammen genommen mit den Momenten der Cohäsion in den Flächen C E und D F und mit denen der Cohäsion und der Reibung in den übrigen Seitenflächen. Für die Flächen C E und D F sowohl, als für die beiden übrigen müßten nach und nach verschiedene Richtungen angenommen, und die gewählt werden, für welche die Summe der Momente der Widerstände, im Verhältniß

zu dem der Spannung der Kette, am kleinsten würde; und hierauf müßte, unter Annahme der letzteren Richtungen, der Körper so groß eingerichtet werden, daß er durch die Spannung der Kette nicht in Bewegung gesetzt werden könnte. Da das Erdreich aber preßbar ist, so kann die Drehungsachse nicht in der Oberfläche liegen. Das erhoben werdende Prisma müßte sich gegen eine Fläche F H lehnen können, welche groß genug wäre, um dem darauf wirkenden Druck widerstehen zu können, und daher müßte die Drehungsachse in H angenommen werden, so wie ferner das statische Moment der Spannung der Kette, das statische Moment des Schwerpunkts des Körpers C D H F E und der zum Losreißen dieser Körper von den sie umgebenden Erdkörpern erforderlichen Kräfte auf den Punkt H als Drehungsachse bezogen werden.

Man darf übrigens, wie auch schon oben angeführt wurde, nie zu viel auf die Widerstände rechnen, die von der Cohäsion des Erdreichs herrühren, da ihr Werth sich durchaus nicht mit Sicherheit bestimmen läßt, sondern nur auf das Gewicht der Materien, welche die Ketten zu erheben streben.

Wir haben nunmehr noch diejenigen Fälle zu untersuchen, wenn die Spannketten statt in dem natürlichen Erdboden in einem größeren massiven Mauerkörper ihre Befestigung finden.

Erhalten die Spannketten ihre Befestigung statt in dem natürlichen Erdboden in einem größeren massiven Mauerkörper, ohne daß ihre, in den Aufhängepunkten stattfindende Richtung geändert wird, so läßt sich nach dem Bisherigen der nöthige Widerstand bestimmen, und zwar um so sicherer, da man nicht viel auf die Widerstände zu rechnen nöthig hat, die von der Cohäsion des Erdreichs herrühren und deren Werth sich durchaus nicht mit Sicherheit bestimmen läßt, sondern hauptsächlich nur auf das Gewicht der Materien welche die Ketten zu erheben streben.

Ein anderer Fall ist aber der, wo die Spannketten da, wo sie in den Erdboden treten, ihre Richtung ändern, indem sie, wie in Fig. 921 angedeutet, bei N an ein gewölbtes Mauerwerk anliegend, von N bis C vertical in den Erdboden fortgeführt werden. Hier ist der Widerstand, den die Spannung der Kette findet, wenigstens eben so groß als das Gewicht der im Körper G E C D F enthaltenen Materie, zusammen genommen mit der Cohäsion der Erde in den Seiten desselben Körpers. Hierbei ist indessen zu bemerken, daß sich die Kette in N gegen eine gekrümmte Fläche legen muß, welche letztere einen Druck erleidet, der der Mittelkraft aus den beiden Spannungen nach der Richtung N A und N C gleich ist; man hat daher ferner darauf zu achten, daß durch den Druck dieser Mittelkraft, der Körper, welcher sich zwischen der Kette und der Steinfläche des Landpfeilers der Brücke befindet, nicht etwa nach horizontaler oder geneigter Richtung abgeschoben werde. Hat man sich hierüber versichert, so muß ferner, um die Wirkung der Preßbarkeit der oberen Schichten jenes Körpers unschädlich zu machen, in N ein Gemäuer angebracht werden, welches die abgerundete Stützfläche bildet; dasselbe muß aber auch wieder so hergestellt werden und ein solches Fundament erhalten, daß ein Verschieben oder Verrücken desselben nicht zu befürchten steht.

Nehmen wir nun an, die Stützfläche in N sei vollkommen fest, so wird

sich auch hier eine Reibung auf derselben zeigen, und in Folge dessen würde sich die Spannung im Theile N A der Kette nicht ganz auf den Theil C N fortpflanzen und könnte man den Unterschied auf die weiter oben angegebene Art berechnen. Wäre nun die Spannung nach N A = R, so würde man für die nach N C einen anderen Werth R′ finden, der jedenfalls kleiner würde wie R. Um aber sicher zu gehen, darf man nicht hieraus schließen, daß es nun auch hinreichend sei, den Widerstand am Ende C der Kette = R′ zu machen; denn würde das Gleichgewicht unterbrochen, so würden die gekrümmte Stützfläche und der Bau, auf welchem diese ruht, selbst mit hinweg gezogen und die Wirkung der Reibung ganz verschieden. Es ist daher nöthig, daß der Widerstand in C der ganzen Spannung der Befestigungskette gleich sei.

Aehnliche Untersuchungen hat man auch vorzunehmen, wenn die Spannketten schon oberhalb, in zu diesem Ende aufgeführten niedrigen Pfeilern F H Fig. 922, ihre schiefe Richtung A N in eine verticale F C verwandeln; nur hat man in diesem Falle noch das Abschieben der oberhalb befindlichen Pfeiler über ihrem Fundamentmauerwerke zu berücksichtigen. Es findet also streng genommen dasselbe statt, was schon bei dem vorhergehenden Falle erwähnt wurde, nur mit dem Unterschiede, daß hier der Körper, welcher der Mittelkraft aus den beiden Spannungen nach der Richtung N A und N C, Widerstand zu leisten hat, zu Tage liegt.

Um diese Mittelkraft zu finden, welche hier durch die Linie N E vorgestellt werden möge und welche aus der Spannung R des Theiles A N und der Spannung S des Theiles N C der Spannketten hervorgeht, so sei der Winkel S N E, welchen die Mittelkraft mit den Verticalen einschließt gleich β und der Winkel, welchen die Spannkette A N mit dem Horizonte bildet, sei wie bisher durch ω ausgedrückt. Construirt man nun aus den Kräften R und S das Kräfteparallelogramm S N R E und zerlegt dann die Mittelkraft N E oder P nach horizontaler und verticaler Richtung, so ist erstere jedenfalls nichts Anderes, als die horizontale Seitenkraft der, in eine solche und in eine vertical zerlegt gedachten Spannung R und also gegeben durch

$$R \operatorname{Cos} \omega.$$

Ihre verticale Seitenkraft ist aber der Unterschied der Spannung S und der aus der Spannung R durch obige Zerlegung hervorgegangenen verticalen Seitenkraft R Sin ω, mithin $= S - R \operatorname{Sin} \omega$.

Die Mittelkraft selbst ist demnach gleich der Quadratwurzel aus der Summe der Quadrate ihrer rechtwinkeligen Seitenkräfte, und also

$$P = \sqrt{R^2 \operatorname{Cos} \omega^2 + (S - R \operatorname{Sin} \omega)^2} = \sqrt{R^2 - 2 S R \operatorname{Sin} \omega + S^2}.$$

Ferner wird der Winkel, welchen diese Kraft P mit den Verticalen einschließt, bedingt durch die Gleichung $\operatorname{tang} \beta = \frac{R \operatorname{Cos} \omega}{S - R \operatorname{Sin} \omega}$.

Wir haben jetzt noch den in Fig. 923 angedeuteten Fall zu untersuchen wo die Spannketten hinter dem Mauerwerke, aus welchem der Stirnpfeiler besteht, lothrecht in den Boden gehen und wo dann jenes Mauerwerk die ganze Wirkung der fraglichen wagerechten Spannung auszuhalten hat.

Bei dieser Anordnung ist der Winkel ω gleich 90 Grad, und man hat, wenn angenommen wird, daß das Gleiten der Ketten nicht ohne bedeutenden Reibungswiderstand von C gegen A hin, stattfinden könne, die Spannung der Spannketten oder

$$R - T\left(1 - \frac{\varphi\,\pi\,(90 + \alpha)}{180} + \frac{1}{2}\left(\frac{\varphi\,\pi\,(90 + \alpha)}{180}\right)^2 - \frac{1}{6}\left(\frac{\varphi\,\pi\,(90 + \alpha)}{180}\right)^3 + \frac{1}{24}\left(\frac{\varphi\,\pi\,(90 + \alpha)}{180}\right)^4 - \ldots\right).$$

Werden die in A und C stattfindenden Spannungen bis zu ihrem Durchschnittspunkte H verlängert und ist H I die Richtung der aus beiden Kräften hervorgehenden Mittelkraft, so wird der Winkel N H I oder β, welchen diese Kraft mit den Verticalen einschließt, aus der oben gefundenen Gleichung $\operatorname{tang}\beta + \frac{T \operatorname{Cos}\alpha - R \operatorname{Cos}\omega}{T \operatorname{Sin}\alpha = R \operatorname{Sin}\omega}$ abgeleitet werden können, wenn man für ω hier die wahre Größe 90° einführt, wo man dann, da $\operatorname{Cos} 90^\circ = 0$ und $\operatorname{Sin} 90^\circ = 1$ ist, $\operatorname{tang}\beta = \frac{T \operatorname{Cos}\alpha}{T \operatorname{Sin}\alpha + R}$ erhält.

Setzt man ferner in der Gleichung $P = \sqrt{R^2 - 2\,R\,T \operatorname{Cos}(\alpha + \omega) + T^2}$ für $\omega = 90^\circ$, so erhält man leicht

$$P = \sqrt{R^2 + 2\,R\,T \operatorname{Sin}\alpha + T^2}.$$

Die verticale Pressung, welche der Pfeiler erleidet, ergiebt sich hier

$$= R + T \operatorname{Sin}\alpha,$$

und diejenige Kraft, mit welcher der Pfeiler durch die, von B bis C anliegenden Ketten horizontal gegen die Bahn gedrückt wird, ergiebt sich hier

$$= T \operatorname{Cos}\alpha,$$

welche Kraft aber der ganzen horizontalen Spannung der Tragketten gleichkommt.

Man hat daher bei dieser Anordnung einmal darauf zu sehen, daß der Pfeiler eine solche Stärke erhalte, daß nicht ein Umsturz desselben erfolgen könne; ferner aber auch, daß kein Abschieben eines einzelnen oberen Theils stattfinden könne.

Stevenson hat in einem ähnlichen Falle vorgeschlagen, die Kette ganz unter dem Steinpfeiler durchgehen zu lassen. Hierdurch würde nicht allein eine gute Verbindung der Masse des Steinpfeilers mit der Kette hergestellt werden, sondern es würde auch dadurch bewirkt werden, daß der Pfeiler von der Spannung der Kette nur im Ganzen verschoben werden könnte und zwar würde die Wirkung der Kette hauptsächlich streben, den ganzen Pfeiler um die äußere Kante E seiner Grundfläche zu drehen. Läßt man hierbei nun die Adhäsionskraft der Pfeilerbestandtheile ganz außer Acht, so muß nothwendig das Moment des Gewichts des Pfeilers, für E als Drehungsachse, größer sein, als die Summe der Momente der Spannung der Kette und des Drucks der Erde, für dieselbe Achse, indem der Erddruck gegen die hintere Seite des Steinpflasters ebenfalls das Umwerfen desselben noch befördert.

Es ist nun noch übrig, die Größe des Querschnitts der Kette zu bestimmen. Die größte Spannung der Tragkette findet begreiflich in den Aufhängepunkten statt, dagegen die geringste Spannung in dem tiefsten Punkt oder in der Mitte der Tragkette. Die Größe der Spannung in jedem einzelnen Punkte der Kette ist nun theoretisch leicht auszumitteln, wie sie auch belastet sein mag, und dürfte man hiernach die Stärke der Kettenglieder gegen die Mitte zu abnehmen lassen, allein dies geschieht aus mehrfachen Gründen nicht, sondern giebt man gemeiniglich den Tragketten überall gleiche Querschnitte.

Um die Größe des Querschnitts nun bestimmen zu können, muß das Gewicht der Fahrbahn, mit Einschluß der höchsten Belastung derselben, das Gewicht der Hängestäbe und das Gewicht der Kette selbst bekannt sein. Das Gewicht der Kette selbst läßt sich aber erst aus dem Querschnitte derselben bestimmen und es bleibt daher nichts weiter übrig, als denselben vorläufig nach einem ungefähren Ueberschlage festzusetzen; nach ausgeführter Rechnung ergiebt sich dann leicht, ob der Querschnitt vergrößert oder verkleinert werden muß.

Das Gewicht der Fahrbahn ist leicht zu berechnen, sobald die Construction einmal fest bestimmt ist. Was aber die größte zufällige Belastung betrifft, so erhält man diese jedenfalls, wenn man annimmt, daß eine dicht gedrängte Menschenmenge auf der Brücke sich befinde. Navier rechnet dann, daß auf den Quadratmeter 3 Menschen kommen, und nimmt das Gewicht eines jeden zu 65 Kilogr., so daß also auf jeden Quadratmeter 195 Kilogr. (416,2 Berl. Pfunde) als höchste zufällige Belastung kommen. Hieraus ergiebt sich dann die Spannung für jeden einzelnen Hängestab und daraus dessen Querschnitt unter der Voraussetzung, daß auf einen Quadratmillimeter Querschnitt nur 13 Kilogramme Spannung mit Sicherheit gerechnet werden darf.

§. 26. Vom Bau der Hängebrücken.

Eine Hängebrücke besteht, wie schon oben erwähnt wurde, aus den Pfeilern, auf welchen die Tragketten hängen, aus den Widerlagern, an welchen die Kettenenden verankert sind, aus den Tragketten, welche die Brückenbahn mit Hilfe von verticalen Trägern (Hängestangen) halten und endlich aus der Brückenbahn selbst. In den vorigen §§. dieses Capitels haben wir die Formeln angegeben, nach welchen diese einzelnen Theile der Hängebrücken näher bestimmt werden in Hinsicht ihrer Stärke und Ausdehnung, und haben wir nunmehr noch den praktischen Theil, nämlich die Ausführung selbst zu besprechen.

Was die zur Tragung der Ketten, an denen die Brückenbahn hängt, nöthigen Pfeiler betrifft, so können diese entweder aus Holz, aus Schmiede- oder Gußeisen oder auch aus Mauerwerk construirt werden.

Das Holz ist im Allgemeinen zur Construction der Stützpfeiler nicht zu empfehlen und höchstens sollte man es nur in solchen Fällen anwenden, wo die zu errichtende Hängebrücke nur für eine kurze Dauer dienen soll und ferner die Tragweite nicht bedeutend ist; denn es ist besonders an den Verbindungstheilen und bei der Auflage auf dem Landpfeiler zu sehr dem schnellen Ver-

derben ausgesetzt und führt durch die Vermehrung der Schwingungen, welche beim Holzbau immer in höherem Grade stattfinden, sehr bald den Ruin der Brücke herbei. Wir finden auch nur sehr wenige Beispiele, wobei die Stützpfeiler aus Holz hergestellt sind.

Bei der Kettenbrücke von München-Nienburg waren die Stützpfeiler auch von Holz; diese Brücke stürzte aber bald nach ihrer Erbauung wieder ein. Wir werden weiter unten noch einige nähere Nachrichten über diese Brücke mittheilen.

Mehrfache Anwendung hat das Eisen bei Stützpfeilern gefunden und namentlich das Gußeisen, welches sich vorzüglich für Pfeiler von geringer Höhe eignet. Wenn z. B. die Zugänge der Brücke sehr zusammengedrängt werden, und es nicht leicht möglich machen, hohe Stützpfeiler zu errichten, die jedenfalls eine weite Verlängerung der Spannketten nach sich ziehen würden, so ist es immer sehr zweckmäßig, die Stützpfeiler niedrig und von Gußeisen zu machen; man führt alsdann einen Uferpfeiler auf und zwar in einer Entfernung, welche dem halben Brückenfelde nahe kommt, errichtet am Ende desselben den gußeisernen Stützpfeiler, auf welchen die Kette sich stützt und bei ihrer Verlängerung das Ufer fest tangirt. Allein man hat auch sehr hohe Stützpfeiler aus Gußeisen errichtet, wie unter andern bei der Brücke von Cubzac, wovon weiter unten das Nähere noch mitgetheilt wird.

Wendet man zu den Stützen blos hölzerne oder eiserne Säulen an, so befestigt man auf ihrem oberen Ende immer einen Sattel, und zwar am besten einen gußeisernen.

Damit aber die hölzernen oder eisernen Säulen nach der Breite der Brücke nicht schwanken, so müssen dieselben nach der Breite durch Riegel und Holme und Kreuzbänder über dem Raume zwischen den Säulen mit einander verbunden werden; diese Verbindungsstücke müssen jedoch so hoch über der Fahrbahn liegen, daß die höchsten beladenen Wagen ohne alle Hindernisse unter ihnen hindurchfahren können. Um daher die Stabilität der Säulen gegen Ausbiegen noch zu vergrößern, so setzt man auch noch außerhalb Streben, welche in einer normal auf die Länge der Brücke stehenden lothrechten Ebene liegen. Außerdem bringt man aber auch wohl noch andere, in Ebenen, die mit der Länge der Brücke parallel sind, und verwandelt so die Säulen in Stützböcke, in welchen auch noch anstatt jeder Säule, zwei, durch wagerechte Querstücke mit einander verbunden, angebracht werden können.

Wählt man zu den Pfeilern die Form von Säulen oder Obelisken, so müssen dieselben, da sie bei einiger Höhe schon immer aus mehreren Stücken zusammengesetzt werden müssen, eine genügende Basis erhalten und eben so sind auch die Querverbindungen in hinreichendem Maße erforderlich, weil sie sonst zu viele Beweglichkeit erhalten und unter dem Einflusse der Ketten vibriren, dadurch aber rückwärts wieder größere Schwankungen der Ketten bewirken. Diese Schwankungen hat man um so stärker beobachtet, je höher und schlanker die Säulen waren.

Die meiste Anwendung haben jedenfalls wohl die gemauerten Stützpfeiler gefunden. Wo Steine von ausgezeichnet guter Qualität reichlich vorhanden

oder doch ohne große Schwierigkeiten in genügender Quantität herbeizuschaffen sind, verdient deren Verwendung zu solchen Stützpfeilern vor Guß- und Schmiedeeisen unbedingt den Vorzug, denn man kann durch sie nicht allein eine größere Solidität erreichen, sondern es stehen auch Stützpfeiler aus Stein in Ansehung ihrer Masse mit den Einwirkungen der Kräfte, denen sie ausgesetzt sind, weit mehr im Einklange und können entweder isolirt aufgeführt, oder auch durch einen Gewölbebogen mit einander verbunden werden, so daß der Pfeiler die Form eines Thorbogens über der Brückenbahn erhält. Die Dimensionen solcher Pfeiler hängen natürlich von ihrer Höhe und der Spannung der Ketten ab. Die Mauerung der Pfeiler selbst muß aber mit der größten Sorgfalt aus großen gut verbundenen Steinblöcken, die mit starken eisernen Klammern zusammengehalten sind, ausgeführt werden.

§. 27. Von den Widerlagsmauern.

Die Form und die Dimensionen der Widerlager hängen immer von der Art der Verankerung der Ketten ab. Bestehen die Ufer aus Felsen, so ist natürlich ein gemauertes Widerlager ganz und gar entbehrlich und es werden dann Stollen eingetrieben, in welche die Spannketten geführt werden. Bei der in der Figur 948 dargestellten Menai-Kettenbrücke sind auf jeder Seite derselben drei Stollen ausgesprengt; in dem mittleren auf jeder Seite sind die zwei Kettenreihen, welche die Fußbahn begränzen, und in jedem äußeren eine Kettenreihe, die an der Außenseite der Brücke fortläuft, geführt. Diese Stollen Fig. 948 A und B erweitern sich an ihrem Ende zu 9 Fuß breiten Kammern, an deren Seitenwänden massive gußeiserne Platten, Fig. 953 und Fig. 954, angelehnt sind. Die Endglieder der Spannketten sind mit Bolzen von Schmiedeeisen befestigt, welche in die Vertiefungen der gußeisernen Platte eingelegt sind und auf diese Weise die Ketten festhalten. Diese Bolzen haben 9 Fuß Länge und 6 Zoll im Durchmesser. In diese Kammern führt eine steinerne Treppe hinab. Uebrigens hat man in einem solchen Falle auch vorher zu untersuchen, ob der Stollen so weit eingetrieben werden kann, daß nach Einbringung der Platte und Befestigung der Spannketten der vor der Platte liegende Felsen durch die Spannung der Kette nicht ausgebrochen und fortgezogen werden könne. Ist dann der Felsen der Art, daß er dem Zuge der Ketten hinreichenden Widerstand zu leisten im Stande ist und befinden sich dieselben ganz in der Nähe der zu überbrückenden Stelle und haben sie eine solche Höhe, daß die Tragketten unmittelbar daran befestigt werden können, so sind auch die Stützpfeiler ganz entbehrlich, indem dann die Tragketten unmittelbar in den eingetriebenen Stollen aufgehängt und befestigt werden.

Bestehen die Ufer nicht aus Felsen, so muß man, ganz abgesehen von der Art der Verankerung, alle Erde über und in der Richtung der Spannkette vor der Platte, an welche die Spannketten befestigt werden sollen, ausgraben. Wollte man nun die Grube, nach Einbringung der Platte und der Ketten nur wieder voll Erde schütten, so müßte, wie wir oben in

§ 25 näher ausgeführt haben, dieser Erdkörper so viel Gewicht haben, daß er von der Spannung der Kette auf der schiefen, mit ihrer Richtung gleichlaufenden Ebene nicht aufwärts gezogen werden könnte. Da aber der Widerstand von Seiten der Cohäsion der Erde und der Reibung an den Seitenflächen der sich trennenden Körper durchaus nicht mit Sicherheit zu schätzen ist, und überhaupt die Erde über der Platte auch unpreßbar sein müßte, was aber keineswegs der Fall ist und ferner in dieser Hinsicht sie ihre Beschaffenheit auch häufig ändert, je nachdem sie mit mehr oder weniger Feuchtigkeit geschwängert ist, so läßt man diese Widerstände besser ganz unberücksichtigt und füllt die Grube mit Mauerwerk aus, welches nicht allein eine unpreßbare Masse liefert, sondern dessen eigenthümliches Gewicht auch zugleich größer ist, als das der Erde.

Man könnte sich auch noch anderer Mittel bedienen, z. B. Pfähle in die Erde einrammen und diese mit den Enden der Kette auf eine solche Weise verbinden, daß diese nicht nachgeben könnte, ohne die Pfähle auszuziehen. Allein solche Anordnungen würden, abgesehen von sonstigen Nachtheilen, dennoch keine genügende Sicherheit geben. Man bedient sich daher, wo man die Ketten nicht in Felsen befestigen kann, gemauerter Widerlager, in denen die Ketten ihre Befestigung erhalten. Dies kann nun in mancherlei Art geschehen, je nachdem die Ketten verankert werden. Immer werden in den Widerlagsmauern Schächte angeordnet, durch welche die Spannketten hindurchgehen, und können diese Schächte nun eine geneigte Richtung oder eine theilweise geneigte und theilweise senkrechte oder eine ganz senkrechte Richtung erhalten, je nachdem die Spannketten ihre Richtung innerhalb derselben ändern.

Wir haben hier demnach drei verschiedene Hauptfälle zu betrachten und zwar einmal, wo die Spannketten ihre Richtung unverändert bis zu den Verankerungsplatten beibehalten; ferner wo die Spannketten ihre Richtung etwas unterhalb der Oberfläche in eine senkrechte verändern und endlich, wo die Spannkette lothrecht an der Hinterseite des Landpfeilers herabgeht.

Zu dem ersten Falle gehört die in Fig. 925 dargestellte Verankerung der Spannkette, wie solche bei der zu Bamberg über die Regnitz erbauten Kettenbrücke zur Anwendung gekommen ist. Die eigentliche Verankerungsmauer ist hier mit den Pfeilern durch ein bogenförmiges Gemäuer verbunden. Innerhalb desselben befinden sich Schächte, durch welche die Spannketten geführt und innerhalb gegen die unterste Schicht mittelst einer gußeisernen Platte und durchgesteckter Bolzen sich stützen. Die Höhe und Breite dieses Gewölbes betragen 6 Fuß. Die Pfeiler, welche isolirt stehen, sind an ihrer quadratischen Grundfläche 10 Fuß 6 Zoll und unter dem Gesimse 8 Fuß breit; ihre ganze Höhe beträgt 24 Fuß 6 Zoll und ihre lichte Entfernung nach der Breite der Brücke 20 Fuß; nach der Länge der Brücke beträgt die lichte Entfernung des Pfeilers 216 Fuß, was zugleich die freischwebende Länge der Fahrbahn ist. Die Oeffnungen in den Pfeilern, durch welche die Ketten gehen, liegen 2 Fuß $2\frac{1}{2}$ Zoll höher, als die gegen die Stadt zu.

Ferner gehört hierher die Verankerung der Spannketten der Kettenbrücke in Hammersmith über die Themse, welche in den Figuren 936 und 938

dargestellt ist. Die Haupt- oder Tragpfeiler sind im Flusse erbaut und haben eine Höhe von 48 Fuß. Die Länge, welche sie winkelrecht auf die Richtung der Brücke einnehmen, beträgt 42 Fuß und ihre Stärke, welche sie im Flusse haben, 22 Fuß. In einer Entfernung von über 140 Fuß von den Hauptpfeilern sind die Landwiderlager angeordnet. Diese Widerlager sind aus Quader- und Ziegelsteinen von der besten Qualität aufgeführt und mit Canälen zum Durchlassen der Spannketten versehen. Diese Pfeiler haben in der Richtung der Ketten eine Länge von 45 Fuß; ihre Breite beträgt 38 Fuß. Die Spannketten sind an der Rückseite der Widerlagsmauern befestigt, indem die Endglieder derselben durch gußeiserne Sättel gehen, die gegen die Mauern sich stützen, und daselbst durch starke Vorsteckbolzen gehalten werden, wie dies in Figur 942 angedeutet ist. Die gußeisernen Platten sind an das Mauerwerk durch eingemauerte Bolzen, an deren äußere Enden Schraubenspindeln geschnitten sind mit aufgeschraubten Muttern fest verbunden. Damit aber die Spannketten um mehrere Zolle verlängert oder verkürzt und ihnen bei der Einhängung oder auch später die gehörige Spannung gegeben werden könne, sind die letzten Glieder derselben viel stärker und mit einer 6 Zoll langen Oeffnung versehen, in welche ein ebenfalls stärkerer Bolzen c eingesetzt ist. Dieser Bolzen ruht auf dem Lager ab, welches durch die von 2 Seiten gegen einander getriebenen eisernen Keile m und n vom Boden der Platte mehr oder weniger entfernt und dadurch eine Kette gehörig gespannt werden kann.

Zur zweiten Klasse gehört die in Figur 943 angegebene Verankerung der Spannkette der von Navier entworfenen Kettenbrücke über die Seine in Paris. Bei dieser Brücke gingen die Spannketten in schiefer Richtung von den Tragsäulen herab, bogen sich über das gußeiserne auf dem Mauerwerke liegende Segment op und gingen von p senkrecht hinab bis q, wo sie an einer starken gußeisernen Querplatte durch Bolzen befestigt waren. Um das Gewicht des verticalen Schachtmauerwerks und den Widerstand, welchen dasselbe einer Bewegung entgegensetzt, zu vergrößern, wurden zwei Flügel mqm angemauert, und man hoffte das Gleichgewicht durch das Gewicht dieses Mauerwerks und des Erdreichs, welches darauf lag, herzustellen. Um aber ferner der bedeutenden Pressung, welche die Ketten auf dem kreisförmigen Segmente op verursachen, den gehörigen Widerstand zu leisten, wurde ein gemauerter auf einem Pfahlroste stehender Strebepfeiler in der Richtung der mittleren Spannkraft der beiden Theile der Kette angebracht und mit dem übrigen Mauerwerke verbunden.

Bei dieser Brücke zeigten sich aber noch vor ihrer gänzlichen Aufstellung solche Fehler, daß sie wieder abgetragen werden mußte; denn durch die Zugkraft der Ketten wurde das Mauerwerk unterhalb des Bogens op und seiner Lage verrückt oder gehoben und bildeten sich zwischen allen daselbst vorhandenen Quadern große Fugen und ein bedeutender Theil der Quadersteine zerbrach. Man ließ nun zwar den Raum zwischen den Tragpfeilern und Widerlagern, welcher mit Thon und Erdreich gefüllt war, ausheben und Bruchsteine hineinwerfen, wodurch aber der Strebepfeiler, welcher den Bogen op stützte, nur noch mehr zurückging. Gleichzeitig verloren aber auch die Tragpfeiler ihre verticale Stellung und man konnte die Brückenbahn nicht mehr einhängen, da die Haupt-

ketten sich immer mehr senkten. Es wurde daher die Brücke ganz abgetragen. Die Ursache dieses Unfalls war wohl am meisten in der größeren Preßbarkeit des Grundes zu suchen und lag weniger an der Construction selbst. Dies läßt sich mit größester Wahrscheinlichkeit schon daraus abnehmen, daß durch die Ausfüllung des Zwischenraums zwischen den Tragpfeilern und den Widerlagern mit Bruchsteinen, die Tragpfeiler ebenfalls aus ihrer verticalen Stellung gebracht wurden. Durch die Belastung des Erdreichs mußte nothwendig ein seitlicher Druck gegen die Rostwände und überhaupt eine Fortbewegung des Grundes entstehen, welche letztere aber den Pfahlrost unter den Tragpfeilern ebenfalls mit fortzog. Bei der später, etwa 100 Schritte von dieser Stelle entfernten Brücke hat man die Verankerung der Spannketten in ähnlicher Weise wieder angeordnet nur mit dem Unterschiede, daß man statt der Strebepfeiler ein volles und starkes Mauerwerk vor den Schachtmauern aufführte und somit die Grundfläche in einer größeren Ausdehnung befestigte.

Es ist nun keineswegs zu verkennen, daß die erstere Art der Verankerung der Spannketten vor der letzteren den Vorzug verdient, indem bei der ersteren Art einmal der Zug direct stattfindet und ferner auch die Reibung der Ketten an den Schachtwänden gänzlich vermieden wird. Im zweiten Falle haben, wie dies auch schon oben näher erörtert ist, die Verankerungsmauern zwei Kräften zu widerstehen, wovon die eine ein Verschieben, die andere aber ein Aufheben derselben zu bewirken strebt, deren Mittelkraft aber eine sehr bedeutende Wirkung auf den Stützpfeiler ausübt, um welchen die Ketten gebogen sind.

Lassen es daher die localen und andere sonst noch dabei in Betracht kommende Umstände zu, so ist es jedenfalls besser, sich der ersteren Art der Verankerung der Spannketten zu bedienen.

Wir haben nunmehr noch die dritte Art der Verankerung der Spannketten zu betrachten, wo die Spannkette lothrecht an der Hinterseite des Landpfeilers herabgeht und unterwärts im Pfeiler befestigt ist.

Ein hierher gehöriges Beispiel ist der in Figur 924 dargestelle Landpfeiler einer in Wien ausgeführten Kettenbrücke. Um den Druck, welchen die Ketten ausüben, so fortzupflanzen, daß ein möglichst geringer Schub nach außen stattfindet, so ist der Pfeiler nach seiner ganzen Dicke aus einem vollen Gewölbe ausgeführt, welches aus einem aus zwei Mittelpunkten beschriebenen Bogen besteht. Der Mittelpunkt des vorderen Bogenstücks liegt 4 Fuß und der des hinteren 1 Fuß über der Ebene der Bahn und ersterer 4 Fuß 5 Zoll und letzterer 4 Fuß 9 Zoll von der Vorderseite des Pfeilers entfernt. Der Halbmesser des ersteren Bogens ist 4 Fuß $5\frac{1}{2}$ Zoll und der des letzteren 7 Fuß $5\frac{1}{2}$ Zoll.

Um die vorderen Gewölbsteine am Ausgleiten zu verhindern, sind, wie in der Figur angegeben, Schließen von 2 Zoll breitem und 8 Linien dickem Schmiedeeisen angebracht. Die Pfeiler sind mit Ausnahme des Schachts für die Ketten durch gerades Ziegelmauerwerk ergänzt und mit einem Gesimse von Sandstein verziert.

Auf diesem Gewölbe ruhen vier gußeiserne 3 Fuß 6 Zoll von einander entfernte Gehäuse, welche die über jeden Pfeiler nach dem Befestigungspunkte gehenden zwei Spannketten tragen. Das erste liegt mit seinem Mittel 4 Fuß

5 Zoll innerhalb des Pfeilers. Diese Gehäuse bestehen aus zwei Theilen, und zwar aus der unteren in das Gewölbe versenkten 1 Fuß 2½ Zoll breiten und 3 Zoll dicken Platte, mit zwei 1 Fuß 1¼ Zoll von einander abstehenden, 8 Zoll hohen 3 Zoll dicken Trägern, worauf die obere 4 Zoll dicke Platte mittelst 4½ Zoll starken 10 Zoll langen eisernen Nägeln, zur Vermeidung der Verschiebung, befestigt ist.

Die einzelnen Glieder der Trag- und Spannketten (s. Figur 928 und 929) bestehen aus Stangen und Platten, wovon je vier ein kürzeres oder längeres Glied bildend, neben einander liegen und durch Bolzen zur erforderlichen Kettenlänge mit einander verbunden sind. Alle Kettenstangen der Tragketten haben 2 Zoll Höhe und 1 Zoll Dicke, und laufen an ihren Enden in 6½ Zoll im Durchmesser haltende Scheiben, in denen sich die Bolzenöffnungen befinden, aus. Die Bolzen, so wie die Oeffnungen dafür in den Stangen und Platten, haben einen Durchmesser von 2½ Zoll und sind erstere 11¼ Zoll lang und am äußeren Ende mit einer Vertiefung versehen, in die ein über dessen Dicke vorstehender eiserner Ring kalt angearbeitet ist, der das Ausweichen der Platten verhindert.

Die Stangen der Spannketten, soweit sie über das Gewölbe laufen und die Platten auf den gußeisernen Gehäusen ruhen, haben die der Entfernung der Gehäuse entsprechenden Längen, der Höhe und Breite nach aber dieselben Dimensionen, wie die Tragketten, nur die letzten zwei 4 Fuß 6 Zoll und 5 Fuß 6 Zoll von der Hinterseite der Pfeiler abstehenden Glieder haben 9 Fuß 3 Zoll und 9 Fuß 5 Zoll lange Stangen von 2 Zoll Breite und 1¼ Zoll Dicke, die mit vier 1 Fuß 6 Zoll langen, oben 8 Zoll breiten 1¼ Zoll dicken und unten 10½ Zoll breiten, 2 Zoll dicken Platten durch 3zöllige Bolzen verbunden sind (s. Figur 931 A und B). Diese Platten sind durch 4 Fuß 3 Zoll lange, 5 Zoll dicke Bolzen, dem die, mit dem Mauerwerk besonders durch darüber gelegte Quadersteine innig verbundenen 2 Fuß langen, 2 Fuß 8 Zoll breiten und 5 Zoll dicken horizontal liegenden, mit einer kleinen kreisförmigen Vertiefung als Lager für den Bolzen, versehenen gußeisernen Platten als Widerlager dienen, befestigt.

Eine solche Anordnung der Verankerung der Spannketten ist nur dann zu empfehlen, wenn es an Raum gebricht, um die Spannketten hinterwärts in einer geneigten Richtung zu befestigen. Es läßt sich zwar der Landpfeiler in vorliegendem Falle so stark machen, daß er der wagerechten Seitenkraft der Spannung der Kette, so wie auch dem Drucke der dahinter liegenden Erde, welche beide gemeinschaftlich das Bestreben äußern, den Pfeiler um seine äußere untere Kante zu drehen, hinlänglichen Widerstand leistet, allein an Kosten wird hier durchaus nicht gespart werden. Denn nicht allein, daß ein solcher Pfeiler eine bedeutend größere Ausdehnung erhalten muß, sondern es müssen auch noch ganz besondere Vorkehrungen getroffen werden, daß der obere Theil des Pfeilers, um welchen die Kette gebogen ist, nicht fortgeschoben werde und läßt sich dieses Letztere nur durch starke Verankerungen erreichen.

§. 28. Die Tragketten und Spannketten.

Wir haben bereits oben angeführt, wie die Gestalt der Kette und ihre Spannung gefunden wird, wenn die beiden Befestigungspunkte derselben und ihre tiefsten Punkte gegeben sind, was gewöhnlich der Fall ist. Auch wurde daselbst angeführt, daß, obgleich die Spannung von den Aufhängepunkten nach dem Scheitel zu abnimmt, man doch gewöhnlich den für die größte Spannung erforderlichen Querschnitt in allen Punkten beibehält, weil die Ersparung an Eisen nicht bedeutend genug ist, um die aus der Verschiedenheit der einzelnen Glieder entstehenden Unbequemlichkeiten und Nachtheile zu ersetzen. Wir verweisen daher in dieser Beziehung auf das oben Gesagte.

Was nun die Anordnung der Ketten betrifft, so ist es durchaus nicht nothwendig, daß die beiden Befestigungspunkte der Ketten in einerlei wagerechte Ebene zu liegen kommen, sondern es ist nicht selten durch die örtliche Beschaffenheit bedingt, daß die Befestigungspunkte in verschiedenen Höhen über der Fahrbahn angeordnet werden, oder auch daß die Kette eine solche Lage erhalte, daß sie die Fahrbahn durchschneidet und diese letztere alsdann theils daran hängt, theils darauf ruht.

Es kann ferner auf jeder Seite des Brückenkörpers eine Kette angeordnet werden, oder auch mehrere solcher Ketten, je nachdem die Brücke eine kleinere oder größere Ausdehnung erhält und je nachdem sie benutzt wird.

Die geringste Entfernung in wagerechter Richtung, welche die beiden die Fahrbahn begränzenden Ketten erhalten müssen, beträgt 12 Fuß, damit zwischen ihnen der breiteste die Brücke passirende Wagen durchfahren kann. Da aber bei dieser Breite zwei auf der Brücke sich begegnende Wagen nicht einander ausweichen können, so muß, namentlich bei einiger Frequenz der Passage, noch eine zweite Fahrbahn angelegt werden. Man kann dann zur Anhängung dieser Fahrbahn noch eine dritte Kette aufhängen oder es läßt sich auch eine doppelte Fahrbahn herstellen, die nicht durch eine Kette in der Mitte getrennt ist. Legt man noch besondere Fußwege an, so giebt dies auch gleichzeitig Gelegenheit zur Anwendung noch mehrerer Ketten.

Da aber für nicht ganz unbedeutende Spannweiten der Querschnitt der Glieder der einzelnen Ketten in den meisten Fällen zu groß werden würde, als daß man auf gleichförmigen Widerstand jedes Punktes des Querschnitts rechnen könnte, so verwandelt man jede einzelne dieser Kette wieder in mehrere schwächere, die über einander, oder neben einander, oder zugleich über- und neben einander liegen können. Diese schwächeren Ketten müssen aber zusammen eben so viel Querschnitt haben als die eine Kette, deren Stelle sie vertreten. Hierbei hat man aber darauf zu sehen, daß selbst beim stärksten Sturme die Ketten bei ihren heftigen Schwankungen sich nicht verwickeln können.

Was die Gestalt der einzelnen Kettenglieder betrifft, so sind diese verschieden angeordnet, jedoch immer so, daß lange und kurze Glieder mit einander abwechseln.

Bei den früheren Hängebrücken bestanden die Ketten aus länglichen Rin-

gen, deren lange Seiten gerade, die kurzen aber halbkreisförmig, nach dem Durchmesser der lichten Weite des Gliedes gekrümmt waren, wie in Figur 955 angedeutet ist. Diese langen Glieder sind im Querschnitt kreisförmig oder auch rechteckig. Die kurzen Glieder sind hierbei ebenfalls längliche Ringe, jedoch von rechteckigem Querschnitt. Bei Verbindung zweier langen Glieder bringt man dieselben auf die hohe Kante stehend vor einander und auf jeder Seite ein kurzes Glied, so daß je drei Löcher auf einander treffen, und steckt dadurch abgedrehte, geschmiedete Bolzen. Die Bolzen erhalten an einem Ende einen Kopf, am andern dagegen eine Schraube mit Scheibe und Mutter, oder eine Scheibe und eine Splinte, die am unteren Ende gespalten ist und aus einander gebogen werden kann. Man hat auch an jedem Bolzen zwei Köpfe in Gestalt von Lappen angebracht, deren Grundfläche von einer Ellipse eingeschlossen wird, von welcher die kleine Achse der Durchmesser des Bolzens ist. Man hat dann denselben durch eine ganze Umdrehung um seine Achse in eine solche Lage gebracht, daß er, sobald die Kette gespannt war, seine Stelle nicht verlassen konnte. Um die Ketten verkürzen oder verlängern zu können, hat man die Bolzen durch einen Schnitt durch ihre Achse in zwei Theile getheilt, und zwischen die Hälften flache Keile, mit ihren Schneiden gegen einander, gebracht, bei deren Antreiben die Kette nothwendig verkürzt werden muß. Bei dieser Anordnung müssen an die Bolzen übrigens auch solche Lappen angebracht werden, wie in Figur 955 angedeutet ist. Die hier zuletzt angedeutete Anordnung ist in Figur 956 dargestellt.

Liegen mehrere einzelne Ketten neben einander und sollen diese zu einer einzigen verbunden werden, so könnte man die Bolzen auch durch alle zugleich gehen lassen; allein solches ist nicht rathsam und sollte man nie mehr als zwei neben einander liegende Ketten mit einander auf diese Weise verbinden, weil selbst bei der genauesten Ausarbeitung der Bolzen und Löcher die Spannung sich auf die einzelnen Ketten nicht gleichförmig vertheilen würde.

Allein diese Art der Herstellung der Ketten hat manches Nachtheilige; denn erstlich haben sie leicht Fehler an denjenigen Stellen, wo die einzelnen Glieder zusammengeschweißt sind; ferner verlieren die langen Glieder bei starkem Zuge auch leicht ihre Form, weshalb man ihnen Stege geben muß, um ihre Form zu bewahren; endlich aber betragen auch die Kosten dieser Ketten mehr. Deshalb hat man bei den neueren Brücken Ketten aus langen Gliedern von Flacheisen, welche gewöhnlich durch kürzere verbunden sind, angewendet. Diese Ketten bestehen und zwar in den langen Gliedern aus Stangen, die an beiden Seiten Scheiben mit durchbohrten Löchern, dem Durchmesser des durchzusteckenden Bolzens angemessen, haben. Die kurzen Glieder bestehen aus Platten mit Löchern, die genau auf die Oeffnungen der Scheiben der langen Glieder passen, wie solches in den Figuren 928 und 929 angedeutet ist. Bei dieser Anordnung kann man mehrere Glieder neben einander legen und die Bolzen durch alle zugleich gehen lassen, indem es hierbei weit leichter ist, die Löcher und Bolzen genau ausarbeiten zu können und überhaupt diese Glieder auch durch einen starken Zug nach ihrer Längenrichtung ihre Form nicht weiter verändern, als die möglicher Weise stattfindende Ausdehnung dies hervorbringt, wo dagegen

bei den ringförmigen Kettengliedern außer dieser Ausdehnung auch noch jedenfalls eine Formveränderung stattfindet und dabei also eine ungleiche Spannung nothwendig sich ergeben muß.

Was die Befestigung der Hängestäbe an die Ketten betrifft, so kann dies auf verschiedene Weise bewerkstelligt werden.

Man giebt ihnen an ihrem oberen Ende ein Oehr, durch welches einer der vorgedachten Bolzen geht, wie in Figur 955 angedeutet, oder es wird hierzu ein besonderer Bolzen angewendet, welcher durch die Mitte der kurzen Glieder geht und die Hängestange trägt, wie aus den Figuren 928, 929 und 930 ersichtlich. Man hat auch die Anordnung so getroffen, daß die Hängestange zwischen zwei auf einander treffenden Verbindungsgliedern oder Platten durchgeht, und wird dann vermittelst eines über die letzteren durch eine rechteckige Oeffnung anstatt des Oehres gesteckten, auf einen Theil seiner Länge gespaltenen, aus einander gebogenen Keils gehalten (s. Figur 957). Oder die Hängestange greift mit ihrem platten oberen Ende, welches die Gestalt eines halben Schwalbenschwanzes hat, in die schwalbenschwanzförmige Oeffnung eines Aufsatzes, der auf den Verbindungsgliedern ruht, und wird durch einen von oben eingesteckten Keil gegen die entgegengesetzte schiefe Wand der Oeffnung getrieben und auf diese Weise festgehalten, wobei der Aufsatz auch noch in den Raum zwischen den Verbindungsgliedern mit einer Art von Zapfen greift (s. Figur 958). Eine andere Anordnung ist in Figur 959 dargestellt, wo die Hängestange am oberen Ende gabelförmig ist und sämmtliche Kettenglieder umgreift. Durch diese, so wie auch durch alle in den Kettengliedern vorhandenen und auf einander treffenden Oeffnungen wird dann ein Bolzen gesteckt.

Diese hier angegebenen Verbindungen der Hängestangen mit den Kettengliedern sind wohl die hauptsächlichsten. Von diesen Verbindungen sind übrigens die in den Figuren 928 und 955 angedeuteten jedenfalls die zweckmäßigsten, indem hierbei die Hängestangen bei momentaner Veränderung der Kettenlinien ihre verticale Richtung oder die ihnen einmal gegebene Richtung möglichst unverändert beibehalten können, wenigstens ohne Nachtheil für die Bolzen; was dagegen bei der in Figur 958 angezeigten Verbindung gar nicht der Fall ist und bei der in Figur 957 angedeuteten nicht ohne Nachtheil für den Bolzen würde geschehen können. Die in Figur 959 dargestellte Verbindung ist nicht zu empfehlen wegen der Kröpfung des Eisens, was bei angehängter Last sehr leicht eine Verlängerung der Hängestange zu Wege bringen kann.

Hängen die Ketten nicht neben einander, sondern über einander, so darf man nicht einen und denselben Hängestab an zwei oder mehrere Ketten anhängen, und zwar so, daß man die Ketten durch Bolzen und Stangen, mit Oehren unter einander verbindet und den Hängestab dann an die unterste Kette befestigt; denn bei der sorgfältigsten und genauesten Verfertigung der Bolzen und Löcher kann man mit Sicherheit nie auf eine gleichförmige Vertheilung der Spannung auf zwei oder mehrere über einander liegende Ketten rechnen. Liegen daher mehrere Ketten über einander, so hat man die Hängestäbe abwechselnd an die einzelnen Ketten zu befestigen, wie dies in Figur 949 angedeutet ist. Liegen ferner die Ketten neben einander, so sollte man nie die Hängestäbe an

mehr als zwei neben einander liegende einzelne Ketten hängen und zwar stets genau in der Mitte zwischen beiden. Würde man einen einzelnen Hängestab mit noch mehreren neben einander liegenden Ketten verbinden wollen, so würde derselbe nachtheilige Umstand eintreten, wie in dem Falle, wenn mehrere über einander liegende Ketten mit einem Hängestab verbunden werden.

Will man die Hängestangen mit beiden Ketten verbinden, so geschieht dies, wie in Figur 977 angedeutet ist, welche Anordnung bei der Hungerford- und Lambeth-Brücke über die Themse, nach den Entwürfen von Brunel erbaut, in Anwendung gekommen ist.

Die Hängestangen sind hier mit der oberen Kette durch ein Sattelstück und Bolzen mit der unteren durch die Verbindungsbolzen der Kette selbst verbunden, und zwar, wie aus der Zeichnung ersichtlich ist, in einer Anordnung, welche der Hängestange hinreichend freie Beweglichkeit läßt.

Die Hängestangen sind gewöhnlich bei jedem Gelenke angebracht; stehen sie nun gleichweit von einander ab, so ist es natürlich, daß dann die Kettenglieder von ungleicher Länge sein müssen. Werden aber die Kettenglieder als gleich lang angenommen, so stehen natürlich die Hängestäbe nicht in gleichen Entfernungen von einander ab. Das Erstere erfordert natürlich mehr Arbeit und ist auch kostspieliger, indem dadurch eine größere Menge Metall abfällt; übrigens verschlägt es wenig oder nichts, wenn man die Kettenglieder alle von gleicher Länge macht, und hat man immer dafür zu sorgen, daß die Last gleichförmig über die Hauptketten vertheilt wird. Es lassen sich auch durch gehörige Vertheilung der Verbindungsglieder der über einander liegenden einzelnen Ketten ziemlich gleiche Entfernungen der Hängestangen bewerkstelligen. Bei der Menaibrücke hängen die Hängestangen in Entfernungen von 5 Fuß.

Nicht selten durchschneiden die Spannketten die Brückenbahn, so daß also die Brückenbahn nicht mehr angehängt, sondern von unten her gestützt werden muß (s. Figur 936). Dies geschieht nun dadurch, daß auf den Ketten Stützen ruhen. Zu diesem Behufe werden auf die Verbindungsglieder Sattel gelegt und damit fest verbunden. Die Sattel bilden oberhalb zwei Wangen, zwischen welchen das halbkreisförmige platte Ende der Stütze greift; durch die Wangen und durch das Ende der Stütze wird dann ein starker Bolzen gesteckt. Da aber die Stützen ihrer Länge nach zusammengepreßt werden, so ist es sehr zweckmäßig, ihnen im wagerechten Querschnitt die Gestalt eines Kreuzes zu geben. Diese Anordnung ist in Figur 960 dargestellt.

Wir haben nunmehr noch über die Verbindung der Trag- und Spannketten über den Pfeilern das Nöthige anzuführen.

Die einfachste Art der Verbindung beider Ketten über einem Pfeiler besteht darin, daß man auf seinem oberen Ende einen gußeisernen Sattel, welcher oben und an seinen Giebelseiten offen ist, befestigt. Durch auf einander treffende Löcher in beiden Seitenwänden werden dann Bolzen gesteckt, von denen der eine durch die Oehre der ersten Glieder der Tragketten, der andere aber durch die der Spannketten geht. Diese Anordnung kann aber nur dann stattfinden, wenn der Sattel mit dem Pfeiler fest verbunden werden kann, wie z. B. bei gußeisernen

der hölzernen Stützpfeilern, wo derselbe mit dem Pfeiler so verbunden wird, daß man ihn als aus einem Stücke bestehend betrachten kann.

Diese Art der Verbindung ist aber nicht sehr zweckmäßig, denn läßt der Spannkette einmal etwas nach, so muß der Pfeiler ebenfalls nachgeben und kommt aus seiner lothrechten Stellung. Weit besser ist daher die in den folgenden Figuren angegebene Verbindung der Tragketten mit den Spannketten.

Bei der in Figur 972 — 975 dargestellten Kettenbrücke über den Irwell bei Manchester bestehen die Tragpfeiler aus Gußeisen. Von einem, durch die Unterstützungssäule Figur 975 gezogenen, starken eisernen Bolzen hängen drei ovale Ringe, wie die zur Verbindung der einzelnen Kettenglieder, herunter, von deren Untertheil, ebenfalls durch einen Bolzen gehalten, zwei ähnliche Verbindungen, eine nach der Richtung der Tragketten, die andere nach der der Spannketten abgehen und mit den Gliedern der Ketten in gewöhnlicher Art verbunden sind. Bei dieser Anordnung ändert daher eine Senkung der Kette bei schweren Lasten nur den Winkel der Aufhängegeländer, welche die Ketten pendelförmig tragen, so daß sich die Spannung einzelner Theile derselben leicht auf die ganze Länge ausdehnt und gleichförmig vertheilt, ohne weiter auf Umkantung der Säulen zu wirken.

Eine ganz ähnliche Verbindung der Trag- und Spannketten findet auch bei der in Figur 961 durgestellten Kettenbrücke auf der Insel Bourbon statt. Die Ketten sind auch hier mit den Stützböcken, die aus Gußeisen bestehen, durch eine Art Hängebügel von geschmiedetem Eisen verbunden, dessen Querschnitt Figur 965 und 966 zeigt und der, indem er sich um den oberen Bolzen, der allein fest ist, drehen kann, es möglich macht, daß auch hier die Aufhängepunkte der Ketten nach der Länge der Brücke, in wagerechter Richtung, ihre Lage etwas verändern können, so wie die vorübergehende Ungleichheit der Belastung der beiden Theile es nöthig macht.

Eine mangelhafte Anordnung würde jedenfalls erhalten werden, wenn man die Giebelwände des Sattels so anordnete, daß die Trag- und Spannketten darin befestigt würden, und zwar so, daß die oberen Enden der Kettenglieder Schraubengewinde erhielten, solche dann durch dazu vorgerichtete Löcher in die Giebelwände gesteckt und darauf Muttern geschraubt würden. Bei einer solchen Anordnung würden die ersten Glieder bei kleinen Veränderungen der Gestalt der Ketten sich nicht um Bolzen drehen können, sondern sich biegen müssen, was sowohl ein Brechen dieser Glieder als auch ein Ausbrechen der Giebelwände zur Folge haben könnte.

Anstatt die Trag- und Spannketten auf die eben beschriebene Weise mit einander zu verbinden, hat man auch vielfach über die Stützpfeiler fortlaufende Ketten angeordnet, die nur über den Pfeilern kürzere Glieder haben, weil hier ihre Krümmung sich ändert und stärker ist, als an den übrigen Stellen. Man könnte nun die Ketten unmittelbar auf die Oberfläche der Stützpfeiler legen und dieser eine solche cylindrische Form geben, daß sie in den Befestigungspunkten von den Richtungen der Trag- und Spannketten tangentirt würde. Allein hierbei würde, selbst wenn die gekrümmte Oberfläche des Stützpfeilers eine polirte Platte wäre, eine sehr bedeutende Reibung zwischen ihr und der Kette entstehen,

was zur Folge haben würde, daß sich die Spannung der Tragkette nicht ganz auf die Spannkette fortpflanzte und es würde die Tragkette das Bestreben haben, den Stützpfeiler so lange um seine innere untere Kante zu drehen, bis dadurch die Spannung der Spannkette groß genug geworden, diese Wirkung aufzuheben. Wenn nun hierdurch auch ein Drehen des Pfeilers um seine untere Kante nicht wirklich erfolgen würde, so würden doch, da die Pfeiler immer aus mehreren Theilen zusammengesetzt und verbunden sind, diese Verbindungen leiden und jedenfalls daraus Nachtheile für die Brücke entstehen. Man hat daher gesucht, diese Reibung, wenn auch nicht ganz, doch so viel als möglich zu beseitigen und dazu sich verschiedener Mittel bedient. Es sollen nun einige hierher gehörige Beispiele angeführt werden.

In den Figuren 932 und 933 ist die Verbindung der Trag- und Spannketten über den Stützpfeilern bei der Kettenbrücke über die Elbe zu Podiebrad in Böhmen dargestellt. Auf dem Mauerwerke ruht ein gußeiserner Sattel, über welchen und durch welchen die Ketten gehen. Die Ketten sind an dieser Stelle mittelst kurzer Glieder mit einander verbunden; diese Glieder liegen unmittelbar auf der zugehörigen Oberfläche des Sattels und sind hier zur Verminderung der Reibung der Kette auf den Sattelflächen keine weiteren Anordnungen getroffen. Bei der weiteren Beschreibung dieser Brücke (s. Försters Bauzeitung 1844) heißt es ferner:

„Obgleich die Ketten während der Zusammensetzung nur durch ihr eigenes Gewicht Widerstand leisteten, daher die vorberechnete Zugkraft noch nicht ausüben konnten, so war die Kraftwirkung und Reibung in den Sätteln doch so groß, daß die Wurzelkeile zur Rectificirung durch das Eintreiben eher eine Zerstörung erlitten hätten, als daß hierdurch eine Rectificirung der Kette erzielt worden wäre. Zu diesem Ende blieb nichts Anderes übrig, als die zu rectificirende Kette der ganzen Länge nach zu unterlegen und sodurch zu erleichtern, die Keile aber mehr oder weniger anzuziehen, bis die Lage der Kette erzielt war."

Wenngleich nun die Rectificirung der Ketten auch auf eine andere Weise hätte geschehen können, so sehen wir doch hieraus, daß die Reibung sehr bedeutend und bei Anspannung der Spannkette jedenfalls befähigt ist, ein Verschieben der oberen Pfeilertheile bewirken zu können, und finden demnach das oben Gesagte hier vollkommen bestätigt.

Bei der Bamberger Brücke, deren Stützpfeiler in Fig. 925 dargestellt ist, ruhen die Ketten auf dem Pfeiler auf einer mit dem Mauerwerke verbundenen festen Gußeisenplatte; gleich nach der Ausrüstung neigten sich die vier Tragpfeiler um ein Geringes nach der inneren Seite, auch wurde der auf der inneren Seite liegende oberste Stein des Pfeilers, auf welchem die Tragketten ruhten, zersprengt, was nur als eine Folge davon angesehen werden konnte, daß eine Fortpflanzung der Spannung der Tragketten auf die Spannketten durch die bedeutende Reibung der ersteren auf dem Pfeiler verhindert wurde.

Die in den Figuren 934 und 935 dargestellte Ordnung ist von den vorigen dadurch verschieden, daß zur Verbindung der beiden Tragketten über den mittleren Stützpfeiler nicht kürzere Glieder angewendet sind sondern nach der cylindrischen Oberfläche des gußeisernen Sattels gekümmte eiserne Schienen-

die an beiden Enden Scheiben mit Löchern haben, durch welche Bolzen gesteckt werden, worauf die Kettenglieder hängen. Um hier ein Verschieben des Sattels bei ungleicher Belastung der Ketten zu verhindern, sind die Sättel mittelst eiserner Anker an das untere Pfeilermauerwerk befestigt. Allein auch diese Anordnung ist nicht zu empfehlen, denn durch das Verankern der Sättel wird ein Verschieben einzelner Theile zwar mehr verhindert, jedoch keineswegs der Nachtheil einseitiger Wirkung auf den Pfeiler bei ungleicher Belastung der Ketten aufgehoben, sondern es kann hier sogar der Fall stattfinden, daß, wenn die Ketten auf einer Seite des Pfeilers plötzlich sehr bedeutend belastet werden, die Anker verbiegen oder brechen können, woraus dann unbedingt auch ein Verschieben oder Verrücken einzelner Pfeilertheile folgen würde.

Es ist daher unter allen Umständen besser, daß man diese auf den Stützpfeilern stattfindende Reibung möglichst zu vermindern sucht.

Bei der Menai-Kettenbrücke laufen die Ketten auf beweglichen gußeisernen Sätteln (Fig. 949, 951 und 952). Diese Sättel bestehen aus vier über einander liegenden kastenförmigen Stücken, wovon das unterste auf acht Rollen oder Walzen von geschmiedetem Eisen ruht, welche letzteren sich auf einer gußeisernen Sohlplatte etwas hin und her bewegen können, je nachdem die Ketten entweder durch die Aenderung der Temperatur oder durch eine größere Belastung etwas nachgeben. Diese schmiedeeisernen Rollen haben 8 Zoll im Durchmesser und wurden an ihrer Oberfläche gut abgedreht; sie können sich auf der gußeisernen Platte R Fig. 951 zwischen den daselbst angegossenen Rippen $4^1/_2$ Zoll weit bewegen und aus eben dieser Ursache nicht aus den Sätteln herauslaufen. Die Kettenglieder selbst, welche hier über die Stützpfeiler gehen, sind gekrümmt nach der Oberfläche des Sattels und die Glieder der Trag- und Spannketten außerhalb der Sattelwände mit denselben durch Bolzen verbunden. An den Boden des untersten Kastens sind unterhalb Ränder angegossen, die mit de Länge der Brücke parallel und unterhalb nach einem Kreisbogen abgerundet sind, der mit demjenigen gleichlaufend ist, welcher die Richtung der Trag- und Spannketten an ihrem oberen Ende berührt; diese Ränder enthalten die Hälfte der Zapfen und Pfannen der Walzen. Die anderen Hälften der Pfannen liegen an jeder Seite in einer gekrümmten gußeisernen Schiene, welche durch schwalbenschwanzförmige Schlüssel mit dem zugehörigen Rande verbunden wird. Beide Schienen sind um die Breite des erhabenen Theils der Sohlplatte von einander entfernt und reichen bis unter ihre gekrümmte Oberfläche. An jedem Ende des erhabenen Theils der Sohlplatte ist ein aufwärts gerichteter Rand angebracht, um das Abgleiten des Sattels nach der Länge der Brücke zu verhindern.

Um die vier Sättel, welche zur Leitung der vier Hauptketten auf den Tragpfeilern ruhen, gegen einander zu stützen, wurden vier schmiedeeiserne Stangen (Fig. 952) von 3 Zoll im Quadrat zu jeder Seite dieser Sättel angebracht.

Damit die Gußeisenplatten genau mit dem Mauerwerke zusammenfallen und gar kein Abstand übrig bleibe, wurden sowohl unter die Platten, als in allen Ecken und auch bei jeder Berührung zweier eiserner Flächen Flanelle eingelegt, die in heißem Oel mit Bleiweiß getränkt waren. Derselbe Flanell

wurde zwischen alle Glieder der Ketten gelegt, um das Ausreiben derselben möglichst zu vermindern.

Die über den Sätteln liegenden Kettenglieder sind stärker als die Glieder in der übrigen Länge der Kette. Zunächst den Tragpfeilern befindet sich in einer Reihe Verbindungsblätter und Kettenglieder statt der gewöhnlichen Oeffnung von $3^1/_{15}$ Zoll Durchmesser ein Schlitz ab Fig. 949 von $13^1/_2$ Zoll Länge, um durch Antreiben mit Keilen den Ketten bei ihrer Einfügung die gehörige Spannung geben zu können.

Bei der in Fig. 935 dargestellten Kettenbrücke in Hammersmith sind die acht Hauptketten ebenfalls nicht auf den Stützpfeilern befestigt, sondern laufen daselbst, wie Fig. 940 und 941 zeigt, über zwei Reihen gußeiserner genau abgedrehter Walzen, die einen für die unteren und die anderen für die oberen Ketten. Diese Walzen haben 11 Zoll im Durchmesser und 3zöllige schmiedeiserne Zapfen, die in metallenen Lagern ruhen. Diese letzteren sind auf einem massiven, gußeisernen Gerüste, welches in die Tragpfeiler eingelassen und fest an dieselben angeschraubt ist, befestigt. Die Achsen dieser Walzen liegen in der Peripherie eines Kreises, so daß die damit gleichlaufende Fläche durch die oberste Seite der Walzen von der Richtung der oberen Enden der Trag- und Spannketten berührt wird, wodurch jedenfalls eine leichtere Beweglichkeit der Walzen und der darauf ruhenden Ketten erlangt wird. Nach genauen Beobachtungen des Ingenieur Clark betrug die Bewegung der Ketten auf den gußeisernen Rollen, wenn Wagen im scharfen Trabe über die Brücke gingen, $^1/_4$ Zoll und die größte Verschiebung derselben nie mehr als 1 Zoll. Die dieser Verschiebung von 1 Zoll entsprechende, größte Senkung in der Mitte betrug nach genauen Messungen 5 Zoll.

§. 29. Die Fahrbahn (Brückenbahn).

Die Brückenbahn besteht aus Theilen von Holz, Schmiedeeisen oder Gußeisen, welche an die bereits oben erwähnten Hängestangen, die wieder mit den Trag- und Spannketten verbunden sind, befestigt, und sowohl quer als parallel zur Richtung der Brücke eingelegt werden. Auf diesen mit den Hängestangen verbundenen Theilen ruht dann der Belag, welcher die eigentliche Bahn ausmacht. Das dann hierauf innerhalb der Hängestangen noch zu setzende Brükkengeländer, welches entweder von Holz oder Eisen hergestellt werden kann, bildet den letzten Theil der Brückenbahn.

Diejenigen Theile der Brückenbahn, welche unmittelbar an den Hängestangen befestigt sind und worauf demnach die eigentliche Brückenbahn ruht, werden gewöhnlich senkrecht auf die Richtung der Brücke, also nach der Quere eingesetzt, weil dies nicht allein weit leichter und weniger kostspielig auszuführen, sondern weil auch hiernach mit weniger Schwierigkeiten eine sichere Brückenbahn herzustellen ist.

Werden die Tragschwellen von Holz construirt, so verwendet man dazu gewöhnlich Eichenholz. Dieselben müssen je nach ihrer frei liegenden Weite einen hin-

reichenden Querschnitt haben und dies um so mehr, da die Hauptbelastung derselben immer mehr nach der Mitte hin sich befindet. Bei der Bamberger Brücke haben dieselben bei einer Länge von 33 Fuß eine Breite von 10 Zoll und eine Höhe von 15 Zoll. Die Entfernungen dieser Tragschwellen von einander betragen selten über fünf Fuß und richten sich dieselben nach der Entfernung der Hängestangen von einander. Die Verbindung der Hängestangen mit den Tragschwellen kann auf verschiedene Weise bewerkstelligt werden. Man macht an dem unteren Ende der Hängestange entweder einen Bügel, welcher die Tragschwelle umfaßt, oder man läßt auch die Hängestange durch die Tragschwelle gehen und diese dann mittelst einer zwischengelegten Platte und eines durchgesteckten Splintbolzens tragen. Auf diese Tragschwellen kommt entweder unmittelbar der Belag, welcher aus zwei Lagen von Bohlen besteht, wovon die untere Lage nach der Länge der Brücke und die obere oder Decklage nach der Quere gelegt wird, oder man verkämmt erst nach der Längenrichtung auch die Tragschwellenbalken und legt darüber den doppelten Bohlenbelag. Der untere Belag wird nie aus dicht neben einander gelegten Bohlen hergestellt, sondern man läßt immer einen Zwischenraum zwischen den einzelnen Bohlen von $^3/_4$ bis 1 Zoll, damit das darauf fallende Regen- oder Schneewasser leichter abfließen und ferner, damit auch die Luft so gut als möglich zwischen ihnen circuliren kann. Um eine Verschiebung der Bahn nach horizontaler Richtung zu vermeiden, müssen eiserne oder hölzerne horizontale Kreuzstreben angebracht werden. Dieselben werden mit den unteren Tragschwellen durch starke Schraubenbolzen verbunden.

Die ganze Breite der Brückenbahn macht man selten über 25 bis 28 Fuß. Hiervon nimmt man, damit sich zwei Wagen bequem einander ausweichen können, 15 bis 16 Fuß zu der Fahrbahn und der Rest wird zu Trottoirs und den Geländern benutzt. Man kann auch die Breite der Brückenbahn dadurch erheblich vergrößern, daß man die Trottoirs außerhalb der äußeren Ketten anbringt, was ganz ohne Nachtheil geschehen kann und namentlich bei kleineren Brücken noch den Vortheil gewährt, daß man Tragschwellen von etwas geringeren Dimensionen verwenden kann, indem die Stützpunkte derselben auch dann näher zusammengerückt werden können und zwar so viel, daß die mittlere Fahrbahn unmittelbar von den Hängeketten begränzt wird.

Statt der hölzernen Tragschwellen hat man auch solche von Guß- oder Schmiedeeisen angewendet. Hat man Längenschienen, so legt man darauf hölzerne Querbalken und darüber einen Belag von Bohlen der Länge nach und hierüber noch einen zweiten entweder der Quere oder ebenfalls der Länge nach. Die Fugen zwischen den Bohlen des unteren Belags müssen des besseren Wasserabzugs wegen mindestens $^3/_4$ Zoll weit sein.

Da aber durch die Schienen, wegen ihrer geringen Breite, keine Bolzen der Höhe nach gehen können, so macht man dieses untere Ende der Hängestange gabelförmig und an beiden Seiten derselben Schraubenspindeln, so daß ein vorgelegter Steg mittelst Schraubenmuttern befestigt werden kann, wie in Fig. 930 angedeutet, oder man steckt auch durch beide Schenkel einen starken Splintbolzen, welches Letztere aber der ersteren Anordnung nachsteht.

Es lassen sich diese Anordnungen auf verschiedene Weise herstellen und wollen wir hier nur einige hauptsächliche Beispiele anführen, aus welchen dasjenige, worauf es hierbei hauptsächlich ankommt, leicht zu erkennen ist.

Bei der in den Figuren 936—942 dargestellten Kettenbrücke in Hammersmith ist das untere Ende einer jeden Hängestange, welche daselbst $2^1/_4$ Zoll im Quadrat hat, mit einer Oeffnung versehen, durch welche ein eiserner Keil getrieben (Fig. 939), und dadurch der von einer jeden Stange getragene Theil der Brückenbahn gehörig angezogen werden kann. Auf diesem Keile liegen nämlich starke gußeiserne, an ihrem Umfange auf zwei Seiten mit Rändern versehene Platte pr, die zwei paarweise neben einander liegende Unterzüge von 4 Zoll Stärke und 12 Zoll Höhe tragen, zwischen welchen letzteren die Hängeeisen durchgehen. Um der Fahrbahn möglichst viele Festigkeit und Sicherheit gegen Seitenschwankungen zu geben, sind diese Unterzüge durch diagonale Verstrebungen, welche in Fig. 937 in der unteren Ansicht dargestellt sind, zusammen verbunden. An die Unterzüge sind nämlich an den gehörigen in der Richtung der Diagonalen liegenden Orten gußeiserne Schuhe angeschraubt, die theils auf 3, theils auf 4 Seiten mit hervorstehenden Rändern versehen sind. Von der vierten Seite, welche offen, wurden eichene Streben n, die möglichst genau zugerichtet waren, eingeschoben und gut angetrieben.

Um der Brückenbahn auch möglichst viel Festigkeit gegen verticale Schwingungen zu geben, liegen winkelrecht über den Unterzügen als Begränzung des Fahr- und Fußweges der ganzen Länge der Brücke nach zwei Langschwellen A, (die aus zwei Breiten bestehen), deren jede 15 Zoll hoch und 6 Zoll breit ist. Diese Schwellen, welche paarweise liegen, sind nur so weit von einander entfernt, daß sie die Hängestangen zwischen sich durchlassen, und sind durch Schrauben mit einander verbunden; oberhalb derselben sind aber Hängewerke von einer eigenen Construction aufgestellt.

Es sind nämlich gußeiserne Säulen osmn Fig. 939 mit einer Sohlenplatte mn auf die Schwellen geschraubt, der Kopf os oder die gußeiserne Kappe dieser Säulen kann jedoch abgenommen werden und ist zu beiden Seiten mit viereckigen Oeffnungen für die zwei neben einander liegenden hölzernen Streben vo und os von 5 Zoll Höhe und 4 Zoll Breite versehen. Diese Streben sind an ihrem unteren Ende in gußeiserne Schuhe vv, die sie genau umfassen, eingesetzt. Durch die Säule geht eine schmiedeeiserne, oben mit Schraubengewinden und Mutter versehene Stange tu, deren unterer Kopf die unter den Bohlen angebrachte eiserne Platte wy umfaßt. Wird nun die Mutter bei t angezogen, so geht die Kappe der Säule und mit ihr auch die hölzernen Streben herab, und werden die letzteren demnach auch in demselben Maße gespannt. Durch diese Anordnungen wird die Brückenbahn gegen verticale Schwingungen jedenfalls sehr gesteift und hat man bei Anordnung der Schwellen nur darauf zu sehen, daß deren Stöße nicht unter die gußeisernen Schuhe vv treffen, sondern es ist nothwendig, wenn der beabsichtigte Zweck erreicht werden soll, daß die Schwellen unter jeder Säule zusammengestoßen werden.

Diese Hängewerke bilden gleichzeitig Scheidewände zwischen der Fahrbahn und den Fußwegen. Am Rande der Brücke sind gußeiserne mit rosettenförmigen

Kappen bedeckte Säulen aufgestellt, die mit dem Geländer ein ähnliches, obgleich weit minder festes Hängewerk bilden, wie es zwischen der Fahrbahn und den Fußwegen angebracht ist.

An denjenigen Stellen, wo die Brückenbahn von unten her unterstützt ist, geschieht dies mittelst eiserner Stützen, die auf den Verbindungsgliedern der Ketten befestigt sind. Diese Stützen haben an ihrem oberen Ende zwei hervortretende Ränder, zwischen welchen die hölzernen Tragschwellen liegen (Fig. 938).

Der übrige Theil der Brückenbahn besteht aus einer doppelten Bohlenlage, die auf den erwähnten Tragschwellen, die eine der Länge, die andere und zwar die obere der Breite der Brücke nach von drei Zoll starken Bohlen hergestellt ist. Zwischen beide Bohlenlagen wurde ein mit Theer und Pech getränkter Filz gelegt.

Die ganze Länge dieser Brücke beträgt zwischen den beiden Landpfeilern 732 Fuß 8 Zoll. Der mittlere oder Hauptbogen mißt zwischen den beiden Stützpfeilern 400 Fuß 3 Zoll; die beiden Tragpfeiler oder Stützpfeiler haben jeder eine Länge von 22 Fuß und die hinter den Stützpfeilern aufgehängten Theile der Brückenbahn haben eine Länge von 142 Fuß 11 Zoll und 145 Fuß 6 Zoll.

Die Brückenbahn ist in drei Theile getheilt; der mittlere Theil oder die Fahrbahn beträgt 20 Fuß und die Fußwege zu beiden Seiten haben jeder eine Breite von 5 Fuß.

Die Brückenbahn hängt an 4 Paar Hauptketten, die auf der Entfernung von 1 Fuß doppelt über einander laufen. Am Rande der Brücke läuft zu jeder Seite ein solches Paar Ketten und zwischen dem Fuß- und Fahrwege befinden sich abermals zu jeder Seite ein Paar Ketten. Eine jede der vier inneren Hauptketten, welche den Fahrweg begränzen, besteht aus 6 einzelnen, neben einander liegenden, zusammen verbundenen Schienenreihen, die in Fig. 941 dargestellt sind; dagegen besteht eine jede von den vier äußeren Ketten, welche am Rande der Brücke fortlaufen, aus drei solchen Schienenreihen. Jede einzelne Schiene hat 5 Zoll Höhe und 1 Zoll Breite. Der Sinus versus der Hauptketten des mittleren Brückenfeldes ist gleich 29 Fuß 6 Zoll.

Bei der Menai-Kettenbrücke ruht die Brückenbahn auf den schmiedeeisernen Querstangen ab Fig. 950, deren Verbindung im Grundrisse bei $a^1 b^1$ ersichtlich ist. Auf diesen Querstangen ruhen zwei Lagen Bohlen, wovon die untere 3 Zoll und die obere 2 Zoll stark ist. Beide Lagen liegen nach der Länge der Brücke; in den Fahrbahnen liegt noch eine dritte Lage zweizölliger Bohlen, die jedoch nach der Quere der Brücke gelegt ist. Zur größeren Festigkeit sind unterhalb dieser Querstangen noch schmiedeeiserne Sprengwerke angebracht. Die Brückenbahn hängt an 16 Ketten, wovon immer vier über einander laufen. Jede einzelne Kette besteht aus 5 Reihen Gliedern von $3\frac{1}{4}$ Zoll Höhe, 1 Zoll Dicke und 9 Fuß $1\frac{1}{4}$ Zoll Länge von Mitte zu Mitte der Endöffnungen. Die beiden Stützpfeiler sind 580 Fuß von einander entfernt und beträgt der Sinus versus der Tragketten auf dieser Länge 43 Fuß. Die Brückenbahn ist in zwei Fahrbahnen mit einem dazwischen liegenden Fußweg abgetheilt. Die Entfernung von Mitte zu Mitte der Spannketten über den Fahrbahnen beträgt

12 Fuß und die Entfernung von Mitte zu Mitte der zwei inneren Kettenreihen 4 Fuß.

Um die Spannketten, soweit sie über den gewölbten steinernen Bögen fortlaufen, vor Schwingungen möglichst zu bewahren (Fig. 948), wurden oberhalb dieser Bögen auf beiden Außenseiten des Mauerwerks gußeiserne Platten von 5 Fuß Länge, 8 Zoll Breite und 2 Zoll Dicke, deren äußeres Ende durchbohrt war, eingemauert und durch dieselben ein starker, schmiedeeiserner, mit einem Kopfe versehener Bolzen, welcher die obere Brückenbahn auf dem Mauerwerke festhält, durchgesteckt (Fig. 949.).

Die ganze Länge einer Kette, zwischen ihren beiderseitigen Endpunkten gemessen, beträgt 1740 Fuß, und sind die Glieder der Spannketten in den Kammern stärker als in der übrigen Länge, indem hier die einzelnen Schienen 4 Zoll Höhe und $1\frac{1}{2}$ Zoll Dicke haben.

Um die Schwingungen bei dieser Brücke zu vermindern, wurden zwischen die Tragketten, so wie die Spannketten an 8 verschiedenen Punkten eiserne Rahmen angebracht. Diese Rahmen bestehen (Fig. 950) aus zwei über einander fortlaufenden hohlen gußeisernen Röhren von 3 Zoll Stärke, durch welche schmiedeeiserne, an ihrem Ende durchbohrte Stangen gehen, welche mit den Röhren durch Bolzen verbunden sind. Andere schmiedeeiserne Stangen wurden in diagonaler Richtung zwischen die gußeisernen Röhren eingepreßt und dadurch dem Ganzen die gehörige Festigkeit gegeben. Durch diese Einrichtungen hat man die Schwingungen so vermindert, daß sie, wenn Postkutschen im scharfen Trabe über die Brücke fahren, kaum bemerkbar sind; allein bei Stürmen, die von der Seite kommen, erhebt sich die 560 Fuß lange Brückenbahn zwischen den Pfeilern in ihrer Mitte noch immer um 1 bis 2 Fuß.

Die Brückenbahn hat in der Mitte ihrer Länge nach eine Erhöhung von 2 Fuß.

Das Geländer der Brücke ist 6 Fuß hoch und besteht dasselbe aus dünnen Schienen von gewalztem Eisen; dasselbe ist in seinem unteren Theile doppelt durchflochten und mit den vertical herabgehenden Hängestäben verbunden.

Die von Navier entworfene Kettenbrücke über die Seine in Paris welche in Fig. 948 dargestellt ist, hatte eine Länge von 170 Meter von Mitte zu Mitte der Säulen gemessen, über welche die Ketten geführt wurden; der Sinus versus der Hängekette betrug 10 Meter. Die Breite der Brücke zwischen den beiden äußeren Kettenreihen und somit der Abstand der beiderseitigen äußeren Geländer betrug 8,7 Meter. Dieser Raum war in drei Theile getheilt, wovon der Fahrweg 5,7 Meter und jeder der beiden Fußwege 1,5 Meter Breite erhielten.

Unter der Brückenbahn lag ein aus drei Stücken bestehender gußeiserner Rahmen (s. Fig. 945), welcher an den Tragstangen aufgehängt war und eine Art Sprengwerk bildete, indem die unteren Enden jedesmal noch durch eine horizontale Zugstange mit einander verbunden und zusammengehalten wurden. Auf diese gußeisernen Querrahmen waren nach der Länge der Brücke Balken gelegt von 0,5 Meter Höhe und 0,19 Meter Breite und hierüber kam dann der wieder nach der Quere der Brücke gelegte Bohlenbelag von 0,1 Meter Stärke.

Die Spann- und Tragketten bestanden aus 9 Reihen länglicher Kettenglieder von geschmiedetem Eisen, welche in drei Lagen angeordnet wurden. Diese Glieder hatten 4,9 Meter äußere Länge, eine Höhe von 0,08 Meter und eine Stärke von 0,04 Meter. Die Verbindung dieser Kettenglieder geschah durch Ringe und Bolzen, wovon die letzteren aus zwei Hälften bestanden, zwischen welche Keile eingetrieben wurden, um die Länge der Ketten hiernach reguliren zu können (s. die Figuren 947).

Um die neun Gliederreihen einer jeden Kette vereinigen zu können, wurden dieselben mit gußeisernen Querstangen ab, cd Fig. 946 zusammengehalten, die dort, wo die Ketten zu liegen kamen, eingeschnitten waren und mit Schraubenbolzen angezogen wurden.

Die verticalen Tragstangen waren rund und hatten einen Durchmesser von 0,04 Meter; auf jede Länge von 1,667 Meter der Brückenbahn kamen vier solche Stangen, indem sie je zwei und zwei angebracht waren. Diese Tragstangen trugen an ihrem unteren Ende zwei Tragschienen von 0,1 Meter Höhe und 0,03 Meter Dicke, welche unterhalb der ganzen Brückenbahn ihrer Länge nach zu beiden Seiten fortliefen und auf denen die vorgenannten gußeisernen Rahmen in der Quere lagen.

Die Spannketten auf der Rückseite der runden Tragpfeiler waren auf gleiche Art wie die Tragketten gebildet, nur war ihr Querschnitt noch etwas stärker.

Die Tragpfeiler der Ketten waren zwei runde Säulen, wie aus Fig. 944 ersichtlich. Dieselben waren aus Quadersteinen aufgeführt und hatten unten, wo sie auf einem Sockel standen, 3,3 Meter, oben hingegen nur 2,5 Meter Durchmesser. Der Durchmesser des Kreuzes oder obersten Theils des Capitäls betrug 4 Meter und auf diesem Kreuze ruhte ein quadratförmiger Sockel von 1 Meter Höhe. In der Mitte dieses Söckels war ein gußeisernes Gehäuse eingelassen, welches mit mehreren Scheidewänden versehen war und zur Aufnahme der Ketten diente. Der untere Boden dieses Gehäuses war nach einem Kreisbogen gekrümmt und die Kette bestand hier aus kurzen Gliedern, welche durch horizontale Bolzen mit einander vereinigt waren.

Zur Verstärkung des Mauerwerks der Säulen waren in denselben, in der durch die Mitte der Kette gehende Verticalebene Bänder aus Gußeisen angebracht, welche von der Grundmauer durch das Capitäl bis zum Boden des erwähnten Gehäuses gingen; diese Bänder wurden durch schmiedeeiserne Bolzen, welche durch die Säulen gingen, mit einander verbunden. Die zwei Säulen zu jeder Seite der Brücke waren noch unter sich durch einen gußeisernen hohlgegossenen Balken verbunden, der eine Länge von 7,8 Meter hatte und in seinem Innern mit einer senkrechten Scheidewand versehen war. Dieser Querbalken diente dazu, die Säulen gegen einander zu stützen.

Aus den hier angeführten Fällen läßt sich nun die Anordnung der Brückenbahn genugsam beurtheilen und ist daher eine weitere Erläuterung durch Beispiele nicht erforderlich.

Wir haben nunmehr noch einen sehr wichtigen Punkt hier näher zu besprechen, nämlich die Anordnungen zur Verhütung von Schwankungen der

Hängebrücken. Bei obigen Beispielen haben wir schon im Allgemeinen derselben Erwähnung gethan, wir müssen aber dennoch der Wichtigkeit des Gegenstandes halber noch auf denselben besonders zurückkommen.

§. 30. Ueber Schwankungen der Hängebrücken.

Die Schwankungen entstehen auf zweierlei Art; einmal durch das Fortbewegen einer über die Brückenbahn gehenden Last, ferner aber auch durch Winde, die von der Seite her auf die Brückenbahn treffen. Beide Arten von Schwankungen, nämlich die erstere nach verticaler und die letztere mehr nach horizontaler Richtung sind für die Brücke nachtheilig und sogar gefährlich, weshalb dieselben auf das kleinstmögliche Maß zurückgeführt werden müssen.

Was die Schwankungen betrifft, die durch eine bewegliche Last verursacht werden, so lehrt sowohl die Rechnung als auch die Erfahrung, daß diese in ihrer Größe abnehmen, wenn die Spannweite wächst, oder wenn bei derselben Spannweite der Sinus versus der Kettenlinie abnimmt. Ferner aber werden unter sonst gleichen Umständen die Schwankungen durch eine bewegliche Last um so kleiner und die von ihnen herrührende Formenveränderung der Brücke um so geringer, je schwerer die Brückenbahn ist. Ueberhaupt sind diejenigen Schwingungen, welche durch das Ueberfahren von Wagen entstehen, nicht so gefährlich für die Brücke, weil diese sich regelmäßig fortbewegen, ohne Stöße zu verursachen. Gefährlicher ist aber, wenn die Brücke in Schwingungen gesetzt wird, die sich periodisch wiederholen, wie bei dem Schritte marschirender Soldaten, wo die Brücke, man könnte sagen, tempomäßig in Schwingungen geräth; oder wenn bei einem Gedränge auf der Brücke dieses sich plötzlich von einer Seite zur andern bewegt. Die durch solche Ursachen entstehenden Schwingungen sind jedenfalls sehr gefährliche und haben manche Unfälle bei Kettenbrücken davon den schlagendsten Beweis geliefert. Es ist daher nothwendig, daß solche Zustände bei Hängebrücken ganz und gar verhindert werden, was durch eine gute Brückenpolizei jedenfalls geschehen kann.

Die durch eine gewöhnliche bewegliche Last hervorgebrachten Schwingungen lassen sich erheblich dadurch vermindern, daß man den Brückenboden selbst möglichst steif macht und die Hölzer möglichst fest mit einander verbindet. Aber hierzu dient auch ferner das Brückengeländer. Durch das letztere kann man der Brückenbahn eine große Steifigkeit geben, wenn man dasselbe noch unter die Bahn fortsetzt, und somit an jeder Seite der Bahn offene Balken bildet, mit denen die Brückenbahn fest verbunden ist. Die Geländer werden dann von Strecke zu Strecke durch die Hängestangen getragen. Diese Anordnung bietet aber ferner den großen Vortheil, daß man unterhalb der Brückenbahn geneigte diagonale Verstrebungen anbringen kann, wodurch auch das ganze Zimmerwerk den durch Stürme verursachten horizontalen Schwingungen Widerstand zu leisten vermag.

Weit gefährlicher sind aber die von Stürmen herrührenden Schwingungen, indem sich diese in ziemlich gleich abgemessenen Zeiten wiederholen und von

einem Ende zum anderen so zunehmen, bis die ganze Verbindung der Brücke in einen Zustand gleich abgemessener Schwingungen versetzt ist.

Um diese Schwingungen unschädlich zu machen, sind mehrfache Vorschläge gemacht, und zum Theil auch zur Ausführung gebracht worden.

Bei der in den Figuren 961—964 dargestellten Hängebrücke auf der Insel Bourbon hat der Erbauer Brunel unter der Fahrbahn einen Bogen angeordnet, der nach oben erhoben und von einer Kette gebildet ist, die vermittelst Hängestäben von der Bahn getragen wird. Solcher unteren Ketten sind vier vorhanden und diese liegen in geneigten Ebenen, wie aus Fig. 962 und 964 zu ersehen ist. Dieselben haben hier einzig nur den Zweck, die Bahn, wenn der Wind darauf wirkt, in ihrer Lage zu erhalten. Diese Ketten, welche der Erbauer lose, unangeholte Ketten nannte, sind im Mittelpfeiler und in den Stirnpfeilern, vermittelst langer Glieder an ihren Enden, befestigt.

Man hat auch, wo es wegen Eisgangs und wegen der Schifffahrt zulässig war, an jeder langen Seite der Brückenbahn Ketten angebracht, deren untere Enden an Anker im Grundbette befestigt waren und die dann so stark als möglich angezogen wurden.

Wo aber eine solche Befestigung wegen Eisgangs nicht angeht, hat man auch die Ketten von der Brücke nach dem Ufer ober- und unterhalb der Landpfeiler geführt, wo sie dann auf ähnliche Weise wie die Spannketten ihre Befestigung erhalten. In Fig. 976 ist dies näher angedeutet. Uebrigens wird die beabsichtigte Wirkung nur dann erreicht werden, wenn man den Winkel, welchen die Ketten mit der Längenrichtung der Brücke bilden, möglichst groß macht; je kleiner aber dieser Winkel wird, desto geringer ist auch die Wirkung.

Diese letztere Anordnung ist jedenfalls wohl die wirksamste, allein sie hat auch zur Folge, daß an der Stelle, wo die Kettenstütze mit der Brückenbahn verbunden ist, unangenehme Biegungen verursacht werden, wenn eine vorübergehende Last die Tragkette hebt. Dies tritt um so mehr hervor, je größer der Winkel, unter welchem die Kette auf die Brückenbahn trifft, und demnach auch, je länger die Kette wird. Allein keine dieser Methoden leistet bei größeren Spannweiten genügenden und zweckentsprechenden Dienst; wohl aber bei kleineren und geringen Spannweiten.

Das beste Mittel besteht daher wohl darin, um die nachtheiligen Wirkungen der Schwankungen zu begränzen, daß man die Brückenbahn selbst möglichst fest macht und diese mit einem Holzgeländer versieht, welches noch Diagonalverstrebungen unterhalb der Brückenbahn nach geneigten Richtungen zulässig macht. Namentlich zweckmäßig würde sich zu solchen Brückengeländern das Gittersystem eignen. Wenn auch hierdurch eine größere Belastung der Tragketten hervorgebracht wird, so trägt die dadurch erlangte größere Spannung innerhalb geeigneter Gränzen doch jedenfalls zur größeren Sicherheit der Brucke bei, indem sie die Schwankungen und die Wirkungen der Stöße erheblich vermindert.

von Traiteur giebt in seinem Werke über die Kettenbrücken in Bezug auf die Lage der Tragketten folgende aus der Erfahrung gezogene Regel an: Er sagt nämlich, es sei in jeder Beziehung sehr vortheilhaft, die Tragketten auf eine solche Weise zu senken, daß sie beinahe den Brückenweg berühren.

Diese Anordnung, wovon die beiden Brücken zu St. Petersburg als Beispiele gelten, gestattet dem System der Ketten keine Oscillationen, vermindert bedeutend die Vibrationen und verkürzt überdies die Höhe der Pfeiler ohne den Sinus versus zu vermindern und ohne also die Spannung zu vermehren.

Endlich muß hier noch angeführt werden, daß, wenn die Befestigungspunkte der Tragketten bedeutend höher liegen, als die Fahrbahn, man auch noch Querverbände zwischen den Ketten bis zu denjenigen Gliedern anbringt, deren Enden nur noch so hoch über der Fahrbahn liegen, daß ein hochbeladener Wagen noch bequem darunter durchfahren kann. Zu dem Ende läßt man Bolzen die zwar in den zu beiden Seiten der Fahrbahn befindlichen Ketten, aber in einer wagerechten, auf die Länge der Brücke normalen Linie liegen, durch Blätter an den beiden Enden von gußeisernen Röhren oder Stangen gehen und schraubt vor die Blätter auf die Enden der Bolzen Muttern. In ähnlicher Weise wurden solche Anordnungen bei der Menaibrücke in Ausführung gebracht. Wenn hierdurch, in Verbindung mit einer gehörig festen Verstrebung der Brückenbahn auch die Schwankungen nicht ganz aufgehoben werden, so werden sie dadurch doch jedenfalls wesentlich vermindert und weniger nachtheilig.

Um die Schwankungen zu vermindern, ist ferner noch nothwendig, daß die Brückenbahn fest an den Pfeilern verspannt werde, was durch Streben und eiserne Zugbänder, welche letztere in dem Pfeilermauerwerke ihre Befestigung erhalten, sehr gut hergestellt werden kann.

Achtes Capitel.

Die Draht- und Kettenbrücken mit Hängewerk aus gewalztem Bandeisen.

---

§. 31. Allgemeines.

Die große Festigkeit, welche Eisendrähte vor Eisenstäben von größerer Dicke haben so wie die Leichtigkeit und Einfachheit der Construction, welche aus ihrer Anwendung auf Brücken, selbst gegen die Kettenbrücken hervorgehen, haben viele Ingenieure bestimmt, denselben vor den schmiedeeisernen Ketten den Vorzug einzuräumen.

Die erste Anwendung des Eisendrahtes zu Hängebrücken wurde, nachdem in Amerika einige Drahtbrücken schon mit Erfolg ausgeführt waren, in Frankreich gemacht und zwar im Jahre 1821. Einige Jahre darauf (1823) wurde von dem Genie-Obrist-Lieutnant Dufour in Genf ein Drahtsteg nach dem gewöhnlichen System der Hängebrücken, bei welchem nämlich die Fahrbahn mittelst verticaler Seile unterhalb der Haupttragpfeiler aufgehängt ist, über zwei zusammen 81,95 Meter breite Festungsgräben erbaut. Diese ersteren Brücken

dienten nur für Fußgänger; jedoch bald darauf und zwar etwa ein Jahr später wendete man den Eisendraht auch bei solchen Brücken an, die gleichzeitig für den Uebergang von Fuhrwerken bestimmt waren und fand diese erste Anwendung statt bei der über die Rhone zwischen Tournon und Tain im Jahre 1824 erbauten Brücke. Nach dieser Zeit wurde die Anwendung des Eisendrahtes häufiger.

Etwa zehn Jahre später verwendete man auch zu den Hängeketten gewalzte Eisenstreifen, wie man sie als Reifen für Fässer und Tonnen gebraucht, und wurden diese in hinreichender Anzahl auf einander gelegt, durch sogenannte Klemmbüchsen von Gußeisen zusammengehalten.

Diese beiden Gattungen von Hängebrücken, welche nur in sofern Aehnlichkeit mit einander haben, daß die Ketten aus mehreren einzelnen Strängen zusammengesetzt, in ihrer Construction aber von einander abweichend sind, sollen nun in den nächsten §§. und zwar jede Gattung für sich besonders beschrieben werden, wobei wir uns auf einzelne der hauptsächlichsten ausgeführten Brücken näher beziehen werden. Zunächst soll hier die Beschreibung der Drahtbrücken, als die ältere Gattung folgen.

§. 32. Die Herstellung der Drahttaue.

Zu den Drahttauen verwendet man Eisendrähte von Nr. 16, 17, 18 und 19, gewöhnlich aber nur die Nummern 17 und 18. Dieselben werden parallel neben einander gelegt und durch Drahtumwindungen in Entfernungen von $2^1/_2$ Fuß verbunden.

Dufour, welcher, wie schon angeführt wurde, zu Genf zwei Hängebrücken ausführte, bediente sich zur Herstellung der Drahttaue folgender Anordnung:

Auf einem hinlänglich geräumigen Platze war eine Tafel von der Länge des Drahttaues hergerichtet, an deren beiden Enden eine Art Rost oder Platte befestigt wurde, welche mit eben so vielen Löchern und zwar der nämlichen Reihe nach versehen war, als das Tau Fäden bekommen sollte. In diesen Löchern wurden die einzelnen Fäden mittelst eines kleinen Hakens gehalten, dabei jedoch Sorge getragen, daß die Löcher, durch welche die Fäden der anderen Platte zu gehen hatten, genau mit diesen correspondirten; der Faden selbst ruhte seiner ganzen Länge nach auf der bemerkten Tafel. Eine dritte bewegliche und eben so gelöcherte Platte wurde nun zwischen beiden Endplatten eingesetzt und durch die darin befindlichen Löcher die einzelnen Fäden in derselben Ordnung durchzogen, und am anderen Ende befestigt. Nachdem dies geschehen, schob man diese bewegliche Platte an eine feste äußere Platte sehr nahe an und begann mit der Umwindung aller Längenfäden in dem kleinen Raume zwischen der beweglichen und festen Endplatte; in dem Maße, als die Umwindung mit Draht fortschritt, ward auch die bewegliche Platte von der festen entfernt; auf diese Weise bis zur festen Endplatte fortgefahren wurde sowohl der Parallelismus der Längenfäden, als auch die gerade Richtung des Seiles selbst erhalten. Beide kamen hierauf in ein Gehäuse aus Schmiedeeisen, welches in

Fig. 992 im Durchschnitt dargestellt ist. Das Gehäuse besitzt selbst eine konische Form und zwei Flügel M, M, mittelst deren es auf dem Pfeiler befestigt werden kann. Der innere hohle Raum ist durch einen Kern abcd ausgefüllt, wodurch die einzelnen Fäden an die Wände des Gehäuses stark angepreßt und erhalten werden. Durch die hierdurch verursachte Reibung wird nun das Tau in dem Gehäuse unverrückbar gehalten. Um aber jede mögliche Verrückung des Kerns zu verhindern und um ein Uebermaß von Vorsicht zu beurkunden, gab man dem Kern einen kegelförmigen Ausgang bcd, welcher der Basis des einen Keil bildenden Kegels abc gerade entgegengesetzt ist. Auf ihn werden ferner die Drähte aufgelegt und dann mit einer ringförmigen Zwinge BDEF eingeschlossen und die einzelnen Fäden bei m, n vernietet.

Es ist hierbei aber nothwendig, daß man den Draht, aus welchem man Taue herstellen will, vorerst einer andauernden Spannung aussetzt, die hinreichend ist, um ihm die Wellenlinien zu nehmen, die er in Folge seiner Verpackung zu Kränzen, in denen er im Handel vorkommt, angenommen hat. Diese fortdauernde Spannung jedes einzelnen Drahtes während der Herstellung der Taue ist in Bezug auf die Festigkeit desselben von der größten Wichtigkeit, indem bei veränderter Temperatur während der Fabrikation des Taues auch jedenfalls die einzelnen Drähte eine Längenveränderung erleiden werden, dies aber zur Folge haben könnte, daß die Drähte nicht alle gleiche Spannung erlitten. Man bringt daher hinter jeder äußeren Platte eine Vorkehrung an, mittelst welcher man im Stande ist, einen solchen Zug auszuüben, der das in der Fabrication begriffene Tau immer gut gestreckt erhalte, ungeachtet seiner Verlängerung durch die von der Temperatur veranlaßte Ausdehnung. Um nun jeden Augenblick zu wissen, an welchem Punkte sich das bewegliche Spannungsgewicht befinden muß, zieht man, ehe man das Tau anfängt, einen Eisendraht von einem Ende des Taues zum anderen und hält diesen Draht mittelst eines Gewichtes, das an dem Ende eines beweglichen Drahtesbefestigt ist, der über eine bewegliche Rolle geht und durch seine Bewegung Verlängerungen oder Verkürzungen des Visirdrahtes und somit die Stellung angiebt, welche das bewegliche Hintertau einnehmen muß, in einem Zustande beständiger Spannung.

Séguin empfiehlt bei der Verfertigung des Drahtbündels jeden einzelnen Faden mit 50 Kilogramm zuspannen und die parallelen Reihen vor dem Umwinden durch Blechstreifen zu trennen, damit nicht ein Faden zwischen zwei andere dringen und sich hineinlegen kann. Nach den Versuchen von Leblanc muß man aber die Drähte zur Entfernung aller Biegungen, die sie in Folge ihrer Verpackung in Kränze annehmen und in denen sie hartnäckig beharren, ehe man sie über jedes Hintertau schlingt, woran das spätere Spannungsgewicht angehängt wird, einer Spannung von 300—500 Kilogr. unterwerfen. Diese Vorkehrung bringt nach demselben die Widerstandsfähigkeit des Taues auf 0,86 oder 0,90 der Summe der Widerstände aller Eisendrähte, einzeln genommen; anstatt daß, wenn diese vorläufige Spannung nur 50 Kilogr. beträgt, der Gesammtwiderstand nur 0,84, und wenn die Spannung nur 25 Kilogr. beträgt, nur 0,81 ist.

Da der Draht nur in einer Länge von etwa 150 Meter in den Verkauf kommt, so müssen, wenn man Taue von größerer Länge daraus macht, die Enden der zu einem Taue zu verarbeitenden Drahtstücken mit einander verbunden werden, so daß das fertige Tau wie aus einem einzigen Drahtende sei. Zu diesem Zwecke läßt man die Enden der beiden zu verbindenden Drähte in einer Länge von etwa 4 bis 5 Zoll über einander gehen und auf $^2/_3$ dieser Kuppelung bindet man sie mit einem ausgeglühten Draht von Nr. 4 zusammen, den man spiralförmig umschlingt.

Wir wollen nunmehr die Anfertigung der Drahtseile, wie solche bei der Freyburger Drahtbrücke in Anwendung gekommen, näher beschreiben *).

Der zu den Tauen verwendete Eisendraht Nr. 18 hatte 1,41 Linien im Durchmesser und wog der laufende Fuß 1,22 Loth. Dieser Draht trug einen Zug von 1302 ℔, ehe er zerriß. Zu den Bindungen wurden die Drähte Nr. 14 und 4 verwendet. Zu den hinuntergehenden Tragseilen wurde der Draht Nr. 17 benutzt.

Die Drähte Nr. 18 und 17, in Massen von gleicher Länge und 17 bis 19 ℔ schwer, wurden zuerst aufs sorgfältigste untersucht und nachdem sie in allen Theilen fehlerfrei befunden, wurden sie zu drei verschiedenen Malen und jedes Mal zwei Stunden lang in einen Kessel voll siedenden Leinöls gebracht, welchem man etwas weniges Bleiglätte und Ruß zugesetzt hatte. Nach dem Herausnehmen aus dem Kessel wurden die Drahtringe jedesmal unter Schuppen ausgespannt und, bis sie vollkommen getrocknet waren, oft gewendet.

Nachdem diese Drahtbündel auf die angegebene Weise gefirnißt und wieder getrocknet waren, wurden sie auf Trommeln von 15 Zoll Durchmesser sehr vorsichtig aufgewickelt und die Enden des Drahts zugleich zusammengeknüpft, indem man sie 4 Zoll lang kreuzte und auf wenigstens 2 Zoll 8 Linien lang, spiralförmig mit ausgeglühtem Draht Nr. 4 umwand.

Nachdem die Drähte so verarbeitet waren, schritt man zur Verfertigung der Drahtseile. Da aber die Bahn, auf welcher die Strähne der Hängeseile gesponnen wurden, für die 1192 Fuß langen Seile in gerader Linie nicht lang genug war, so mußten die Seile wiederkehrend gespannt werden. Jedes der vier Hängeseile besteht aus 20 Strähnen und zwar aus 12 von 56 und aus 8 von 48 Drähten.

Das Gerüst, welches hierbei diente, war in folgender Art: Ein Stück Eichenholz b Fig. 1003 von $11^1/_2$ Zoll im Quadrat, gestützt auf einen Bock und gehalten durch eine dem Zuge entgegengesetzte starke Strebe wurde aufrecht und 4 Fuß 9 Zoll tief in den Boden gestellt und durch Mauerwerk befestigt. Auf den oberen Kopf des Holzes 3 Fuß 2 Zoll hoch über dem Erdboden, wurde an der hinteren Seite ein im Querschnitt halb kreisförmiges Stück von 15 Zoll im Durchmesser angefuttert und dasselbe mit Blech bekleidet. Diesem Gerüste gegenüber und 592 Fuß davon entfernt, wurden zwei andere Pfähle a und c, 3 Fuß 2 Zoll von einander abstehend, gesetzt. Die Köpfe derselben wurden hinter jedem mit einem Pflocke verstärkt, welcher 2 Zoll überragte und

*) Journal für die Baukunst von Crelle. Bd. 10.

genau in den Bügel am Ende der Strähne paßte. Auf die Länge von 582 Fuß waren, alle 32 Fuß, genau horizontal, 3 Fuß 2 Zoll lange Querstücke gesetzt, um die Strähne zu tragen.

Nachdem so Alles vorbereitet war, brachte man die auf die Pflöcke passenden Bügel, welche zu den Umdrehungen der Drähte bestimmt waren, an ihre Stelle. So war also das Ende des Drahtes an dem einen der Pflöcke z. B. an a befestigt und ging durch die Rinne der Bügel. Nun setzte man einen Wagen in Bewegung, der eine mit Draht bewickelte Trommel trug. Am anderen Ende der Bahn angelangt, bog man den so weit abgesponnenen Draht um den halbkreisförmigen Kopf des Pfahles b und nachdem man dem Drahte vermittelst einer Vorrichtung, eine Spannung von 213 ℔ gegeben hatte, führte man den Wagen nach dem Punkte, von welchem er ausgegangen war, zurück. Dort wurde der Draht auf gleiche Weise durch die Rinne des anderen Bügels gezogen und nachdem man ihm eine der vorigen möglichst gleiche Spannung gegeben hatte, setzte man das Verfahren auf gleiche Weise weiter und für die ganzen übrigen Strähne fort. Zuletzt vereinigte man am Ende der Strähne, das Ende des letzten Drahtes mit dem ersten Anfange desselben, der einstweilen an den Pfahl a befestigt worden war.

Um dem Drahte, ehe man ihn an den Pfahl b, oder um die Bügel legte, die beabsichtigte Spannung zu geben, brachte man die Zange, welche zum Anziehen des Drahtes diente, an ein Seil, welches sich um einen beweglichen Cylinder legte und ein an seinem Ende aufgehängtes Gewicht von 213 ℔ trug, so daß die verschiedenen, die Strähne bildenden Drähte, sehr nahe eine gleiche Spannung erhielten. Hierauf band man die Strähne mit ausgeglühtem Drahte Nr. 14 an beiden Seiten des Bügels fest und umwand die beiden Strähne, 15 Zoll lang, spiralförmig. Eben so machte man, etwa alle 3 Fuß 2 Zoll auf die ganze Länge der Strähne, vorläufige Bänder, die hernach beim Aufziehen des Seils wieder weggenommen wurden. Die so gebundenen Strähne wurden nochmals mit einer Lage des Leinöls, durch welches die Drähte schon dreimal heiß gezogen worden waren, überzogen und dann zum Trocknen hingelegt.

Zur Herstellung der Ankerseile wurde ein 80 Fuß langes, 26¾ Zoll breites Gestell benutzt, nach dessen Länge horizontale Hölzer von 11½ Zoll im Gevierte liefen, welche alle 9½ Fuß durch Querstücke, von gleich starken Hölzern aus einander gehalten wurden und auf dieselben durch eiserne Bügel stark befestigt waren. Die beiden Längstücke waren rechtwinkelig gegen eichene Stiele von gleicher Stärke gestemmt. Diese beiden Stiele, im Mauerwerk befestigt, ragten 11½ Zoll über die Längstücke hervor. Der Kopf jedes Stieles war mit einem Loch von 2 Zoll 3½ Linien im Durchmesser, durchbohrt, welches dicht auf die Oberfläche der Längstücke hinstreift. Dieses Loch war mit einer eisernen Platte von 9 Linien Dicke, 1 Fuß 11 Zoll Länge und ½ Zoll Breite bekleidet, durch welche eine eiserne Stange a Fig. 1004,1005,1006 von 2 Zoll 3½ Linien Dicke und 2 Fuß 6½ Zoll Länge, ging. Auf die halbe Länge der Stange war eine Schraubenspindel angeschnitten, und am anderen Ende war ein viereckiger Kopf, um den Bügel des Seiles zu fassen.

Ein kleiner Krahn b diente, das Gewicht herbeizuziehen, welches man jedem Faden bei seiner Biegung um den Bügel zu tragen geben wollte.

Um ein Seil anzufangen, befestigte man gegen das Längstück das Ende des auf die Trommel aufgerollten eisernen Drahtes, zog den Draht durch die Rinne des Bügels, führte es nach dem anderen Ende der Werkstatt, legte es dort gegen die Rinne des anderen Bügels und faßte es, etwa 19 Zoll davon entfernt, vermittelst einer an ein Seil befestigten Zange. Dieses Seil wurde über die Rolle des horizontalen Krahn-Armes gelegt, und trug an seinem Ende ein 213 ℔ schweres Gewicht, durch welches die Spannung des Drahtes bewirkt wurde. Vermittelst der Stellschrauben wurde die richtige Länge des Seils und die Spannung seiner Fäden, sobald diese durch irgend eine äußere Einwirkung eine Veränderung erlitten hatten, wieder hergestellt. Nachdem alle Drähte an ihrer Stelle waren, wurde das letzte Drahtende an das erste, anfänglich an den Gestellbalken befestigte Ende festgeknüpft. In diesem Zustande wurde das Seil mit einer reichlichen Lage zubereiteten Oels überzogen.

Hierauf wurde das Seil an den Enden der Bügel mit ausgeglühtem Draht Nr. 14 stark gebunden. Zu dem Ende hatten die Bügel Einschnitte oder Rinnen. Die Bindungen wurden bis auf 27 Zoll fortgesetzt und endlich wurden die Drähte des Seils auf die ganze Länge der Höhlung der Ankerbrunnen, mittelst einer spiralförmigen Umwickelung in ein Bündel vereinigt. Für den übrigen Theil des Seils begnügte man sich, alle 23 Zoll eine $7\frac{3}{4}$ Zoll lange Bindung zu machen. Um diese Bindung schärfer anziehen zu können und das Seil runder zu bekommen, setzte man, so wie die Bindungen gemacht werden sollten, eine hölzerne kreisförmig ausgehöhlte Klemme an, deren beide Theile zusammengeschraubt werden konnten.

Als das Ankerseil vollendet war, wurden, ehe dasselbe vom Gestell genommen wurde, an dasselbe seiner ganzen Länge nach vier Latten von $\frac{3}{4}$ Zoll dick und 2 Zoll breit, ohne Aeste gelegt und dieselben alle 8 bis 11 Zoll stark mit ausgeglühtem Drahte daran festgebunden, wodurch man erlangte, daß das Seil sich nicht in sich selbst drehen konnte und ferner, daß es beim Einbringen in die Ankerbrunnen gegen das Abreiben völlig geschützt war.

Die Herstellung der hinuntergehenden Tragseile war ähnlich, nur daß man dieselben aus 30 Drähten Nr. 17 bestehen ließ. An beiden Enden waren ebenfalls schmiedeeiserne Bügel mit Rinnen. Man vereinigte die 30 Drähte das Seil abrundend, durch Fortsetzung der spiralförmigen Umwickelung auf die ganze Länge. Die Umwickelungen waren etwa $13\frac{3}{4}$ Linien von einander entfernt.

Aus diesem geht nun die Fabrikation der Drahtseile zur Genüge hervor.

Im Obigen wurde mehrfach angeführt, daß die Drähte in gewissen Entfernungen nur durch ausgeglühten Draht umwickelt wären; allein es ist augenscheinlich, daß bei solchem Verbandsysteme nothwendig der Uebelstand eintreten muß, daß das Wasser in Folge der nicht überall bedeckten Oberfläche des Drahtseils in das Innere desselben eindringt, ohne daß ein Rosten an der Oberfläche dieses bemerklich machen kann. Zu dem Ende schlug schon Vicat vor, die Taue mittelst Röhren, welche aus dünnen Metallplatten bestehen, und

beim Umlegen überplattet werden, einzuhüllen. Allein durch eine ungleichförmige Ausdehnung und durch die beim Uebergehen über die Brücke entstehenden Oscillationen würden solche Ueberzüge auch sehr bald beschädigt werden und somit der beabsichtigte Zweck wohl nur anfänglich und auf kürzere Dauer erreicht werden. Weit zweckmäßiger, wenngleich kostspieliger, würde es sein, das Tau seiner ganzen Länge nach mit einer verbindenden Windung aus geglühtem Eisendrahte zu überziehen. Eine solche Umwindung, sorgfältig hergestellt, würde dem Eindringen des Wassers in das Innere des Drahttaues am wirksamsten vorbeugen. Der schützende Ueberzug, den ein jeder einzelne Draht vor seiner Verwendung erhält, schützt jedenfalls eine geraume Zeit gegen Oxidation; allein durch die Einwirkung der Temperatur und in Folge dessen verschiedene Ausdehnung und Zusammenziehung, so wie durch die Oscillationen und Schwankungen der Brücke, welche auch auf die Tragseile sich fortpflanzen, entstehen im Innern so wie auch im Aeußern derselben Reibungen, wenn auch nur sehr schwache, die auf die Länge der Zeit den Ueberzug beseitigen und somit die Eisenfläche blos legen. Desgleichen müssen auch in Folge dieser Einwirkungen an der Oberfläche feine Risse und Sprünge in dem Ueberzug entstehen, welche ein Eindringen der Feuchtigkeit ins Innere zulassen. Dieses wird jedenfalls in einem weit höheren Grade vermieden, wenn das ganze Seil von einem Ende bis zum andern dicht mit Draht umwunden ist. Eine solche Umwindung leidet, weil sie zur Spannung nichts beiträgt und auch von derselben wenig oder nichts erleidet, also in weit geringerem Grade.

§. 33. Einige Beispiele ausgeführter Drahtbrücken.

Die in den Figuren 994—1002 dargestellte Drahtbrücke zu Freyburg in der Schweiz ist von dem französischen Ingenieur Challey erbaut und wurde am 30. Mai 1832 der Grundstein zu dem ersten Porticus gelegt.

Die Hängebrücke ist mit Drahtseilen und mit einer einzigen Spannung erbaut. Die an beiden Enden der Brücke stehenden Tragpfeiler haben eine Höhe von 63 Fuß 9 Zoll und beträgt die Entfernung zwischen ihren Sockeln 846 Fuß 9 Zoll. An jeder Seite der Brückenbahn sind zwei Hängeseile, deren Sehne 855 Fuß und deren Sinus versus 61 Fuß 5 Zoll beträgt. Die Anker- oder Spannseile gehen in geneigter Richtung dem Boden zu und versenken sich in denselben zunächst in der gleichen geneigten Richtung, die sie von der Höhe des Porticus an haben, bis auf den Felsen. Dort biegen sie sich von Neuem und gehen in den Felsen, in Brunnen 44 Fuß 7 Zoll tief hinab, wo sie durch Mauerwerk und in der Tiefe der Brunnen noch durch eiserne Anker festgehalten werden. Die oberen Oeffnungen der senkrechten Brunnen liegen, in der Hauptlinie der Brückenbahn, 169 Fuß hinter den Tragpfeilern und die Entfernung der Brunnen zu beiden Seiten der Brücke von ein ander beträgt 1221 Fuß. Auf beiden Seiten sind vor den Tragpfeilern noch Terassen angeordnet, welche zugleich zu Stützpunkten der eigentlichen Brückenbahn dienen, und be-

trägt die Entfernung derselben von einander, quer über das Thal, oder die Länge der eigentlichen, freihängenden Brückenbahn 784 Fuß 8 Zoll.

Die Tragpfeiler sind jeder 44 Fuß 7 Zoll lang, 18 Fuß 8 Zoll dick. Die oberste Schicht derselben, welche unmittelbar die Reibungsrollen für die Drahtseile zu tragen hat, besteht aus drei vollen Blöcken von Jurakalkstein, wovon jeder 3 Fuß 10 Zoll breit, 2 Fuß 8½ Zoll hoch und 3 Fuß 10 Zoll bis 6 Fuß 4 Zoll lang ist.

Damit das Mauerwerk eines Tragpfeilers möglichst nur eine Masse bilde, hat jede Schicht noch starke horizontal liegende Verankerungen von rundem 1 Zoll 11 Linien im Durchmesser haltenden Eisen bekommen. Diese Anker sind ihrer Länge nach aus zwei oder mehreren Stangen zusammengesetzt und zwar sind sie ohne alles Schweißen, vermittelst Verzahnungen verbunden, um welche starke Bänder gelegt sind.

Mit großer Vorsicht wurden die in den Felsen versenkten Ankerbrunnen mit umgekehrten Gewölben ausgemauert. Diese Gewölbe fanden ihre Widerlager gegen die Felsenwandung (s. Fig. 1000). An der Mündung der Brunnen wurde der Felsen schräg abgearbeitet, um Granitblöcken von 7 Fuß 5 Zoll lang, 3 Fuß 2 Zoll breit und 2 Fuß 6½ Zoll hoch ein Auflager zu gewähren. Die Seite dieser Blöcke nach dem Brunnen zu trägt vier, etwas gekrümmte gußeiserne Tafeln, auf welchen vier gußeiserne Reibungsrollen (s. Fig. 1002 A und B) eine neben der anderen ruhen. Diese Rollen haben 15¼ Zoll im Durchmesser, sind 15¼ Zoll lang und 7¾ Zoll von einander entfernt. Ihre Wände sind 1 Zoll 2 Linien dick und werden innerhalb durch unten rechtwinkelig gegen einander stehende Scheidungen, die eine 9, die andere 18 Linien dick, unterstützt. Die stärkere dieser Wände liegt in der mittleren Richtung der auf den Unterstützungspunkt wirkenden Züge. Diese Rollen geben der Beweglichkeit des Seilzugs nach, wenn das Seil sich verlängert oder verkürzt.

Die gußeisernen Tafeln sind in den Granit eingelassen und ruhen auf bleiernen Tafeln. Die Neigung der Fläche des Granitblocks, welcher die Rollen trägt, ist auf die mittlere Richtung der Zugkraft und des Widerstandes senkrecht.

Die obere Schicht der Tragpfeiler, besteht, wie schon erwähnt, aus drei Blöcken von Jurakalkstein; auf diese sind senkrecht auf die Richtung der mittleren Kraft der Züge, gußeiserne, ein wenig gekrümmte Tafeln eingelassen, von 1½ Zoll Dicke und 15 Zoll Breite und so lang, wie die Reibungsrollen, welche sie tragen sollen. Diese Rollen (Fig. 996), deren auf jedem Porticus zwölf liegen, sind von Gußeisen, 2 Fuß 6½ Zoll lang, 1 Fuß 11 Zoll im Durchmesser. Sie sind hohl und auf dieselbe Weise angeordnet, wie die Reibungsrollen an den Brunnenmündungen; sie ruhen wie diese frei auf den gußeisernen Unterlagen. Die mittlere Rollenreihe liegt 7⅔ Zoll höher als die beiden anderen und 6 Fuß 8 Zoll von der hinteren Seite des Tragpfeilers entfernt.

Die vier Hängeseile, welche die Brückenbahn tragen, an jeder Seite zwei, bestehen jedes aus 1056 Drähten, also alle vier zusammen aus 4224 Drähten. Der Durchmesser jedes Drahtes ist, wie schon im vorigen §. bemerkt, 1,41 Li-

nien. Die Seile sind fast cylindrisch und haben 5 bis $5\frac{1}{3}$ Zoll im Durchmesser. Sie haben alle dieselbe Senkung und dieselbe Sehne. Die beiden Seile an der nämlichen Seite sind nur $1\frac{1}{2}$ Zoll von einander entfernt, nämlich um die Dicke der Sättel der senkrechten Hänge-Strähne. Jedes Seil ist im Ganzen 1192 Fuß lang. In allen Punkten, in welchen die Seile die senkrechten Hänge-Strähne tragen, und je mitten zwischen zwei Hänge-Strähnen sind die Hängeseile mit ausgeglühtem Draht Nr. 14, auf 6 Zoll lang, gebunden. Auch da, wo die Brückenbahn zu Ende ist, und auf beiden Seiten der Tragpfeiler, sind die Hängeseile auf gleiche Weise gebunden, daß nämlich diese Umwindungen nur immer 23 Zoll von einander entfernt sind. Nach den Tragpfeilern hin lösen sich die Drahtseile allmälig auf und verwandeln sich in glatte Streifen von dünnen, parallelen Strähnen, welche sich dann auf die jedesmal zugehörigen drei Reibungsrollen auflegen.

Nachdem sie sich über die drei beweglichen Rollen, welche sie ganz bedekken hingebogen haben, vereinigen sich die Strähne hinter dem Tragpfeiler wieder in zwei Seile, die beim Eintritt in die schrägen Schachte jedes in zwei Theile sich theilen. Jeder solche Theil besteht aus zehn Strähnen.

Nahe am Boden verbinden sich die vier Zugseile mit den vier Ankerseilen. Die Verbindung mit den Ankerseilen geschieht nach Fig. 997 vermittelst drei Schlüsseln von geschmiedetem Eisen, die zusammen eine Masse von $12\frac{1}{4}$ Zoll hoch und 3 Zoll $\frac{3}{4}$ Linien dick bilden. Ueber die drei Schlüssel legt sich der obere Bügel der Ankerseile. Sie gehen außerdem mit jedem Ende durch die fünf Bügel der auf jedes Ankerseil treffenden zehn Strähne der Hängeseile. Die Schlüssel lehnen sich noch gegen zwei gußeiserne Fällstücke, deren halbcylindrische Form genau in die Bügel an den Enden der Seile paßt. Diese gußeisernen Stücke haben an ihren Enden Knaggen, um das Abgleiten der Bügel zu verhindern.

Die Ankerseile, acht an der Zahl für jedes Ende der Brücke, nämlich vier für jeden Ankerbrunnen, sind jedes aus 528 Drähten zusammengesetzt. Die Seile sind cylindrisch haben 3 Zoll 9,8 Linien im Durchmesser und sind 80 Fuß lang. Alle in das Ankermauerwerk hinabgehenden Seile sind mit einer stetigen scharf angezogenen Spirale von Draht Nr. 14 umwunden. Außerhalb des Mauerwerks sind sie nur, gleich den Hängeseilen, alle 33 Zoll gebunden. Die Ankerseile gehen, ohne ihre Richtung zu ändern, in die schrägen Schachte hinab. An den Mündungen der Ankerbrunnen biegen sie sich, breiten sich auf den Frictionsrollen aus und steigen dann senkrecht in die Brunnen hinab und zwar in den dazu in dem Mauerwerk freigelassenen Röhren. Am Boden des Brunnens wird, vermittelst eines durch den Bügel gehenden Ankers, das ganze Hängesystem an den unteren Block des Ankermauerwerks angehängt.

Diese untere Verankerung (s. Fig. 998 und 999) besteht erstlich aus einem geschmiedeten Stück Eisen von 6 Fuß $4\frac{1}{2}$ Zoll lang, 1 Zoll $6\frac{1}{2}$ Linien dick, und 3 Zoll breit, welches sich unmittelbar an die untere Fläche des Steinblocks anlegt; zweitens aus einem geschmiedeten eisernen Splint, von 3 Zoll breit und 15 Zoll lang; drittens aus einem Anker von gegossenem Eisen, 3 Zoll dick

und $7^2/_3$ Zoll hoch, unten halbcylindrisch, um genau den Bügel unterhalb des Seils zu umfassen. Der Querschnitt dieses Ankers enthält 37,4 Quadratzoll.

Die hinuntergehenden Tragseile sind aus 30 Drähten Nr. 17 zusammengesetzt und haben dieselben 11,4 Linien im Durchmesser. Ihre Länge ist, nach ihren verschiedenen Stellen, verschieden und zwar sind die längsten 53 Fuß lang, die kürzesten 7 Zoll, so daß senkrecht auf die letzteren, die krummen Hängeseile beinahe die Haken der Bügel berühren, welche die Balken der Brückenbahn tragen. Diese Tragseile sind 4 Fuß $9^1/_3$ Zoll von einander entfernt, und ihre Zahl ist an jeder Seite der Brücke 163. Da die Stützpunkte der Hängeseile auf den Tragpfeilern 31,2 Fuß und dagegen die Bügel, in welche die Tragseile an der Brückenbahn eingreifen nur 22,9 Fuß, nach der Breite der Brücke gemessen, von einander entfernt sind, so folgt, daß die Flächen, in welchen die hinunter gehenden Tragseile an den beiden Seiten der Brücke liegen, keine ebenen und auch nicht vertical, sondern krumm sind und überall von dem Lothe abweichen.

Jedes Tragseil hat an beiden Enden ringförmige Bügel, die durch zwei gußeiserne Sättel gebildet sind, auf welche sich die Drähte legen, aus denen die Seile zusammengesetzt sind. Der untere Bügel greift in einen Haken und trägt vermittelst desselben den Bügel, welcher das Ende des darauf zutreffenden Querbalkens der Brückenbahn umfaßt. Der obere Bügel stützt sich auf die Mitte des Sattels von geschmiedetem Eisen (s. Fig. 1001), dessen beide Schenkel, in der Gestalt von Halbmonden, die beiden Hängeseile an jeder Seite der Brücke zugleich umfassen.

Die Brückenbahn hat zwischen den Geländern eine Breite von 20 Fuß 7 Zoll, wovon 2 Fuß $9^1/_2$ Zoll auf jeden Fußpfad kommen, und demnach 15 Fuß für die Fahrbahn bleiben. Dieselbe ruht auf einer Reihe von Querbalken, die an die Tragseile angehängt sind und in der Mitte ihrer Länge 14 Zoll 2 Linien und an den Enden 11 Zoll 10 Linien hoch sind. Auf diesen Querbalken ruhen 4 Reihen Längbalken von einem Ende der Brücke bis zum andern, welche die Fußwege tragen. Die inneren Längbalken sind $10^1/_3$ Zoll hoch und 8 Zoll 5 Linien breit; sie sind auf die Querbalken durch 9 Linien dicke Bügel von geschmiedetem Eisen befestigt. Diese Bügel umfassen die Querbalken und gehen ihre Schenkel, an deren Enden Schraubenspindeln angeschnitten sind, durch die Längbalken, oberhalb welcher sie mit Muttern fest angeschraubt werden. Die äußeren Längenbalken sind $11^1/_2$ Zoll hoch und $9^1/_6$ Zoll breit. Auf diese letzteren sind die Geländer befestigt; sie bestehen aus einer Reihe von Kreuzen, aus 3 Zoll 5 Linien im Quadrat starken Eichenholze, und einem Holme aus $6^1/_2$ Zoll im Quadrat dicken Hölzern, welche doppelt über einander lagen. Die Stöße der Geländerholme, so wie die der Längenbalken sind zusammengebolzt, treffen aber an beiden Seiten der Brücke nirgends einander gegenüber.

Die Fahrbahn ist aus einer doppelten Lage Bohlen gebildet, wovon die untere nach der Länge der Brücke aus $3^1/_2$ Zoll dicken Bohlen, dagegen die obere nach der Quere der Brücke aus 1 Zoll 11 Linien dicken Bohlen be-

steht. Die Fußwege, welche nahe 7 Zoll höher liegen, als die anstoßende Fahrbahn, sind mit 1 Zoll 11 Linien dicken Bohlen belegt.

Der vierte Theil der Querbalken tritt an jeder Seite der Brückenbahn um $4\frac{1}{2}$ Fuß über; auf diese übertretenden Enden der Querbalken sind eiserne, $13\frac{3}{4}$ Linien dicke Streben gesetzt und an die Querbalken, so wie an die Geländerholme angebolzt, theils um die Geländer zu halten, theils um die Festigkeit der Brückenbahn zu vermehren und die horizontalen Schwankungen derselben nach der Seite mehr zu hindern. Diese Anordnungen sind aus Fig. 1002 ersichtlich.

Durch diese Anordnung wird aber der beabsichtigte Zweck sehr wenig erreicht, denn die Geländerstreben tragen wohl zur Haltbarkeit des Geländers selbst bei, sie verhindern aber durchaus nicht, daß Seitenschwankungen der Brückenbahn entstehen. Wirksam würde diesem Uebelstande abgeholfen werden, wenn bei dieser Anordnung, nämlich dem abwechselnden Heraustreten der Querbalken, diese durch horizontale Kreuzverbindungen mit einander verbunden wären.

Beim Aufbringen der Hängeseile wurde folgendes Verfahren angewendet. Dieselben bestanden, wie im vorigen §. angeführt, jedes aus 20 Strähnen. Diese Strähne wurden vermittelst Winden einzeln aufgeholt und neben einander auf die Tragpfeiler gebracht, Nachdem die zu den Hängeseilen gehörigen Strähne sämmtlich aufgebracht waren, wurden sie zusammengelegt und die früheren Bindungen nach und nach gelöst und zwar zunächst von den Ankerseilen an bis dahin, wo die Sättel der hinuntergehenden Tragseile anfangen, und späterhin, so wie allmälig die hinuntergehenden Tragseile angebracht wurden, überall, auf die ganze Länge der Hängeseile. Darauf wurden die sämmtlichen Drähte in zwei Theile getheilt, gleich den Ankerseilen in eine cylindrische Form vereinigt und vermittelst einer zusammenzuschraubenden Zwinge abgerundet und in dieser Gestalt dann durch 6 Zoll lange Umwickelungen, aus ausgeglühtem Drahte Nr. 14 erhalten. Der Durchmesser der rundeu Hängeseile betrug nun 5 bis $5\frac{1}{8}$ Zoll.

Nachdem die Brückenbahn aufgestellt war, wurden die Seile noch mit einer letzten Lage präparirten Oeles überzogen und zum Schluß, als alle Bindungen hergestellt waren, wurde das sämmtliche Eisenwerk noch mit weißer Oelfarbe angestrichen. Es wurde dieser weiße Anstrich deshalb gewählt, um desto leichter jede Spur eintretender Oxydation zu erkennen.

Nachdem die Brücke vollendet und ehe sie dem Verkehr ganz übergeben wurde, stellte man eine Prüfung derselben an, indem man auf einmal 12 Geschützstücke mit 50 Pferden bespannt, nebst etwa 300 Menschen die Brücke passiren ließ. Man belud nach und nach alle Theile der Brückenbahn mit so viel Artillerie und Menschen, als darauf nur Raum fanden. Die Hin- und Herbewegung dauerte länger als eine Stunde. Nach dieser Prüfung, während welcher keine merkliche Schwankung sichtbar war, obgleich sich die Brückenbahn an dem Punkte, wo sie gerade am schwersten beladen war, zuweilen über 3 Fuß tief senkte, untersuchte man aufmerksam alle verschiedenen Theile des Bauwerkes es fand sich aber an keinem Theile die geringste Veränderung. Bei Gelegen-

heit der Einweihung der Brücke, wo sich etwa 2000 Menschen zugleich auf der Brücke befanden und diese in Procession, Schritt haltend, zweimal hinüber marschirten, schwankte die Brücke allmälig bis 15 Zoll an der Seite.

Es ist nicht zu verkennen, daß diese Brücke mit großer Umsicht und technischer Einsicht angeordnet und ausgeführt ist. Nichts desto weniger lassen sich aber sehr wichtige Gründe gegen den Bau der Drahtbrücken anführen. Wir haben bereits oben angeführt, daß die aus vielen dünnen Eisendrähten bestehenden Drahtseile sehr schwierig vor dem Einflusse der Luft und Nässe, also vor Oxydation zu sichern sind. Ferner aber lassen sich auch die Tragseile bei Drahtbrücken an dem stetig fortlaufenden Hängeseile nicht so sicher befestigen, daß bei heftigen Stürmen nicht eine Verschiebung derselben stattfinden könnte. Eben so tritt auch der Umstand hervor, daß es sehr schwierig ist, alle einzelnen Drähte, aus denen ein Hänge- oder Tragseil besteht, so gleichmäßig zu spannen, daß jeder derselben eine gleiche Tragkraft ausübt. Endlich sind noch die sehr bedeutenden Schwingungen zn berücksichtigen, denen diese Drahtbrücken durch Winde ausgesetzt sind. Aus Obigem ersehen wir, daß bei der Prüfung beim Uebermarschiren von 2000 Menschen sich schon Seitenschwingungen bis zu 15 Zoll eingestellt hatten. Bei starken Winden und bei der großen Länge dieser Brückenbahn würden sich dieselben jedenfalls noch weit stärker einstellen.

Bei der Prüfung einer im Jahre 1829 von Séguin-Montgolfier über die Rhone bei Beaucaire und Tarascone erbauten Drahtbrücke, welche vier Oeffnungen und drei Pfeiler hat, wovon die beiden mittleren Oeffnungen eine Weite von etwa 119 Meter haben, und jede der beiden anderen etwa 92 Meter, und deren Breite zwischen den Geländern 6,4 Meter beträgt, fand sich, daß die Schwankungen bei heftigen Winden so stark waren, daß Menschen sich darauf nicht aufrecht erhalten, sondern nur auf Händen und Füßen gehen konnten. Bei der oben beschriebenen Freyburger Brücke werden sich bei der großen Länge der Brückenbahn solche Schwankungen bei heftigen Winden in ähnlicher Art einfinden, trotzdem die Hängeseile nicht in der verticalen Ebene der Brückenbahn hängen.

Die Drahtbrücken sind nun zwar jedenfalls weniger kostspielig als die Kettenbrücken, dessen ungeachtet verdienen diese letzteren doch immer den Vorzug, indem sie für längere Zeit eine größere Sicherheit gewähren, als die Drahtbrücken.

Ein anderes sehr interessantes Beispiel ist die in den Figuren 967—971 in einzelnen Theilen dargestellte Hängebrücke von Cubzac über die Dordogne.

Die Brücke von Cubzac ist oberhalb des Städtchens dieses Namens über die Dordogne erbaut und nimmt mit ihren Zugängen eine Länge von 1545 Meter, (4921,876 Fuß) ein, wovon die Brückenweite zwischen den Achsen der die Hängeseile tragenden Obelisken 545 Meter (1736,37 Fuß) beträgt, welche letztere Weite in fünf gleich große Zwischenräume vertheilt ist. Diese Obelisken sind mit dem jedesmal zunächst liegenden Ufer durch gemauerte Viaducte verbunden, die sich auf der einen Seite an den zugehörigen Obelisken und auf der anderen Seite an die aufgeschütteten Erddämme anschließen. Die bei-

den gemauerten Viaducte haben jeder eine Länge von 205 Meter, dagegen die Erddämme, woran sie sich anschließen, jeder eine Länge von 300 Meter.

Nicht allein um an Kosten zu sparen, sondern auch um den Grund nicht zu sehr zu belasten und überhaupt die bei dem schlechten Baugrunde entstehenden Schwierigkeiten des Grundbaues nicht noch zu vermehren, bestimmte man sich dafür, die Zwischenpfeiler und die eigentlichen übrigen Tragpfeiler nur bis zu einer bestimmten Höhe von Mauerwerk aufzuführen, dagegen den noch übrigen Theil derselben von Gußeisen. Hätte man nur steinerne Pfeiler angenommen, so würde das Totalgewicht eines solchen mindestens 120000 Centner betragen haben; mit Pfeilern von Gußeisen aber, die nur ein Gewicht von 4000 Centnern haben, konnte das Gewicht dieser Pfeiler auf 42000 Centner reducirt und folglich auch die Anzahl der erforderlichen Grundpfähle bedeutend vermindert werden; denn statt der 480 Grundpfähle, welche bei steinernen Pfeilern erforderlich gewesen wären, brauchte man jetzt zu jedem Pfeiler nur 159 Stück.

Jeder der vier Zwischenpfeiler wird nun von einem steinernen 4,9 Meter breiten, und 13 Meter über dem niedrigsten Wasserstand hohen Unterbau gebildet, der zwei 7,5 Meter von Achse zu Achse entfernte gußeiserne, unter der Brückenbahn durch einen doppelten Bogen verbundene Säulen trägt, welche von der Basis bis zur Spitze der die Hängeseile tragenden Kloben eine Höhe von 28 Meter haben, so daß die Totalhöhe eines Brückenpfeilers 41 Meter über dem niedrigsten Wasserstand beträgt. Jeder gußeiserne Pfeiler besteht aus zwei über einander gesetzten, in der Höhe der Brückenbahn durch einen aus einem Stück bestehenden Ring verbundenen, sich verjüngenden Säulenstämmen (s. Fig. 968).

Der Stamm des unteren Kegels besteht aus zehn Schichten und ruht auf einer mit der Mauer fest verbundenen Basis. Der obere Theil dagegen besteht aus 7 Schichten, deren erste und letzte von den anderen in der Form und in den Dimensionen abweichen. Der Verbindungsring besteht aus einem einzigen Stücke. Der Pfeiler schließt mit einer Kuppel, die oben abgeflacht ist und einen Aufsatz trägt, auf dem der Kloben ruht, welcher die Hängetaue unterstützt (s. Fig. 970).

Im Mittelpunkte eines jeden Pfeilers erhebt sich eine Stütze, die mit dem Mantel des Pfeilers durch Riegel von Gußeisen und Andreaskreuze von Eisen verbunden ist. Diese Stütze besteht aus einer Basis und acht auf einander stehenden Pfosten; sie endigt oben in einem Deckel, dessen Rippen mit denen des oberen Aufsatzes der Kuppel correspondiren. Diese Stütze steht, wie schon erwähnt, mit dem Mantel durch gußeiserne Riegel und schmiedeeiserne Zugbänder in Form von Andreaskreuzen in Verbindung und in solchem festen Zusammenhang, daß der Pfeiler als aus einem Stücke bestehend zu betrachten ist (s. Fig. 971).

Jede der einzelnen Schichten des Pfeilermantels besteht aus 10 Stücken, deren Wandstärken zwischen 0,027 und 0,05 Meter varriren und die im Innern mit vorstehenden Rändern versehen sind, mittelst welcher sie zusammen verbolzt werden. Die Verbindung der gußeisernen Querriegel mit der Stütze geschieht durch Futter, die in einem Ring bei den Fugen der einzelnen Stücke dieser

Stütze angebracht sind, und welcher Ring gleichzeitig zur festen Vereinigung dieser letzteren dient. Diese Stütze bildet jedenfalls einen höchst wichtigen und wirksamen Theil zur Verbindung des ganzen Pfeilers und empfängt gleichzeitig einen großen Theil der Last, welche, wenn jene fehlte, nur einzig auf den Mantel des Pfeilers drücken würde. Zwischen je zwei Schichten ist jedesmal ein Ring gelegt, welcher nach außen vorspringt und hier sowohl ober- als nnterhalb einen vorstehenden Rand hat, mit welchem er die 10 Mantelstücken an ihren Enden befaßt. Nach geschehener Aufstellung des Mantels und der inneren Stütze wurde die Kuppel und demnächst der Kloben aufgesetzt, welcher der Stützpunkt der Hängeseile ist und nach Belieben von dem Pfeilermantel oder der inneren Stütze oder auch von beiden zugleich getragen werden kann. Um den größten Theil der Last auf die Stütze zu übertragen, machte man zuerst eine starke Verkeilung zwischen dem Kloben und der Stütze und stellte in diesem Zustande die Tragversuche an, in Folge deren erst die gußeiserne Verbindung zwischen dem Kloben und der Kuppel hergestellt wurde, so daß das Gewicht, die Erschütterungen und Schwingungen, welchen der Kloben unter der Last der Brücke ausgesetzt ist, so gleichförmig als möglich auf die innere Stütze und den Mantel des Pfeilers vertheilt ist.

Die Pfeiler haben zwei verschiedenen Kräften Widerstand zu leisten, deren eine vertical wirkt und für jede Spannung zwischen zwei Pfeilern aus einem beständigen Gewichte, welches gleich 4500 Centnern ist,
ferner aus der zur Prüfung angewendeten Belastung von 3000 "
also zusammen aus 7500 Centnern
besteht, wovon die Hälfte, d. h. 3750 Centner das höchste Gewicht ist, was jeder Pfeiler zur Zeit der Probe getragen.

Da nun der kleinste Durchschnitt eines Pfeilers 350,000 Quadratmillimeter beträgt, so würde jeder Millimeter Durchschnittsfläche mit ein geringes mehr als $1/2$ Kilogr. belastet werden, also eine Belastung, welche viel geringer ist, als man dem Gußeisen zumuthen kann, wenn man nun dessen absolute Widerstandsfähigkeit in Anschlag bringt.

Die zweite Kraft, welche in horizontaler Richtung wirkt und dahin strebt die Pfeiler umzuwerfen, entsteht aus der Reibung der Rolle, welche die Seile aufnimmt. Die Totalbelastung betrug im Augenblicke der Prüfung 7500 Centner. Wenn die Kloben ausweichen und auf der Fläche, die sie stützt, rollen so entsteht zwischen den beiden sich berührenden Oberflächen eine Reibung, welche wie eine Tangentialkraft an diesem Punkte zu betrachten ist. Diese Kraft beträgt nach Coulomb $\frac{1}{15}$ der Belastung, d. h. $\frac{7500}{75} = 500$ Centner. Jeder Pfeiler widersteht daher einer horizontalen Kraft von 250 Centner. Dennoch ergab sich durch diese Kraft keine bemerkbare Wirkung, weder in der Festigkeit der Pfeiler, noch in der Verbindung der Platten. Man konnte die Widerstandsfähigkeiten der Pfeiler auch ferner beurtheilen, als die Hängeseile befestigt wurden; denn da es an Stützpunkten fehlte, um die horizontalen Seile zu heben, so wurden die Pfeiler selbst dazu genommen, auf die nun eine solche Kraft wirkte, daß sie fast um 1 Centimenter aus ihrer Basis gehoben wurden

welche aber mit dem Mauerwerk des Unterbaues noch nicht verbunden war, ohne daß sich übrigens durch diese Erschütterung die geringste Störung der Verbindungen zeigte. Die Brückenbahn ist zwischen den Geländern 7,5 Meter breit und so gespannt, daß sie an den Widerlagern 25,5 Meter und in der Mitte aber 28 Meter über den niedrigsten Wasserstand gelegt ist. Zwölf Drahtseile, deren jedes aus 202 Fäden von 0,004 Meter Stärke besteht, wovon jeder 600 Kilogr. oder 12 Centner tragen kann, ohne zu reißen, tragen die Brückenbahn.

Am interessantesten ist hier jedenfalls das System der Aufhängung und die Verspannung der Pfeiler durch die Transversalbänder. Um eine zu große Bewegung der Kloben, auf welchen die Hängeseile festliegen zu verhindern, und hervorzubringen, daß diese nur nach Maßgabe der Belastung sich auf und nieder bewegen können, so hat der Erbauer de Vergés transversale Zugbänder oder Zugseile angeordnet, die mit dem Kloben oberhalb in Verbindung stehen und von hier aus in möglichst flacher Richtung nach dem Belage hingehen, hier an horizontale Zugbänder befestigt sind, die wieder durch verticale Seile mit dem Pfeilermauerwerk verbunden sind, wie in Fig. 967 und 970 näher ersichtlich sind.

Die Transversalbänder, die gegen den Umsturz der Pfeiler angebracht sind, bestehen jedes aus 102 Drähten von derselben Stärke, wie die der Haupttheile und es sind deren für jeden Bogen 24 vorhanden. Die horizontalen Bänder, welche mit den transversalen sich vereinigen, und deren für jeden Bogen 8 bestehen, sind aus 146 Drähten zusammengesetzt. Die hinuntergehenden Trageseile haben jedes nur 40 Fäden.

Challey berechnete bei der Freiburger Brücke die Spannung der Seile, wenn e die Entfernung der Stützpunkte der Hängeseile bezeichnet, ferner k den Sinus versus des Hängeseiles, P das Maximum der Belastung, und T die Spannung der Seile, nach der Formel

$$T = \frac{P}{4k}\sqrt{\tfrac{1}{4}e^2 + 4k^2},$$

wo T das Maximum der Spannung an den Stützpunkten des Seiles ist, unter der Voraussetzung, daß die Belastung auf die Brückenbahn, deren ganzen Länge nach, gleichförmig vertheilt sei.

Da nun das Gesammtgewicht der Bahn und der übrigen Brückenbestandtheile in Allem 30000 Kilogr. ist; ferner die größte zufällige Belastung 160000 Kilogr. für die ganze Bahn und 100 Kilogr. für jeden Quadratmeter beträgt, so ist also das Maximum der Belastung 460000 Kilogr. Setzt man in obige Formel für die darin enthaltenen Größen ihre Werthe, so ist, da nunmehr $P = 460000$ Kilogr., $e = 870$ Fuß, $k = 61{,}43$ Fuß ist.

$$T = 846000 \text{ Kilogr.}$$

Es bestehen aber die Taue zusammen aus 4224 einzelnen Drähten Nr. 18, deren jeder 610 Kilogr. tragen kann, ohne zu reißen, daher könnten die vier Taue 2,576640 Kilogr. tragen, also nahe dreimal so viel, als die hier gefundene Spannung T zeigt.

Wenden wir aber auf diese Brücke eine Berechnung an, in der Art, wie sie Dufour in seinen Werke über die Drahtbrücken zu Genf angiebt, so erhalten wir folgendes Resultat.

Derselbe führt an, daß der dynamische Effect des Stoßes für einen Mann, dessen Gewicht 70 Kilogr. beträgt, und welcher von einer Höhe von 10 Centimeter herabfällt, gleich 9800 ist. Nehmen wir nun an, es marschiren 2000 Mann gleichzeitig im Geschwindschritte über die Brücke, so ist bei der angegebenen Annahme der dynamische Effect für 2000 Mann gleich 19600000. Da nun nach seinen Versuchen ein Faden von 2,10 Millimeter unter einem dynamischen Effecte von 5200 bricht, und sonach der dynamische Effect eines Fadens von 3 Millimeter zu 7400 anzunehmen ist, so würden die 4224 Fäden 31237600 tragen. Dies ist nun etwas mehr als $\frac{1}{3}$ größer, als die durch 2000 Mann erzeugte dynamische Effect, welcher Ueberschuß aber immer noch zu klein sein würde, zumal man mit ziemlicher Sicherheit annehmen kann, daß nicht alle Drähte gleiche Spannung erhalten.

Die Stärke der Bügel, in deren Rinnen die Dräthe gelegt sind, berechnet Dufour ferner nach der Formel

$$P = 100 \frac{R^2 - r^2}{c} R.$$

worin P das Gewicht in Kilogrammen ausdrückt, welches ein hohler Cylinder in seiner Mitte ohne zu zerbrechen, noch gerade tragen kann; R und r bezeichnen den äußeren und inneren Halbmesser dieses Cylinders und c seine Länge, sämmtliche Maße in Millimetern ausgedrückt. Da aber bei der Drahtumlegung die Last nicht in der Mitte des Cylinders, sondern gleichförmig auf demselben vertheilt ist, so ist er, nach obiger Formel bestimmt, einem Widerstande von 2 P gewachsen.

Folgende bemerkenswerthe Umstände, die bei den, wie oben beschrieben, construirten Drahtbrücken stattfinden, sind noch nothwendig zu beachten. Diese bestehen darin, daß man erstlich nicht im Stande ist, die Draht-Curve zu reguliren. Bei den Kettenbrücken sind an den einzelnen Gliedern Vorrichtungen, wodurch die Regulirung einer Curve gegen die andere möglich wird. Eine solche Regulirung ist um so nothwendiger, weil sonst die einzelnen Curven gegen die anderen ungleichmäßig gespannt werden. Bei der Freyburger Brücke hatte sich das eine Tragtau um mehr als 3 Zoll gegen das neben ihm liegende Tragtau gesenkt und fand daher hier schon gleich von vorn herein eine Ungleichförmigkeit in der Spannung der einzelnen Taue statt. Ferner aber lassen sich auch nicht die hinuntergehenden Tragseile, woran die Brückenbahn angehängt ist, gehörig reguliren, indem hier eine Vorrichtung fehlt, die Tragbalken etwas höher oder niedriger zu stellen, und dadurch alle zusammen in eine Ebene zu legen. Bei der Freyburger-Brücke fanden sich in Folge dessen schon gleich anfangs Unebenheiten der Bahn, die vom Anfange bis zum Ende wellenförmig durchliefen.

Eine eigenthümliche Anordnung zum Aufhängen der Drahttaue auf den Tragpfeilern ist bei der Hängebrücke zu Conflans-Sainte-Honorine in Anwendung gebracht. Fig. 993, 1007—1011.

Die Taue werden da, wo sie über die Pfeiler gehen, mittelst großer eiserner Säulen von ungefähr 8 Meter Höhe unterstützt. Diese Säulen bestehen aus mehreren Stücken, und zwar sind diese: erstens, ein schneidiges Unterlager Fig.

1007, welches unterwärts aus einem kleinen Stücke einer Cylinderfläche mit sechs Centimeter Halbmesser besteht und an einer einzigen Tangente auf einer breiten Schiene von Gußeisen ruht, die auf dem Untertheil des Pfeilers ruht, welcher aus Mauerwerk besteht. Dieses Unterlager ist mittelst Bolzen mit nachfolgenden Theilen verbunden: nämlich mit zwei Stücken cylindrischer Schäfte, die mittelst eiserner Bänder im Innern mit den Bolzen zusammen halten, und einer Walze f, welche den Obertheil der Säule bildet und sich mittelst eben solcher Bänder mit dem zweiten Schaftstücke verbindet. Oben endigt diese Walze in eine horizontale Ebene, worin sich vier Löcher befinden, welche dazu dienen, dieselbe mit dem Sattel für die Taue zu vereinigen. Dieser Sattel g wird gebildet durch fünf verticale dreiseitige Stücken von verschiedener Dicke, nach dem von ihnen zu erleidenden Widerstande, welche vier Zwischenräume lassen, wo die Taue hindurchgehen können.

Die zwei mittleren Zwischenräume dienen für die Taue des großen Brückenfeldes; nämlich in jedem dieser Zwischenräume geht ein Tau der oberen und der unteren Reihe durch.

Die beiden äußeren Zwischenräume des Sattels dienen für die kleinen oberen Taue und für die unten befindlichen Spannseile.

Auf diesem Sattel sind die Taue mittelst gußeiserner Kloben befestigt, welche in den Schleifen der Taue eingreifen und deren Enden in den zwei Vorragungen ruhen, zwischen denen das Tau hindurch geht. Der Durchschnitt dieser Kloben ist cylindrisch, um im Nothfall eine kleine Drehung zu gestatten; und senkrecht unter jedem Kloben ist die Vorragung nach einem Kreisbogen etwas ausgekerbt, um beim Einlegen der Taue das Rutschen derselben zu verhindern. Bei jedem Landpfeiler sind die Stützpunkte für jede Seite in zwei Sätteln enthalten; der eine für die zwei Hängetaue ist vorne angebracht und nahe an seinem Untertheile gehen die Spannseile vorbei; der andere, welcher sich rückwärts befindet, dient zur Aufnahme der Spannseile.

Eine fernere Eigenthümlichkeit besteht in der Anordnung der Hängeseile, indem die Brückenbahn zwischen den beiden Tragpfeilern auf jeder Seite der Brücke durch zwei für sich bestehenden Reihe von Tauen getragen wird, die in einem verticalen Abstand von 30 Centimeter über einander angebracht sind. Eine jede dieser Reihen besteht aus zwei parallelen Tauen, auf welchen die Tragseile mittelst kleiner gußeiserner Lager ruhen, welche in der Mitte von der Schleife des Hängedrahtes umfaßt werden. Die Tragseile für den ersten, dritten, fünften und alle ungeraden Unterzugsbalken ruhen auf der einen, die für den zweiten, vierten, sechsten und alle geraden Unterzugsbalken auf der anderen Taureihe.

Die kleinen Brückenfelder werden ebenfalls durch zwei im verticalen Abstande 30 Centimeter von einander entfernte Taureihen getragen, wobei aber jede Taureihe nur aus einem Drahtseile, statt wie bei dem mittleren Brückenfelde aus zwei Reihen besteht. Man hat daher für diese kleinen Brückenfelde keine gußeisernen Lager, sondern die Hängedrähte reiten auf den Tauen, auf denen sie mittelst kleiner eiserner Sättel liegen.

In Fig. 1011 ist die Anordnung der Verankerung in den Widerlags-

pfeilern dargestellt. Gleichzeitig ist auch daraus die Befestigungsart der Bahn an die Pfeiler und Landwiderlager ersichtlich. Unter der tiefer liegenden Langschwelle befinden sich zwei in das Mauerwerk versetzte hervorragende Auflagerstücke, die auf zwei aus der Pfeilerwand vorspringenden Tragsteinen ruhen; sie sind seitwärts mit diesen Tragsteinen durch zwei Bolzen verbunden, welche in das Gemäuer eingreifen und auf der oberen Langschwelle durch eine eiserne Querschiene und zwei Schrauben vereinigt sind.

Außerdem sind noch die Auflagerstücke im Innern des Mauerwerkes durch dasselbe System von Bolzen und Querschienen mit Steinen verbunden, welche 2, 5 Meter tiefer ins Mauerwerk versetzt sind.

Bei den Versuchen, welche über die Festigkeit der Brücke angestellt wurden, und wobei auf dieselben eine Last von 200 Kilogr. auf jeden Quadratmeter außer der Last der Brückenbahn selbst, gebracht wurde, zeigte sich die Durchbiegung des mittleren Brückenfeldes, dessen Spannweite 77,5 Meter beträgt, gleich 15 Centimeter. Die beiden kleinen Brückenfelder haben jedes eine Spannweite von 37,85 Meter.

Bei der Belastung der Seitenfelder allein neigten sich die Säulen, welche vor dem Versuche senkrecht standen, um 25 Millimeter gegen die Landpfeiler. Als aber das große Mittelfeld allein beladen war, gingen sie um 25 Millimeter nach entgegengesetzter Richtung über die Verticale, so daß ihre ganze Bewegung 5 Centimeter betrug.

Wir haben weiter oben angeführt, daß die Kettenbrücken für längere Zeit eine größere Sicherheit gewähren als die Drehbrücken. Wenn nun auch noch keine hinreichende Erfahrung über die Dauer der Drehbrücken gewonnen werden konnte, so sprechen doch Thatsachen dafür, daß man die Dauer dieser Brücken nicht so sehr hoch anschlagen darf. Genauere Untersuchungen sind wohl bis jetzt noch von keinem Anderen als von Dufour angestellt und zwar bei einer von ihm in Genf erbauten Brücke nach einer Zeitdauer von 20 Jahren nach ihrer Erbauung. Derselbe fand, wenngleich die Tragtaue und die Hängeseile, so wie auch die Füße, auf denen die Querbalken der Bahn liegen, noch unverändert und ganz frei von Rost waren, daß dennoch die Schwingungen größer waren als zuerst. Von einem Schwinden des Holzes konnte dies wohl weniger herrühren, da überhaupt die Bahn von Anfang an nicht den Schwingungen der Brücke widerstanden hatte, und ferner das Schwinden des Holzes auch nicht in dem Maße stattfinden und von Wirkung sein kann, daß dadurch die Schwingungen vergrößert werden können. Weit eher läßt sich die Ursache dieser vergrößerten Schwingungen in der Abnutzung der Drahttaue selbst suchen, indem sie durch den Gebrauch ihre Straffheit verlieren.

§. 34. Ueber Kettenbrücken mit Hängewerk aus gewalzten Bandeisen.

Die erste Anwendung dieser Construction fand im Jahre 1834 statt und zwar auf einem Eisenwerke zu Abainville, wo der Ingenieur Flachat zur

Verbindung zweier Gebäude daselbst, die durch einen Wassergraben getrennt waren, eine Hängebrücke herstellte, deren Hängeketten aus gewalzten Eisenstreifen bestanden, die durch eiserne Klemmbüchsen zusammengehalten wurden.

Dieses System, wenngleich mehrfach beantragt, kam aber erst im Jahre 1840 bei einer größeren Hängebrücke, nämlich bei der Brücke von Suresnes bei Paris (Figur 891) in Anwendung. Die vorher angestellten Versuche lieferten sehr günstige Resultate, und wurde daher dies Constructionssystem von Seiten der obersten Baubehörde genehmigt, mit Vorbehalt der gewöhnlichen Probe und unter der Bedingung, daß die Eisenstreifen pro □ Millimeter keinem stärkeren Zuge als von 14 Kilogr. ausgesetzt würden.

Zu den Hängeketten wurden gewalzte Eisenstreifen angewendet, wie man sie als Reifen für Fässer und Tonnen gebraucht. Dieselben haben eine Dicke von 2 bis 5 Millimeter, eine Breite von 25 bis 100 Millimeter und eine Länge von 15 bis 18 Meter.

Die zu den Hängeketten der Brücke von Suresnes angewendeten Streifen hatten eine Breite von 81 Millimeter; die mittlere Dicke derselben war für die Mitteltaue 4,15 Millimeter und für die Ufertaue 3,83 Millimeter und die Länge der einzelnen Streifen betrug 14 bis 15 Meter.

Da die einzelnen Streifen selten die erforderliche Länge haben und dies im vorliegenden Falle durchaus nicht stattfand, indem die beiden mittleren Pfeiler der Brücke von Achse zu Achse 63 Meter von einander entfernt sind, so mußten also die Hängeketten aus einzelnen Längen zusammengesetzt werden.

Jede Kette besteht hier aus 20 auf einander gelegten Streifen von der angegebenen Stärke. Da nun die Enden nicht so mit einander verbunden werden können, wie bei den Drahttauen, so wurde hier eine andere Zusammensetzung angeordnet. Alle Streifen eines Bündels beginnen nämlich auf einer der Seiten des Bündels und endigen, indem sie dessen Achse unter einem spitzen Winkel durchschneiden, an der entgegen gesetzten Seite; in einem gewissen Abstande vom Anfange des ersten Streifens beginnt dann der folgende und läuft parallel mit dem ersten fort. Die Länge der Streifen betrug bei der Brücke von Suresnes 14 bis 15 Meter und entsprach somit den Entfernungen von 10 Bundstellen, oder solchen Stellen, wo die Klemmbüchsen angebracht wurden, die wegen der Hängestangen, welche die 1,4 Meter aus einander liegenden Balken tragen, horizontal gemessen, gleich weit von einander entfernt sind. An jede Büchse eines Bundes wurden zwei anfangende und zwei endigende Streifen befestigt.

Die hier angewendeten gußeisernen Büchsen (Figur 986 A, B, C, D, E, F) bestehen aus zwei Theilen, welche in der Richtung der Mittellinie der Bündel, mittelst vier Bolzen von 0,02 Meter Durchmesser warm vernietet wurden. Die beiden Theile der Büchsen sind mittelst Zapfen des oberen Theils, die in Nuthen des unteren Theils passen, fest zusammen gehalten. Die über eine Abrundung umgebogenen Enden der Eisenstreifen wurden mittelst 0,009 Meter dicker Schraubenbolzen befestigt. Am unteren Theile der Büchse ist eine viereckige Oeffnung zur Aufnahme eines durchlochten Zapfens, an dem die Hängestange befestigt wird, vorbereitet.

Bei der ersten ausgeführten Hängebrücke zu Albainville bestanden diese Büchsen aus einem Stücke (s. Figur 987 A, B, C). Das Befestigen der Streifen an die aus einem Stücke gegossenen Büchsen, welche aufgeschoben wurden, geschah durch Umbiegen der Enden um sich selbst und um einen kleinen Bolzen, wofür im Gusse der Platz ausgespart war. Um die Streifen aber ganz fest an die Büchse zu drücken, ward noch mitten zwischen sie in der Klemmbüchse ein elliptischer Keilbolzen durchgetrieben, zu dessen Aufnahme die zwei Löcher a in den Seitenwänden bestimmt sind. Man bog, um das Hängetau zu verfertigen, nachdem die Büchsen aufgeschoben waren, den endigenden Streifen um, trieb die Büchse an, schob den beginnenden Streifen ein, bis er mit dem Umbug dicht an der Büchse fest saß, bog ihn um, und wenn Alles in der Ordnung war, wurde der Mittelkeil eingetrieben.

Daß diese letztere Anordnung der bei der Brücke von Suresnes angewendeten bei weitem nachsteht, ist leicht einzusehen; denn bei dem erforderlichen größeren Spielraum, um die einzelnen Streifen so hineinschieben zu können, daß sie sich nicht stauchten, war ein hinreichendes Zusammenpressen der einzelnen Kettenstreifen durch das Eintreiben des Keiles kaum möglich zu machen.

Die Zurichtung der Hängeketten bei der Brücke von Suresnes geschah gleich in der definitiven Form, welche sie erhalten sollten. Man bildete sich zu diesem Behufe aus den zu den Querbalken der Brücke bestimmten Hölzern die erforderlichen Unterlagen. Die Balken lagen in ihrer richtigen Entfernung von einander und die Mitte ihrer Zwischenweite correspondirte einer Büchsenstelle. Besondere Unterlagen dienten zur Bestimmung der Form der über die Pfeiler gehenden Kettenenden (s. Figur 989). Auf jedem Unterlagsbalken befestigte man, wie in Figur 990 angedeutet, einen Klotz, der einen 0,12 Meter breiten Einschnitt hatte. Die eine Seite des Einschnitts war genau in die Linie gelegt, welche die Außenseite der Kette bezeichnete. In diese Einschnitte wurden dann die vorher gehörig abgebürsteten Streifen paarweise eingelegt und wenn die volle Zahl beisammen war, mit Holzkeilen provisorisch an einander gedrückt.

Für die Pfeilerkrümmungen mußten die Streifen vorher einzeln gekrümmt werden, ehe sie zusammen in die gehörige Form gebracht wurden, weil bei der gemeinschaftlichen Krümmung, wenn diese Vorsicht nicht genommen wurde, der ganze Zurichteplatz durch die Federkraft der Kette in Unordnung gerieth.

Zu beiden Seiten der Stelle, wo eine Klemmbüchse angebracht werden sollte, wurden zuvor Keilzwingen Figur 991 angebracht, um die Eisenstreifen vollkommen an einander zu pressen. Gleiche Zwingen wurden auch in die Zwischenweiten gesetzt, um alle Streifen gleichmäßig zu strecken. Nach diesen Vorbereitungen wurden die Büchsen angelegt, provisorisch verbolzt, dann vernietet und die umgebogenen Eisenstreifen gehörig verschraubt, worauf die Keilzwingen abgenommen und an den folgenden Stellen angesetzt wurden.

Die Schlingen am Ende der Kette (Figur 983) wurden ganz zuletzt gefertigt. Der leere Raum zwischen der Umbiegung wurde durch eine auf die Unterlage geschraubte Holzschablone und durch die oberen und unteren Keile gebildet. Diejenigen Enden der Streifen, welche sich hier zwischen den anderen eingelegt befinden, wurden mit der Feile verloren zugeschärft.

Die einzelnen Streifen waren zum Behufe des Transports in 2 Meter lange Büschel zusammengelegt und betrug der Halbmesser der Umbiegung ungefähr 0,25 Meter. Es mußten daher die Streifen vor ihrer Verwendung wieder ausgestreckt werden, welches auf einer langen Bohlenunterlage durch Hämmern geschah.

Die Endschlingen Fig. 983 am Ende der Ketten bestehen aus 36, statt wie die Ketten selbst aus 20 Eisenstreifen. Von diesen endigen 16 im Innern des Bündels und nur 4 sind um die letzte Büchse gebogen und ist dann bei dieser letzten Büchse ein Bolzen durch alle Streifen durchgesteckt.

Die Befestigung der Kette geschieht durch eine 0,08 Meter starke mit Rippen versehene gußeiserne Platte, welche ein viereckiges Loch zum Durchstecken der Kette hat. Die Kette wird daran durch mehrere Keile festgehalten, von denen der sich in die Rundung einlegende Keil von Gußeisen ist und eine halb cylindrische Form hat. Die anderen Keile sind von Schmiedeeisen; der letzte an der Platte liegende Endkeil ist stärker als die übrigen, und ist gleich dem halb cylindrischen mit Rändern versehen, damit er nicht von der Stelle rücken kann. Durch die hier eingelegten Zwischenkeile wurde die Rectification der Kette bewirkt.

Um die beiden über die Pfeiler gehenden Ketten einander möglichst zu nähern und um ihre für sie selbst sowohl als das Mauerwerk nöthige Beweglichkeit zu erleichtern, sind sie in ihrer Rundung ohne Klemmbüchsen geblieben und jede Kette hat zur Unterlage auf dem cylindrischen Pfeilerkopfe 9 gußeiserne Rollen, die auf einer gemeinschaftlichen Sohle aus Eisenblech vernietet sind Letztere ist unmittelbar auf der runden Pfeilerfläche befestigt und erstere sind 0,14 Meter von Achse zu Achse entfernt. Diese Anordnung ist in Fig. 982 ersichtlich. Das Auflager der Kette auf den Uferpfeilern ist auf eine ähnliche Art hergestellt (Fig. 985).

In Fig. 984 ist die Befestigung der Brückenbahn an die Kette näher dargestellt, die aber keiner weiteren Erklärung bedarf.

Statt der gußeisernen Klemmbüchsen hat man auch solche aus Schmiedeeisen vorgeschlagen. Diese sollen dann aus gewöhnlichem Bandeisen bestehen, welches warm $2^1/_4$- oder $3^1/_4$mal um das Bündel gelegt und dann mit einem oder zwei Schraubenbolzen an den Seiten, wo sich die Enden befinden, zusammengehalten wird. Diese ziehen sich bei ihrer Erkaltung fest zusammen und klemmen das Bündel nach unten fester ein (Fig. 988).

Betrachten wir dieses System näher, so liegt augenscheinlich vor, daß die darnach hergestellten Ketten jedenfalls einfacher sind, als die Ketten aus Eisenstangen, so wie auch die aus Eisendraht. Allein auch bei diesem System findet derselbe Nachtheil und wohl noch in einem höheren Grade als bei den Drahtbrücken statt, daß die Eisenstreifen nicht einerlei Spannung erleiden. Die Eisenstreifen kommen ebenfalls in Bündeln vor; man hat bei der Brücke von Suresnes die dadurch entstandenen Biegungen ausgehämmert, aber es ist schlechterdings nicht möglich, dieselben so zu hämmern, daß alle Biegungen sich ganz und gar verlieren. Dies kann aber nur durch einen starken Zug geschehen, welcher sich hier auch wohl anwenden ließe, aber dazu wären dann

ganz besondere Vorkehrungen wieder erforderlich, indem die Ketten nicht in gerader Richtung hergestellt werden können, weil die einzelnen Streifen, woraus die Kette nach der Dicke zusammengesetzt wird, nicht einerlei Länge haben. Wollte man daher eine solche Kette nach gerader Richtung zusammensetzen so würden die äußeren Glieder eine größere Spannung auszuhalten haben, als die inneren. Ferner kommt noch hinzu, daß die einzelnen Enden nicht zusammengesetzt werden, sondern die Enden durch die Klemmbüchsen verspannt werden. Einzelne Enden schließen sich aber um diese Klemmbüchsen, sie haben also direct auch einen stärkeren Zug auszuhalten, weil daran die Brückenbahn aufgehängt ist, und bei jeder Seitenbewegung, welche diese macht, eine Kraftäußerung auf die Büchsen wirkt, welche sich unmittelbar auch den daran befestigten Eisenstreifen mittheilt.

Wenn nun das Eisen, mit geringerem Querschnitt angewendet, auch eine verhältnißmäßig größere absolute Festigkeit hat und überdieß der Zustand desselben jeden Fehler leicht erkennen läßt, was bei den Ketten aus Eisenstangen zwar nicht in dem Grade möglich ist, und bei diesem letzteren man sich daher erst durch Versuche der einzelnen Stücke von ihrer Güte und Festigkeit überzeugen muß, so ziehen wir dennoch die Kettenbrücken aus Eisenstangen, wenngleich theurer als die von Eisenstreifen, diesen letzteren vor und zwar hauptsächlich aus den oben angeführten Gründen. Ueberhaupt ist dieses System auch noch zu neu, als daß man mit einiger Sicherheit ein Urtheil über die Dauer desselben fällen kann.

Endlich haben wir noch Einiges anzuführen über die Befestigung der Ketten an den Mittelpfeilern. Die Tragketten laufen nicht ununterbrochen über denselben fort und sind rückwärts mit den Ankerketten verbunden, sondern sie gehen, ebenfalls wie auch die Ankerketten, über den Pfeiler und jedesmal an der entgegengesetzten Seite des Pfeilers herunter, wo sie dann unten im Fundamente des Pfeilers befestigt sind. Durch diese Anordnung erleidet der Pfeiler nicht allein einen sehr starken Verticaldruck, sondern auch einen sehr bedeutenden Horizontaldruck, sowohl von der Tragkette, als auch von der Ankerkette, welche Wirkungen aber gerade entgegengesetzt auf den Pfeiler sich äußern und somit denselben zu zerdrücken streben. Ein solcher Zustand stellte sich auch wirklich bei der Untersuchung der Brücke ein. Denn einige Stunden, nachdem die vollständige Probebelastung aufgebracht war, bemerkte man am oberen Theile der spaltenförmigen Pfeilervertiefungen, in denen die Kettenenden herabgehen, große Risse, welche bis zur 6ten und 7ten Steinschicht unterhalb des Pfeilergesimses herabreichten und sich rasch verlängern zu wollen schienen. Man vernahm, indem man das Ohr dem Pfeilerkopf annäherte, ein dumpfes Gekrache, jedenfalls ein sicheres Zeichen, daß sich die Risse auch im Inneren des Mauerwerks verbreiteten. Es wurde daher möglichst schleunig die Probebelastung, welche aus Kiessand bestand, beseitigt und in die Seine geworfen. Es wurden dann die Pfeilerköpfe erneuert und die Sättel auf denselben wiederhergestellt; man verwendete nunmehr härtere Steine dazu und ferner verbreitete man auch den Pfeiler, indem man demselben 30 Centimeter mehr Vorsprung gab, als die alten Steine

erhielten, wodurch die Breite des Pfeilers auf 3 Meter 60 Centimeter gebracht wurde. Dieser Unfall hatte sich bei allen vier Tragpfeilern ergeben.

Man hat daher in solchen Fällen die Pfeiler in solchen Dimensionen und aus solchem Material aufzuführen, daß sie vollständig im Stande sind, den beiden entgegengesetzt auf sie wirkenden Spannungen Widerstand zu leisten.

§. 35. Die Stahlbrücken.

Die Stahlbrücken unterscheiden sich von den gewöhnlichen Kettenbrücken hauptsächlich nur dadurch, daß die Kettenglieder der Trag- und Spannketten aus Stahlstangen bestehen, die in der bereits oben angegebenen Art durch schmiedeeiserne Bolzen mit einander zu einer Kette verbunden sind. Wir haben daher nicht nöthig über die Construction und Anordnung derselben hier etwas anzuführen.

Die erste Stahlbrücke ist in Wien von v. Mitis erbaut, und von demselben in einem Werke: „Beschreibung der ersten Stahlbrücke in Wien von J. E. von Mitis, Wien 1829", näher beschrieben. Wenngleich nun der Stahl ein größeres Tragungsvermögen hat, als das Eisen und also in dieser Hinsicht sicher den Vorzug verdient, so ist aber auch gleichzeitig der Nachtheil damit verbunden, daß die Stahlbrücken beinahe fortwährend in Schwingungen sich befinden, und jeder Fußgänger, welcher sie passirt, diese Schwingungen empfindet. Der Erbauer führt in seinem Werke selbst an, daß die 303 Fuß lange Bahn dieser Brücke bei dem Orkane am 20. Juli 1828 sogar in schuhhohen Wellen geschwankt hat. Diese nachtheiligen Umstände haben auch namentlich dazu beigetragen, daß man dem Vorschlage, Stahl zu Kettenbrücken zu verwenden, bisher keine weitere Folge gegeben hat.

§. 36. Von den Brücken mit unterhalb befindlichen Spannketten.

Diese Art Brücken, welche, streng genommen, ebenfalls zu den Hängebrücken gehören und jedenfalls wohl die erste Idee gegeben haben, bestehen darin, daß der hölzerne Belag oder der eigentliche Oberbau durch Ketten, die an den Pfeilern stark befestigt sind, von unten her unterstützt werden. Wir haben bei mehreren Hängebrücken auch eine theilweise Unterstützung der Brückenbahn von unten her, wo dann durch gußeiserne Stützen, die auf der Kette ruhen, die Brückenbahn unterstützt wird. Bei dieser Art bildet aber die Kette noch immer eine krumme Linie und verändert ihre Gestalt bei Ueberführung von Lasten. Bei der hier erwähnten Art von Brücken ist aber in sofern ein Unterschied von den obigen Hängebrücken, daß hier der Brückenbelag schon an und für sich eine gewisse Tragfähigkeit besitzt, welche noch dadurch vermehrt wird, daß unterhalb desselben horizontal eine Kette von einem Pfeiler zum andern

gespannt ist und darauf eiserne Stützen ruhen, wodurch die Brückenbahn an ihren schwächeren Stellen unterstützt wird. Uebrigens hat man auch von dieser Construction solche Anwendung gemacht, daß durch die Spannkette die Brückenbahn ihre ganze Unterstützung erhält und sonach der Brückenbelag nur das Mittel bildet, um die Brücke passiren zu können.

Eine hierher gehörige Brücke ist die in den Figuren 979—980 dargestellte.

Diese Brücke besteht aus mehreren Brückenöffnungen und hat sonach mehrere Mittelpfeiler. Die Brückenbahn wird durch fünf Spannketten (s. Fig. 978 und 979) getragen. Jede Spannkette besteht aus zwei Reihen Gliedern, die an den Unterstützungsstellen wieder durch kleine Glieder mit einander verbunden sind. An diesen Stellen sind die beiden Gliederreihen einer solchen Spannkette durch gußeiserne Platten verbunden. Auf einer oberen gußeisernen Platte ruht dann eine starke schmiedeeiserne Stütze, welche mit ihrem unteren Ende, woran eine Schraubenspindel geschnitten, durch beide Platten reicht und durch eine aufgeschraubte Mutter festgehalten wird. Diese schmiedeeisernen Stützen tragen Querschwellen (s. Fig. 980). Ueber diese Querschwellen sind dann Längenbalken gekämmt und darüber weiter der Brückenbelag hergestellt. Die Spannketten erhalten ihre Befestigung im Landpfeiler, indem sie ähnlich wie bei den Hängebrücken über das Mauerwerk desselben fortgeführt und hinterwärts unten darin befestigt werden, wie in Fig. 978 ersichtlich. Auf dem Mittelpfeiler sind sie mit den Sätteln der Längenbalken in Verbindung gebracht, indem hier auf jeder Seite eines Sattels eine gußeiserne Platte angeordnet ist, mit welcher die Ketten durch starke schmiedeeiserne Bolzen, die ganz durchgehen, verbunden sind. Die Ketten sind sonach auf den Mittelpfeilern fest und wird beim Ueberführen einer Last über ein Brückenfeld die Spannung der Ketten durch die Last der übrigen daselbst auf den Ketten ruhenden Theile der Brückenbahn erhalten.

Das Uebrige der Construction ist nach dem Bisherigen und aus den beigefügten Zeichnungen hinreichend erklärlich. Wir wollen nunmehr noch Einiges über die Zweckmäßigkeit dieser Constructionsart anführen.

Daß die unterhalb der Brückenbalken angeordneten Spannketten eine gewisse Sicherheit gegen Einsturz gewähren, zumal, wenn den einzelnen Kettengliedern ein genügender Querschnitt gegeben, ist einleuchtend, und würde diese Sicherheit vollständig hinreichend sein, wenn das Eisen nicht bei Temperaturveränderungen in Hinsicht seiner Ausdehnung Veränderungen erlitte. Diese Längenveränderungen sind aber auch nicht gleichmäßig, sondern sind die an den Seiten befindlichen äußeren Ketten, je nachdem die Sommerwärme darauf wirkt, immer einer größeren Ausdehnung unterworfen als die inneren Spannketten, worauf die Sonne nicht unmittelbar einwirken kann. Wenn nun der mittlere Theil oder die eigentliche Fahrbahn direct von drei Spannketten unterstützt wird und somit bei einer übergehenden Last diese drei Ketten den Hauptdruck erhalten, so ist die Anordnung vermittelst der Querschwellen doch in der Art, daß bei einer gleichmäßigen Spannung sämmtlicher Ketten, über sämmtliche sich die Last vertheilen würde. Dies kann aber hier bei der ungleichen Ausdehnung der Ketten nicht stattfinden und wird somit bei Sonnen-

schein und bei Ueberführung einer Last die Brückenbahn sich stets nach derjenigen Seite hinneigen, wo die Sonnenwärme den größten Einfluß ausübt. Es ist daher jedenfalls ein großer Nachtheil dieser Construction, daß die Ketten nicht sämmtlich in gleicher Spannung erhalten werden können, wodurch fortwährende Schwankungen entstehen und in Folge dessen ein sehr häufiges Wiederherstellen der Brückenbahn erforderlich sein muß.

Dem Nachtheile, welcher durch die Sonnenwärme auf eine der äußeren Ketten hervorgebracht wird, ließe sich dadurch vorbeugen, daß man den Belag so weit überstehen ließe, daß auch die äußeren Ketten nie der unmittelbaren Einwirkung der Sonnenstrahlen ausgesetzt würden; allein eine sehr schwierige Aufgabe ist es, den Ketten sämmtlich eine gleiche Spannung zu geben. Aus diesem Umstande aber und daraus, daß die Ketten bei Temperaturwechsel sich auch verändern, kann diese Construction nie als eine solche bezeichnet werden, die sich durch Zweckmäßigkeit und Einfachheit auszeichnet, sondern läßt sich bis zu solchen Weiten, wo diese Construction noch zulässig ist, jedenfalls eine bessere Anordnung wählen. Man findet daher diese Construction auch im Ganzen nur sehr selten angewendet und haben wir dieselbe hier nur der Vollständigkeit wegen mitgetheilt.

§. 37. Schlußbemerkungen.

Zum Schluß wollen wir noch Einiges über die Wirkungen der Temperatur auf die steinernen und eisernen Brücken anführen.

Wenngleich die Wirkungen des Temperaturwechsels auf gemauerte Massen schon längst bekannt sind, so waren doch nie darüber genaue Untersuchungen angestellt, bis zu welchem Grade eine solche Ausdehnung stattfände. Vicat war der Erste, welcher derartige Untersuchungen anstellte und zwar bei der von ihm zu Souillac über die Dordogne erbauten Brücke.

Zu dieser Brücke wurden Quader von weißem, feinkörnigen meistens harten Kalkstein verwendet. Die sieben Brückengewölbe haben jedes 22 Meter Oeffnung und 8,33 Meter Höhe. Die Dicke der Gewölbe ist durchweg 1,2 Meter. Um den Uebergang über die Brücke nach Schluß des letzten Gewölbes in möglichst kurzer Zeit eröffnen zu können, war man genöthigt, die Plinthe und Geländermauern fast unmittelbar nach Wegnahme der Lehrbogen der beiden letzten Gewölbe aufzuführen. Diese Arbeit wurde noch kurz vor dem Froste ausgeführt. Bei der sehr sorgfältig ausgeführten Mauerung der Gewölbe vermuthete man, daß die Gewölbe sich nach der Ausrüstung noch einige Zeit lang unmerklich setzen und in Folge dessen die Stoßfugen in den Geländermauern lothrecht über den beiden Anfängen der beiden zuletzt ausgerüsteten Gewölbe sich öffnen würden. Dies geschah aber nicht allmälig, sondern beinahe plötzlich und zwar gerade während des starken Frostes, mehr als einen Monat nach Aufführung der Geländermauern. Die nämliche Erscheinung zeigte sich aber auch lothrecht über den Anfängen der übrigen Gewölbe, von denen drei bereits länger als ein Jahr ohne Lehrbogen gestanden hatten. Anfänglich

vermuthete man, daß sich die Gewölbe außer durch ihr eigenes Gewicht auch noch in Folge der Erschütterungen durch die ersten darüber gehenden schweren Fuhrwerke setzten. Um daher die Fortschritte dieser muthmaßlichen Art der Bewegung messen zu können, wurden die Fugen, welche sich gezeigt hatten, etwa 0,02 Meter tief, sehr sorgfältig mit Kitt ausgestrichen.

Während des Frostes wurden nicht die geringsten Veränderungen bemerkt, aber etwa drei Wochen später wurde, nach einem für die Jahreszeit ziemlich warmen Tage, bemerkt, daß die Kanten der Steine an den mit Kitt verstrichenen Stellen aussprangen. Indessen war noch keine rückgängige Bewegung zu bemerken. Nachdem aber die Temperatur noch einige Tage gestiegen war, schlossen sich alle Fugen wieder auf eine sehr bemerkbare Weise und es zeigte sich endlich unwidersprechlich, daß die Bewegung periodisch wiederkehre, als man eine zweite Erweiterung und darauf wieder eine zweite Verengung bemerkte. Denn es erfolgte

1) im Februar, bei einer mittleren Kälte von 7 Grad, eine Erweiterung;
2) gegen Ende desselben Monats, bei 20 Grad Wärme in der Sonne um 2 Uhr eine Verengung;
3) vom 3. bis 6. März, bei einer mittleren Kälte von 5 Grad, eine Erweiterung, und
4) vom 10. bis 15. April, bei 20 Grad Wärme in der Sonne um 2 Uhr, eine Verengung.

Aehnliche Erscheinungen hat auch G. Rennie bei der steinernen Brücke zu Staines sehr genau beobachtet.

Aus diesen Beobachtungen ergiebt sich daher, daß die Fugen von steinernen Brücken in den Bogen und der Hintermauerung periodisch ihre Lage ändern, daß also zeitweise der Schub auf die Widerlager wachsen muß, ohne daß jedoch dadurch unter gewöhnlichen Umständen irgend eine Gefahr für die Stabilität des Baues zu befürchten wäre.

Bei gußeisernen Brücken sind diese Veränderungen natürlich stärker hervortretend und wurde auch, als man zuerst eiserne Brücken bauen wollte, der Einwurf gegen sie erhoben, daß der Temperaturwechsel bei ihnen zu große Bewegungen bedinge. John Rennie stellte darüber sehr sorgfältige Beobachtungen an der von seinem Vater erbauten Southwark-Brücke an. Aus diesen Beobachtungen ergab sich, daß die mittlere Erhebung des mittleren Bogens an dem Scheitel etwas über einen Millimeter für einen Grad (der 100theiligen Scala) Temperaturerhöhung betrug, oder 31 Millimeter für 25 Grad. Bei dieser Brücke hat sich aber gezeigt, daß eine solche Formveränderung und der davon herrührende größere Gewölbeschub in keiner merklichen Weise die Stabilität beeinträchtigt.

Bei der Britannia-Röhrenbrücke wurden über die Ausdehnung der Röhren bei Temperaturwechsel von den Oberingenieuren E. und L. Clark mit größter Sorgfalt Beobachtungen angestellt. Dieselben fanden, daß die tägliche Ausdehnung und Zusammenziehung der Röhre von einem halben bis drei Zoll wechselt, wobei die größte Kürze Morgens um 3 Uhr, und die größte Länge Nachmittags um 3 Uhr stattfindet. Obwohl nun bei gleichmäßiger Zunahme der Luftwärme das oben erwähnte Walzwerk an jedem Ende der Röhre in

vollkommene Wirksamkeit tritt, so findet doch ein Heben und Senken der Röhre in der Mitte statt. Dieses kann nur dadurch erklärt werden, daß die Sonnenstrahlen stets nur die eine Seite und die obere Wandung erwärmen, während die entgegengesetzten Seiten etwas kühler bleiben; durch die hierbei stattfindende ungleiche Ausdehnung der Röhre wird eine Spannung und Krümmung derselben verursacht, welche mit ihrer nebenbei erfolgenden gleichmäßigen Verlängerung nicht zu verwescheln ist.

Bei den Hängebrücken ist der Einfluß der Temperatur-Veränderung zwar ebenfalls bemerkbar, aber ohne großen Nachtheil, denn nach genauen Beobachtungen und Untersuchungen von Lavoisieur und Laplace beträgt die Ausdehnung durch Wärme für 80 Grad Réaumur 0,001235 der Länge und da bei uns der größte Unterschied in der Temperatur zu höchstens 40 Grad angenommen werden kann, so ist leicht einzusehen, daß die Ausdehnung nur sehr geringe sein kann. Man hat daher nur bei Anordnung der Tragpfeiler hierauf Rücksicht zu nehmen und dahin zu sehen, daß diese eine solche Festigkeit erhalten, daß bei einer Ausdehnung der Spannketten dieselben nicht durch den Zug der Tragketten leiden.

Der Maßstab zu Fig. 506 zeigt Fuße an.
" " " " 520 " Ellen "
" " " " 524, 526, 532 zeigt Fuße an.
" " " " 537 zeigt Meter an.
" " " " 541, 544, 445 zeigt Fuße an.
" " " " 547 zeigt Meter an.
Die Maßstäbe der Tafel 63 bezeichnen Fuße.
Der Maßstab auf Tafel 64 bezeichnet Meter.
Die Maßstäbe der Tafel 65 bezeichnen Fuße.
Der Maßstab zu Fig. 571 zeigt Meter an.
" " " " 572 " Fuße "
" " " " 479 " " "
Die Maßstäbe der Tafel 69 bezeichnen Fuße.

Druck von E. H. R. Roempler in Dresden.