

$$\dot{S}' = \frac{\dot{q} l^2}{8h} = \frac{3,5 \times 2756,25}{42} = 229,7^T;$$

demnach der Querschnitt aller sechs Tramen:

$$F = \frac{\dot{S}'}{\beta} = \frac{229,7}{5} = 45,94 \square^{\text{dm}},$$

und somit der Querschnitt eines Tramens = $7,65 \square^{\text{dm}}$. Seine Seiten können daher, wenn er quadratisch ist, $2,76^{\text{dm}}$ betragen.

Da in dem vorliegenden Falle der Winkel der Streben mit den Tramen 45° beträgt, ferner $\frac{h}{s} = \sin a$ ist, wenn

a diesen Winkel bezeichnet, so hat man $\frac{s}{h} = 1,414$;

somit berechnet sich der grösste Druck auf die vier Hauptstreben an den Widerlagern:

$$\dot{N}' = \frac{1}{4} \dot{q} l \cdot \frac{s}{h} = \frac{1}{4} \times 3,5 \times 52,5 \times 1,414 = 74,95^T;$$

demnach der Querschnitt aller vier Hauptstreben:

$$F' = \frac{\dot{N}'}{\beta} = \frac{74,95}{5} = 14,99 \square^{\text{dm}},$$

und somit der Querschnitt einer Strebe = $3,74 \square^{\text{dm}}$, was einer Quadratseite von $1,93^{\text{dm}}$ entspricht. Der grösste Zug in den vier Hängebolzen an den Widerlagern ist

$$\dot{Z}' = \frac{1}{4} \dot{q} l = \frac{3,5 \times 52,5}{4} = 45,94^T;$$

demnach der Querschnitt aller vier Bolzen:

$$F'' = \frac{\dot{Z}'}{\alpha} = \frac{45,94}{60} = 0,765 \square^{\text{dm}},$$

und somit der Querschnitt eines Bolzens $0,191 \square^{\text{dm}}$, daher dessen Durchmesser $4,37^{\text{cm}}$.

Blatt 16.

Brücke von Ivry.

Diese Brücke, welche bei Ivry eine der früher wichtigsten Handelsstrassen Frankreichs über die Seine führt, wurde von dem Oberingenieur H. C. Emmerly gebaut und in einem grösseren, bei Carilian-Goeury in Paris im Jahre 1832 erschienenen Werke höchst ausführlich und sorgfältig abgebildet und beschrieben. Ein Auszug dieses Werkes im dritten Jahrgange der Förster'schen Bauzeitung liegt unserer Zeichnung und Beschreibung zu Grunde.

Die Brücke von Ivry ist eine hölzerne Bogensprengwerkbrücke nach dem System von Wiebeking, und da bei ihrem Entwurfe und Baue alle jene Fehler sorgfältig vermieden wurden, welche den vom Erfinder selbst ausgeführten Bogenbrücken ein so frühes Ende bereiteten, so ist die in Rede stehende Brücke vortrefflich gelungen und deshalb als ein bedeutender Fortschritt in der Ausbildung des genannten Brückensystems zu betrachten.

Die Gesammtlänge der Brücke von Ivry beträgt von einem Widerlager zum anderen $122,25^{\text{m}}$ und ihre Breite zwischen den Geländern ist = $9,45^{\text{m}}$. Die Länge von

$122,25^{\text{m}}$ ist auf fünf Bögen in der Art vertheilt, dass der mittlere Bogen die grösste und jeder folgende eine etwas kleinere Spannweite hat. Der Unterschied der Spannweiten ist aber nur unbedeutend, indem die des Mittelbogens $23,75^{\text{m}}$, die der anstossenden Bögen $22,5^{\text{m}}$ und die der Landbögen $21,35^{\text{m}}$ beträgt. Das Verhältniss des Pfeils zur Sehne ist bei jedem Bogen nahehin = $1:7$. In Folge der Verschiedenheit der Spannweiten bildet die Fahrbahn der Brücke der Länge nach keine horizontale, sondern eine ganz flach gebogene Linie. Diese Biegung beträgt aber so wenig, dass wir sie in unserer Zeichnung vernachlässigt haben, so wie wir auch die Spannweiten der zwei dargestellten Bögen als gleich annahmen. Die Widerlager und Pfeiler bestehen aus Bruchsteinmauerwerk, welches an den Hauptflächen mit kantigen Werkstücken, an den Kanten und Ecken aber mit glatt gehauenen Quadern verkleidet ist. Ihre Gründung geschah in Senkständen, welche auf eingerammte Rostpfähle niedergelassen wurden, nachdem die Rostfelder mit einer Masse von hydraulischem Kalk und grobem Sande ausgefüllt waren.

In Fig. 1 ist die Längensicht eines Brückenfeldes, in Fig. 2 der Längenschnitt desselben nach der Mittellinie K M, in Fig. 3 die Oberansicht desselben, und zwar in dem Theile links von A B die Ansicht der Fahrbahn und Fusswege, in dem oberen Theile rechts von A B die Ansicht der Bedielung, und in dem unteren Theile rechts von A B die Ansicht der Strassenträger und Querschwellen angegeben. Fig. 4 zeigt in ihrem oberen Theile die Befestigung der eisernen Windruthen (z, z), und in ihrem unteren Theile die Verbindung der Tragbögen (c, c) durch Zangen (l, l). Fig. 5 stellt einen lothrechten Querschnitt durch den Scheitel eines Bogens mit der Seitenansicht eines Pfeilers und des halben Gebälkes vor. Fig. 6 und 7 zeigen die Befestigung der Windruthen auf einem Pfeiler, Fig. 11 und 12 die Befestigung auf der mittleren Querschwelle des Bogens, während Fig. 17 bis 20 einen Durchschnitt der Windruthen nach Q R und eine Ansicht von Oben darstellen. Die Figuren 13 bis 16 versinnlichen die gusseisernen Polster, auf welchen die Tragbögen in dem Mauerwerke ruhen, und zwar ist Fig. 13 der Durchschnitt eines solchen Polsters nach S T, Fig. 14 der Grundriss, Fig. 15 die Ansicht von vorne und Fig. 16 die Ansicht von hinten.

Wie die Zeichnung ergibt, besteht jedes Brückenfeld aus sieben besonderen Bogenrippen (c, c) von $0,15^{\text{m}}$ Breite und $1,5^{\text{m}}$ Entfernung von Mitte zu Mitte. Jede Rippe besteht aus drei fest verbundenen Lagen gekrümmter Balken von $0,25^{\text{m}}$ Dicke und zwei geraden Schlussbalken (a, a), deren obere Seiten mit der Scheitelfläche des Bogens bündig sind, während die unteren theils auf den Bogenträgern, theils auf dem Pfeilermauerwerk aufliegen (Fig. 2). Jeder Schlussbalken ist in der Nähe des Scheitels der Bogenrippen ein wenig in diese eingelassen und an der Verbindungsstelle (c, c) mit einer aufgenagelten eisernen

Schiene befestigt. Die beiden äussersten Schlussbalken sind auf den Pfeilern überblattet, die mittleren aber durch Verlängerungsstücke, welche auf dem Mauerwerke liegen und in Zapfen endigen, verbunden. Die gekrümmten Balken werden durch eiserne Gurten (k, k) und hölzerne Hängebänder (h, h) zusammengehalten. Letztere haben aber auch noch die weitere Bestimmung, die in ihrer Richtung liegenden Stossfugen der einzelnen Balkenstücke zu bedecken und den wagrechten doppelten Zangenhölzern (l, l') als Stützen zur Verbindung der Bogenrippen unter sich zu dienen. Damit die Bogenbalken möglichst fest zusammen gehalten werden, sind nach Fig. 8 bis 10 nicht bloss die Hängebänder (h, h) und die oberen und unteren Zangen (l, l') doppelt, sondern auch diese in jene stumpfwinkelig eingeschnitten und vor und hinter den Hängebändern verbolzt. Dieser stumpfe Einschnitt, welcher in den Hängebändern um ein Geringes länger ist als die Zangen dick sind, wirkt, wenn die Zangenbolzen angezogen werden, wie ein Keil, indem sich sowohl die oberen als unteren Zangen gegen die Bogenhölzer bewegen und diese fester an einander drücken. Ausser den Zangenhölzern dienen auch die hölzernen Windstreben (i, i) zur Horizontalverbindung der Rippen.

Diese Streben stützen sich auf die Hängebänder und liegen zwischen den Cylinderflächen der unteren Balken, nach deren Krümmung sich auch die ihrige richtet. Die Enden der Bögen sind stumpf in Stein eingelassen und auf gusseiserne Polster oder Stühle gesetzt. Diese Stühle haben, wie aus den Figuren 13 bis 16 hervorgeht, eine solche Einrichtung, dass zu den genannten Enden die Luft Zutritt hat und allenfalls eingedrungenes Regenwasser von ihnen abfliessen kann.

Die Construction der Brückenbahn weicht von der gewöhnlichen Einrichtung bedeutend ab; ihre gefällige und zweckmässige Anordnung springt aber sofort in die Augen. Diese Bahn besteht erstens aus den auf den Schlussbalken (a, a) liegenden und 0,2^m dicken Querswellen (g, g), welche über die äussersten Rippen vorstehen und einfach profilirt sind (Fig. 5 und 11). Zweitens aus den auf die Querswellen parallel gelegten und mit ihnen verbolzten und vernagelten Querhölzern (x, x) der 1,55^m breiten Fusswege. Drittens aus den Langschwelen (q, q), welche auf den Querhölzern senkrecht liegen und das Dielenbeleg der Fusswege tragen. Viertens aus den Strassenträgern (r, r), welche 0,25^m breit, 6^{cm} dick und auf die Querswellen genagelt sind. Fünftens aus einem Bohlenbeleg von 4^{cm} Stärke, das ebenfalls durch Nägel auf den Strassenträgern befestigt ist. Endlich sechstens aus einer eisernen Fahrbahn, welche eine eigenthümliche Einrichtung hat und daher näher beschrieben zu werden verdient.

Die ganze 6,25^m breite Fahrbahn ist nämlich in drei besondere Bahnen (u, u', u) getheilt, von denen die mittlere (u') für zweispännige und die beiden äusseren (u, u) für einspännige Fuhrwerke bestimmt sind. Die Breite jener

beträgt 2,25^m und die Breite dieser 2^m. Zur Mittelbahn gehören die eisernen Geleise s', s' nebst der dazwischen liegenden Bedielung o, u', o, und zu jeder Seitenbahn zwei eiserne Geleise s, s' nebst der Bedielung u zwischen beiden. Jedes Geleise besteht aus fünf eisernen Schienen und ist 0,5^m breit. Diese Schienen sind an ihren Enden z-förmig umgebogen und theils durch eine an die hölzerne Unterlage angeschraubte Querschiene, theils durch Nägel auf dem Bohlenbelege befestigt.

Die äusseren und mittleren Bogenrippen der Brücke sind, wie Fig. 4 zeigt, nicht bloss durch die hölzernen Windstreben i, i, sondern auch durch eiserne Windruthen (z, z) mit einander verbunden. Letztere sind flache Eisen-schienen von 7^{cm} Breite und 1^{cm} Dicke, welche einerseits auf den Pfeilern in den Puncten m, m' und andererseits auf der mittleren Querschwellen in den Puncten d, d' so festgehalten sind, dass sie sich in den Puncten f, f kreuzen und auf diese Weise unveränderliche Dreiecke bilden, welche im Verein mit den Streben i, i dem ganzen Systeme eine grosse Steifigkeit in horizontalem Sinne verleihen. Die Einzelheiten der Construction und die Befestigung der eisernen Windruthen sind aus den Figuren 11, 12 und 17 bis 20 so leicht und vollständig zu entnehmen, dass sie einer weiteren Erläuterung wohl nicht bedürfen.

Schliesslich noch einige Bemerkungen über die Brückengeländer. Die eisernen Geländersäulen sind 3^{cm} dick und stehen längs der Mittellinie der äussersten Langschwelen q gerade über den Querswellen g und x, welche sie durchdringen und an deren untere Flächen sie angeschraubt sind. Zur weiteren Befestigung dient ein mit x verbundener Strebebogen. Die Horizontal-schienen und die dazwischen liegenden Andreaskreuze, eben so stark als die Geländersäulen, sind mit diesen durch Ueberblattung und Nieten verbunden. Alle Geländerstücke wurden wie die Eisentheile der Bogenträger nach vorausgegangener Grundirung mit schwarzer Oelfarbe angestrichen. —

Ueber das neuerdings fast ausschliesslich verwendete graphische Verfahren, die Stabilität hölzerner Bögen zu untersuchen und beziehungsweise dieselben in statisch richtiger Weise anzuordnen, soll hier zunächst hervorgehoben werden, dass sich dasselbe im Wesentlichen dem über die Stabilitätsuntersuchungen bei Brückengewölben angegebenen Verfahren anschliesst.

Ausserdem ist anzufügen, dass die Mittellinie des Bogens (Bogenaxe) so gewählt werden soll, dass sie mit der Drucklinie der Totalbelastung zusammenfällt. Ist der Bogen, dessen Querschnitt durchgehends ein Rechteck von entsprechender Grösse ist, nicht durch fachwerkähnliche Ausfüllungen mit den oberen, meist horizontalen Tramen in Verbindung gebracht, so soll bei derjenigen einseitigen Belastung, welche die Drucklinie am weitesten von der Bogenaxe entfernt, der Angriffspunct der Mittelkraft noch im Centalkerne des meist gefährdeten Querschnitts sich

befinden, dessen Grösse mit Rücksicht auf die stattfindende Druckvertheilung zu berechnen ist.

Die ungünstigste einseitige Belastung wird im Allgemeinen eingetreten sein, wenn die Verkehrslasten bis zur Mitte der Brücke oder nur wenig über die Mitte hinaus vorgerückt sind.

Ist eine fachwerkartige Versteifung des Tramens mit dem Bogen vorhanden, so wird durch eine geeignete Zerlegung der ausserhalb eines durch drei Constructionstheile geführten Schnitts wirkenden Mittelkraft in Seitenkräfte, deren Richtungen mit den Mittellinien der geschnittenen Constructionstheile zusammenfallen, die Grösse des Angriffes gegen jeden derselben und hieraus dessen Querschnitt bestimmt.

Die Construction der Drucklinien bei totaler und einseitiger Belastung des Bogens wird zweckmässig in der Art vorgenommen, dass das Eigengewicht der Brücke auf Grund einer Constructionsskizze annähernd ermittelt oder mit Hilfe vorläufiger Berechnungen festgestellt wird. Im letzteren Falle können zur Berechnung der Dimensionen der Tragrippen von Bogensprengwerkbrücken die nachfolgenden Formeln verwendet werden, welche Ardant nach dem Vorgange von Navier und Persy in seiner von Kaven übersetzten Abhandlung „über die Anordnung der Sprengwerke von grosser Spannweite“ (Hannover 1847) aufgestellt und durch Versuche erprobt hat.

Ist in der einen oder anderen Weise das Eigengewicht annähernd festgestellt, so wird die Eintheilung der Brücke in einzelne Lamellen unter Berücksichtigung der Uebertragung der Lasten von dem Tramen auf den Bogen, welche durch Zangen, Streben, Bänder u. dgl. vermittelt wird, vorgenommen, das Gewicht jeder Lamelle berechnet, die Kräftelinie in einem bestimmten Maassstab aufgetragen, der Horizontalschub im Scheitel wie früher aufgesucht und schliesslich die Drucklinie construirt. In den erwähnten, unten angefügten Formeln, welche im Metermaasse und Kilogrammen ausgedrückt sind, bezeichnet:

x_0 die halbe Sehne und y_0 den Pfeil des gedrückten Bogens;

r den Halbmesser des halben oder gedrückten Kreisbogens;

b die Breite und h die Höhe des rechteckigen Querschnitts eines Bogens;

φ den halben Mittelpunctswinkel des ganzen Bogens, in Bogenmaass ausgedrückt;

ν die Reciproke von φ oder das Verhältniss $1 : \varphi$, und ν , den Cubus von φ ; ferner

f die verticale Senkung des Bogenscheitels bei horizontal gleichmässig vertheilter Belastung;

\hat{P} die ganze horizontal gleichmässig vertheilte Last, welche der Bogen zu tragen hat;

\hat{H} den Horizontalschub, welchen der Bogen am Kämpfer ausübt;

β , die auf die Dauer grösstzulässige Druckspannung,

welche die Flächeneinheit des Bogenquerschnitts erträgt, und

ε , den Elasticitätsmodul des Holzbogens, welcher wegen der Zusammensetzung des Bogens von dem eines geraden Balkens verschieden ist.

Nach den Versuchen von Ardant kann

$\varepsilon = 50\,000^k$ und $\beta = 30^k$ für 1 cm^2 genommen werden.

A. Für halbkreisförmige Bögen, auf denen die Belastung \hat{P} nach der Horizontalen gleichmässig vertheilt ist, hat man:

1) den Horizontalschub am Bogenanfang $\hat{H} = 0,22 \hat{P}$;

2) die Senkung des Bogens im Scheitel $f = 0,084 \frac{\hat{P} r^3}{\varepsilon b h^3}$;

3) die Beziehung zwischen Querschnitt und Belastung:

$$b h^2 = \frac{\hat{P}}{\beta} (0,68 h + 0,25 r).$$

B. Für gedrückte Bögen, über welche die Last horizontal gleich vertheilt ist, hat man:

1) den Horizontalschub am Bogenanfang $\hat{H} = \frac{1}{2} \nu \hat{P}$, und

2) die Beziehung zwischen Querschnitt und Belastung:

$$b h^2 = \frac{\hat{P}}{2 \beta} (\nu h + \frac{1}{4} \nu r).$$

Für die gebräuchlichsten Verhältnisse von $x_0 : y_0$ folgen hier die berechneten Werthe von ν und ν .

$\frac{x_0}{y_0}$	2	3	4	5	10	15	20
ν	1,080	1,550	2,040	2,660	5,263	7,630	9,520
ν	0,792	0,263	0,117	0,053	0,008	0,002	0,001.

Folgendes Beispiel wird die richtige Anwendung vorstehender Formeln erleichtern:

Eine hölzerne Bogensprengwerkbrücke von der auf Blatt 16 dargestellten Construction habe Oeffnungen von 21^m Spannweite und $3,5^m$ Pfeilhöhe. Jedes Brückenfeld werde von sieben gleichweit entfernten Bogenrippen getragen und wiege mit Einschluss einer grössten zufälligen Belastung von 300^k p. cm^2 im Ganzen $140\,000^k$. Wie gross ist der Querschnitt der Bögen zu machen, und welches wird bei der grössten Belastung der Horizontalschub eines Bogens sein, wenn $\beta = 30^k \text{ p. cm}^2$ angenommen wird?

Hier ist $x_0 = 10,5^m$ und $y_0 = 3,5^m$; folglich $\frac{x_0}{y_0} = 3$ und daher $\nu = 1,55$ und $\nu = 0,263$. Ferner ist $\hat{P} =$ dem siebenten Theil von $140\,000^k = 20\,000^k$, und $r = \frac{x_0^2 + y_0^2}{2 y_0} = 17,47^m$; somit

1) der Horizontalschub eines Bogens $\hat{H} = \frac{1}{2} \nu \hat{P} = 15\,500^k$ und der aller 7 Bögen $= 108\,500^k$.

Wird von den zwei Dimensionen b und h des Querschnitts die eine $b = 0,25^m$ angenommen, so erhält man nach der Formel B, 2:

2) die Höhe des Querschnitts $h = 0,5^m$.

Demnach würde der Bogen aus zwei Lagen, wovon jede $0,25 \cdot 0,25 \text{ cm}^2 = 6,25 \text{ cm}^2$ Querschnitt hat, zusammengesetzt sein.