

# Die Beschädigungen der Mönchensteiner Brücke beim Hochwasser vom Jahre 1881

Autor(en): **Ritter, W.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **21/22 (1893)**

Heft 25

PDF erstellt am: **26.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-18144>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

INHALT: Die Beschädigungen der Mönchensteiner Brücke beim Hochwasser vom Jahre 1881. (Schluss.) — Miscellanea: Ein neues elektrisches Schweissverfahren. Ein neues elektrisches Tramway-System mit unterirdischer Stromzuführung. Neues Post- und Telegraphen-Gebäude in Zürich. Die Sektionen Bern und Vierwaldstätter des Schweiz.

Ingenieur- und Architekten-Vereins. Elektrische Bahn mit Luftleitung in Brüssel. Bayerisches Nationalmuseum in München. — Literatur: Der tunnelartige Kanalbau in Hannover 1892. Leitfaden zum Berechnen und Entwerfen von Lüftungs- und Heizungs-Anlagen.

### Die Beschädigungen der Mönchensteiner Brücke beim Hochwasser vom Jahre 1881.

Von Professor W. Ritter.

(Schluss.)

#### 3. Entfernung der Streben der Endrahmen.

Wir haben jetzt zu untersuchen, wie sich die Form des Fachwerks verändert, wenn die Strebenkreuze in den Endrahmen entfernt werden.

Lässt man die Endstreben weg, so ist die Brücke kein starres, räumliches Fachwerk mehr. Wären die Knotenpunkte gelenkförmig, so müsste das Bauwerk einstürzen. Nur der starren Vernietung der Knotenpunkte ist es zu danken, wenn es noch stehen bleibt. Dafür aber erleiden zahlreiche Stäbe erhebliche Verbiegungen.

Entfernt man die beiden Strebenkreuze, so muss man, damit das Gleichgewicht nicht gestört wird, an deren Stelle äussere Kräfte treten lassen, die denen gleich sind, die sich bei obiger Rechnung für die Streben ergeben haben.

heitsmoment des Pfostenquerschnittes sei  $J$ , das des oberen Querriegels  $J_o$  und das des Querträgers  $J_u$ . Die Biegemomente, die an den Enden dieser Stäbe wirken, seien  $M_o$  und  $M_u$ .

Um die Formänderung des Querrahmens zu finden, wenden wir folgende, allgemein gültige Beziehung an:

Der Stab  $AB$  (Fig. 8) werde am oberen Ende von dem Momente  $M$ , am unteren von dem Momente  $M'$  in Anspruch genommen; seine Länge sei  $s$ , das Trägheitsmoment seines Querschnittes  $J$ . Dann ist der Winkel, um den die Achse des Stabes in  $A$  von der Sehne  $AB$  abweicht,\*)

$$\tau = \frac{2 M - M'}{6 E J} s.$$

Hiernach ergeben sich für unseren Fall und in Bezug auf Fig. 7 folgende Gleichungen:

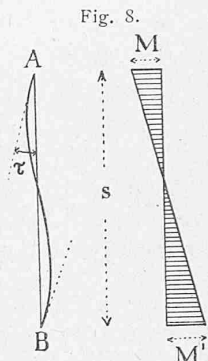
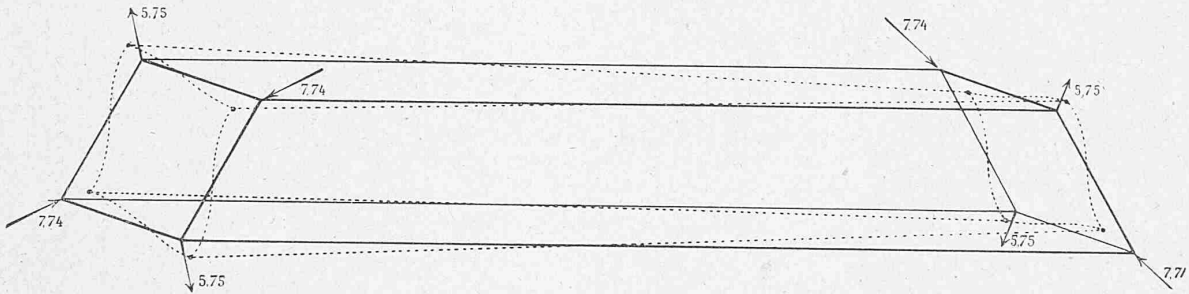


Fig. 6.



Unter der Wirkung dieser Kräfte nimmt das Fachwerk die in beistehender Figur 6 punktiert gezeichnete Form an. Die ursprünglich rechteckigen Querschnitte der Brücke gehen in Parallelogramme über, wobei die vier Seiten sich S-förmig verbiegen. Sämtliche vier Wände werden windschief.

Wir denken uns zunächst, die Brücke besitze an jedem Knotenpunkte einen starken Pfosten, und diese Pfosten bilden zusammen mit den Querträgern und oberen Querriegeln eine Reihe von steifen Querrahmen.

Nachstehende Figuren stellen einen dieser Querrahmen dar. Links ist die Form gezeichnet, in die der Rahmen

$$\left. \begin{aligned} \tau_o &= \frac{2 M_o - M_u}{6 E J} b & \tau_u &= \frac{2 M_u - M_o}{6 E J} b \\ \tau_o' &= \frac{M_o}{6 E J_o} b & \tau_u' &= \frac{M_u}{6 E J_u} b \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Bei der Formänderung des Querrahmens vollziehen die vier Ecken kleine Drehungen nach rechts; der Drehungswinkel der oberen Ecken sei  $\delta_o$ , der der untern  $\delta_u$ . (S. Fig. 7.) Die lotrechte Verschiebung der rechten Ecken gegenüber der linken sei  $v$ , die wagrechte Verschiebung der oberen Ecken gegenüber den untern  $w$ . Dann lässt sich schreiben:

$$\left. \begin{aligned} v &= (\delta_o + \tau_o') b & v &= (\delta_u + \tau_u') b \\ w &= (\tau_o - \delta_o) b & w &= (\tau_u - \delta_u) b \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Die Verschiebungen  $v$  und  $w$  können nur dadurch entstehen, dass die vier Wände windschief werden und sich ausserdem in ihren eigenen Ebenen je um ihren Mittelpunkt drehen. Da hierbei die Gurtungen, weil sie je zwei Wänden gemeinschaftlich angehören, sich in ihrer Längsrichtung um dieselbe Strecke bewegen müssen, so folgt, dass sich verhält

$$v : w = b : b \quad (3)$$

Führt man die Werte  $\tau$  aus den Gleichungen (1) in die Gleichungen (2) ein und eliminiert  $\delta_o$  und  $\delta_u$ , so folgt

$$M_o : M_u = (b J + 3 b J_u) J_o : (b J + 3 b J_o) J_u \quad (4)$$

Ferner ergibt sich unter Benützung von (3)

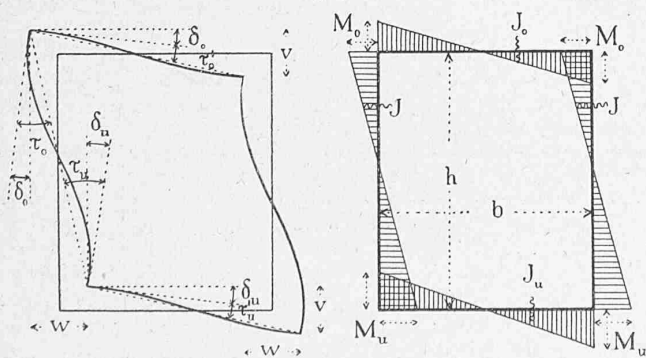
$$v = \frac{b}{12 E} \left( \frac{M_o b}{J_o} + \frac{2 M_o h}{J} - \frac{M_u h}{J} \right) \quad (5)$$

Die Verbiegungen der Querriegel und Querträger entstehen dadurch, dass in deren Mitten schiefe gerichtete Kräfte angreifen. Die lotrechten Komponenten dieser Kräfte seien  $Q_o$  und  $Q_u$ ; dann ist (Fig. 9)

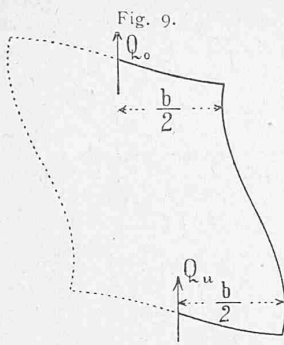
$$M_o = \frac{1}{2} Q_o b \text{ und } M_u = \frac{1}{2} Q_u b \quad (6)$$

\*) Vergl. des Verf. Anwendungen der Graph. Statik, II. Teil, S. 180—181.

Fig. 7.



übergeht; rechts sind die Biegemomente dargestellt, die von den vier Stäben des Rahmens aufgenommen werden. Wir denken uns, die beiden Pfosten seien gleich stark, die beiden wagrechten Stäbe dagegen ungleich stark. Das Träg-



Setzt man  $Q_o + Q_u = Q$  und schreibt zur Abkürzung  $Q_o = \alpha Q$  und  $Q_u = (1-\alpha) Q$ ,  $M_o = 1/2 \alpha Q b$  und  $M_u = 1/2 (1-\alpha) Q b$  (7)

so gehen die Gleichungen (4) und (5) über in

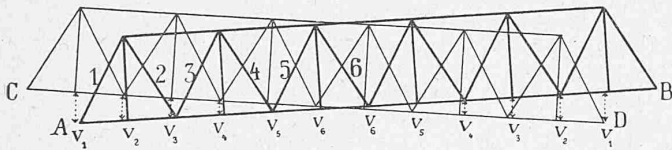
$$\frac{\alpha}{1-\alpha} = \frac{(bJ + 3hJ_u) J_o}{(bJ + 3hJ_o) J_u}$$

$$\alpha = \frac{(bJ + 3hJ_u) J_o}{bJ(J_o + J_u) + 6hJ_oJ_u} \quad (4a)$$

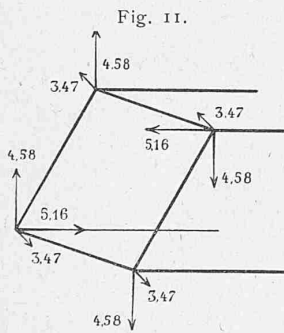
$$v = \frac{b^2 Q}{24E} \left( \frac{\alpha b}{J_o} + \frac{3\alpha h}{J} - \frac{h}{J} \right) \quad (5a)$$

Die vordere Tragwand senkt sich links und hebt sich rechts; die hintere Tragwand bewegt sich in entgegengesetzter Richtung. Figur 10 zeigt die Ansicht der beiden

Fig. 10.



Tragwände nach der Formänderung. Wir bezeichnen die lotrechten Verschiebungen der einzelnen Knotenpunkte mit  $v_1$  bis  $v_6$ . Sind diese Verschiebungen bekannt, so lassen sich mit Hilfe der Gleichungen (4a) und (5a) die Kräfte  $Q$  berechnen.



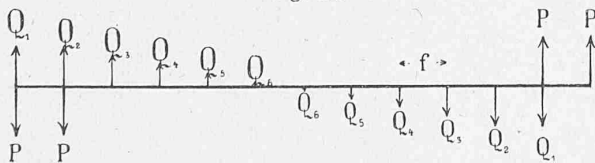
Zerlegt man nun die Kräfte der Figur 6 parallel zu den Hauptachsen der Brücke in je drei Einzelkräfte, so bekommt man die in Figur 11 eingeschriebenen Werte. Die lotrechten Komponenten müssen mit den Kräften  $Q$  im Gleichgewichte stehen. Diese lotrechten Komponenten ergeben sich  $P = 4,58 t$ .

Figur 12 zeigt, welche Kräfte nun an der vorderen Tragwand angreifen. Das Gleichgewicht verlangt, dass

$$Q_1 \cdot 11f + Q_2 \cdot 9f + Q_3 \cdot 7f + Q_4 \cdot 5f + Q_5 \cdot 3f + Q_6 \cdot f = P(12f + 10f) \text{ oder für } P = 4,58$$

$$11 Q_1 + 9 Q_2 + 7 Q_3 + 5 Q_4 + 3 Q_5 + Q_6 = 100,8 t. \quad (8)$$

Fig. 12.



Setzen wir schliesslich noch, was nahezu der Fall ist, voraus, dass die Gurtungen bei der Formänderung geradlinig bleiben, oder richtiger gesagt, dass die  $v$  der Entfernung vom Mittelschnitte proportional seien, so ist unsere Aufgabe im Prinzip gelöst.

Freilich besitzt die Brücke keine starken Pfosten, wie wir bei der Betrachtung der Querverbiegung angenommen haben. Auf der einen Seite fehlt der Pfosten gänzlich, auf der andern besteht er aus einem sehr schlanken Hängeisen. An die Stelle der Pfosten treten daher die *Streben* der Brücke. Um deren schiefe Richtung zu berücksichtigen, müssen wir deren Trägheitsmomente mit  $\sin^3 \alpha$  multiplicieren, wo  $\alpha$  den Neigungswinkel der Strebe bedeutet. Ferner müssen wir, da zu jedem Querrahmen vier von einander verschie-

dene Streben gehören, aus den vier Trägheitsmomenten das Mittel nehmen.

Auch die schiefe Richtung des ersten und letzten Querriegels ist in gleicher Weise zu berücksichtigen.

Die Werte  $J$  ergeben sich hiernach wie folgt:

Strebe:	1	2	3	4	5	6
Trägheitsmoment $J'$	7089	4154	3261	470	1118	468 $cm^4$
$J = J' \sin^3 \alpha$	4684	2745	2154	310	739	309 $cm^4$
Querrahmen:	1	2	3	4	5	6
Mittleres $J$	3028	3082	1841	878	524	416 $cm^4$

Es ist ferner das Trägheitsmoment eines normalen oberen Querriegels

$$J_o = 6977 \text{ cm}^4$$

und das des Querträgers

$$J_u = 132902 \text{ cm}^4.$$

Die Breite der Brücke ist

$$b = 470 \text{ cm.}$$

Die Höhe setzen wir, was im vorliegenden Falle richtiger ist, gleich der Entfernung der Schwerlinien von Querriegel und Querträger, also

$$h = 560 \text{ cm.}$$

Auf Grund dieser Zahlenwerte und unter Benützung der Gleichungen (4a) und (5a) findet man nun für  $E = 2000 t : cm^2$  folgendes:

Querrahmen:	1	2	3	4	5	6
$\alpha =$	0,407	0,479	0,482	0,491	0,495	0,496
$Q : v =$	0,743	1,041	0,648	0,325	0,198	0,157

Bezeichnet man den Höhenunterschied zwischen den Punkten  $A$  und  $C$  mit  $v_a$ , so ist (Fig. 10), geradlinige Gurtungen vorausgesetzt,

$$v_1 = 11/12 v_a, v_2 = 9/12 v_a, v_3 = 7/12 v_a \dots v_6 = 1/12 v_a.$$

Daraus folgt

- für den 1. Rahmen  $Q_1 : v_a = 11/12 \cdot 0,743 = 0,681$
- " " 2. "  $Q_2 : v_a = 9/12 \cdot 1,041 = 0,781$
- " " 3. "  $Q_3 : v_a = 7/12 \cdot 0,648 = 0,378$
- " " 4. "  $Q_4 : v_a = 5/12 \cdot 0,325 = 0,135$
- " " 5. "  $Q_5 : v_a = 3/12 \cdot 0,198 = 0,049$
- " " 6. "  $Q_6 : v_a = 1/12 \cdot 0,157 = 0,013.$

Setzt man diese Werte in Gleichung (8) ein, so bekommt man

$$18,001 v_a = 100,8$$

$$v_a = 5,60 \text{ cm.}$$

Dieser Wert bedeutet den Höhenunterschied zwischen  $A$  und  $C$  unter der Voraussetzung, dass der Mittelschnitt der Brücke seine Stellung beibehalte. (Vgl. Fig. 10.) Um den Zustand vom Jahre 1881 zu erhalten, müssen wir jedoch die Brücke um ihre Längsachse drehen, bis die Punkte  $B$  und  $D$  auf gleiche Höhe gelangen. Dadurch verdoppelt sich der Höhenunterschied zwischen  $A$  und  $C$ ; er wird gleich **11,2 cm**. Fügen wir noch den früher (S. 151) gefundenen Wert von 1,7 cm hinzu, so ergibt sich die Senkung des Auflagers  $A$  gleich **12,9 cm**.

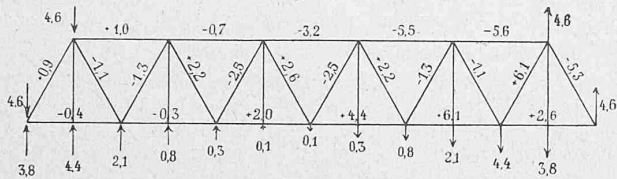
Mit Hilfe des Wertes  $v_a$  findet man sodann leicht die Kräfte  $Q$  und mit Hilfe der Werte  $\alpha$  und der Gleichungen (7) die Momente  $M_o$  und  $M_u$ . In nachfolgender Tabelle sind diese Werte zusammengestellt.

Rahmen:	1	2	3	4	5	6
$Q : v_a =$	0,681	0,781	0,378	0,135	0,049	0,013
$Q =$	3,81	4,37	2,12	0,76	0,27	0,07 t
$\alpha =$	0,407	0,479	0,482	0,491	0,495	0,496
$M_o =$	365	491	240	88	31	8 $cmt$
$M_u =$	531	535	257	91	32	8 $cmt$

Aus den Kräften  $Q$  leiten wir ferner ähnlich wie früher die Kräfte ab, die in den einzelnen Stäben der Tragwand eintreten. Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind für die vordere Tragwand auf Zehnteltonnen abgerundet in nachfolgender Figur eingeschrieben.

Die nämliche Arbeit ist für die beiden wagrechten Wände durchzuführen. Die angreifenden Kräfte sind teils

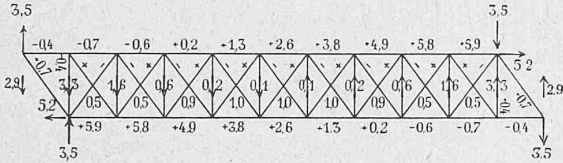
Fig. 13.



die in der Figur 11 eingeschriebenen wagrechten Kräfte, teils Kräfte  $Q'$ , die man erhält, wenn man die in obiger Tabelle enthaltenen Kräfte  $Q$  mit  $b : b$  (470 : 620) multipliziert.

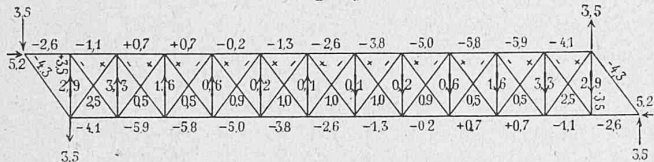
Für die obere wagrechte Wand findet man:

Fig. 14.



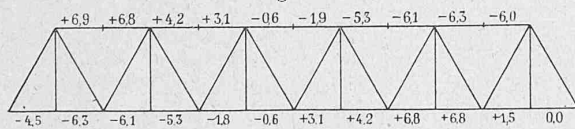
Für die untere wagrechte Wand:

Fig. 15.



Die Gurtungen gehören je zwei Wänden, einer lotrechten und einer wagrechten, an; man hat daher für die Gurtungen je zwei von den in obigen Figuren eingeschriebenen Kräften zu addieren. Diese Addition ergibt für die vordere Wand folgende Gurtungskräfte:

Fig. 16.

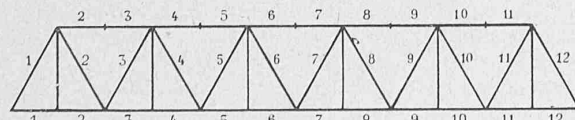


Die Zug- und Druckspannungen, die sich aus diesen Kräften ergeben, bewegen sich ebenfalls innerhalb mässiger Grenzen.

4. Zusammenstellung und Beurteilung der Ergebnisse.

Die unter 1., 2. und 3. gefundenen Zug- und Druckkräfte treten in den verschiedenen Stäben gleichzeitig auf; wir müssen sie somit addieren. Dabei heben sich vielfach die Einzelwirkungen teilweise auf. Neben die Gesamtkräfte setzen wir zugleich die jeweiligen Querschnittsflächen und berechnen, indem wir jene durch diese dividieren, die Beanspruchungen. Zugkräfte sind mit dem Plus-Zeichen, Druckkräfte mit dem Minus-Zeichen versehen. (Siehe die Tabelle in folgender Spalte.)

Fig. 17.



Die für die Gurtungen und Streben berechneten Werte gelten zunächst für die vordere, flussaufwärts liegende Tragwand. Sie beziehen sich aber ebensowohl auf die hintere Wand; nur hat man hierbei die linke Seite mit der rechten zu vertauschen. Die übrigen Teile, Querträger, Querriegel und Windstreben, sind in der rechten Hälfte der Brücke

gleich beansprucht wie in der linken. Die Spannungen der oberen Windkreuze erhält man aus denen der unteren, wenn man die erste Reihe weglässt und die Vorzeichen wechselt.

Weit beträchtlicher als diese Zug- und Druckspannungen sind die Biegungsspannungen, die sich aus den Momenten  $M_o$  und  $M_u$  (S. 163 unten) ergeben.

Zug- und Druckspannungen.

Stäbe	1			2			3							
	Eigen-gewicht	Endrahmen versteift	Endrahmen unversteift	Gesamtkraft	Querschnitts-fläche	Spannung	Eigen-gewicht	Endrahmen versteift	Endrahmen unversteift	Gesamtkraft	Querschnitts-fläche	Spannung		
Obere Gurtung	2	-15,8	+ 0,9	+6,9	- 8,0	106	-0,08	2	-15,8	+ 4,3	+6,8	-13,3	106	-0,13
	3	-15,8	- 4,3	+6,8	-13,3	162	-0,14	4	-25,3	- 0,9	+4,2	-22,0	162	-0,14
	4	-25,3	- 0,9	+4,2	-22,0	182	-0,17	5	-25,3	- 6,0	+3,1	-28,2	182	-0,17
	5	-25,3	- 6,0	+3,1	-28,2	182	-0,21	6	-28,5	- 2,6	-0,6	-31,7	182	-0,21
	6	-28,5	- 2,6	-0,6	-31,7	162	-0,22	7	-28,5	- 7,8	-1,9	-38,2	162	-0,22
	7	-28,5	- 7,8	-1,9	-38,2	162	-0,25	8	-25,3	- 4,3	-5,3	-34,9	162	-0,25
	8	-25,3	- 4,3	-5,3	-34,9	162	-0,27	9	-25,3	- 9,5	-6,1	-40,9	162	-0,27
	9	-25,3	- 9,5	-6,1	-40,9	106	-0,29	10	-15,8	- 6,0	-6,3	-28,1	106	-0,29
	10	-15,8	- 6,0	-6,3	-28,1	106	-0,29	11	-15,8	- 8,6	-6,0	-30,4	106	-0,29
	11	-15,8	- 8,6	-6,0	-30,4	106	-0,29	1	+ 8,7	- 1,7	-4,5	+ 2,5	106	+0,02
	Untere Gurtung	2	+ 8,7	- 1,7	-4,5	+ 2,5	106	+0,02	2	+ 8,7	+ 3,5	-6,3	+ 5,9	106
3		+ 8,7	+ 3,5	-6,3	+ 5,9	138	+0,11	3	+21,4	0,0	-6,1	+15,3	138	+0,11
4		+21,4	0,0	-6,1	+15,3	138	+0,15	4	+21,4	+ 5,2	-5,3	+21,3	178	+0,15
5		+21,4	+ 5,2	-5,3	+21,3	178	+0,19	5	+27,7	+ 1,7	-1,8	+27,6	178	+0,19
6		+27,7	+ 1,7	-1,8	+27,6	178	+0,23	6	+27,7	+ 6,9	-0,6	+34,0	178	+0,23
7		+27,7	+ 6,9	-0,6	+34,0	138	+0,24	7	+27,7	+ 3,5	+3,1	+34,3	138	+0,24
8		+27,7	+ 3,5	+3,1	+34,3	138	+0,28	8	+27,7	+ 8,6	+4,2	+40,5	138	+0,28
9		+27,7	+ 8,6	+4,2	+40,5	138	+0,31	9	+21,4	+ 5,2	+6,8	+33,4	138	+0,31
10		+21,4	+ 5,2	+6,8	+33,4	138	+0,31	10	+21,4	+10,3	+6,8	+38,5	138	+0,31
11		+21,4	+10,3	+6,8	+38,5	106	+0,16	11	+ 8,7	+ 6,9	+1,5	+17,1	106	+0,16
12		+ 8,7	+ 6,9	+1,5	+17,1	106	+0,16	12	+ 8,7	+ 9,5	0,0	+18,2	106	+0,17
Streben		1	-17,7	+14,0	+0,9	- 2,8	115	-0,02	1	-17,7	-14,0	-5,3	-37,0	115
	2	+14,4	- 8,8	-1,1	+ 4,5	94	+0,05	2	+14,4	- 8,8	-1,1	+ 4,5	94	+0,05
	3	-11,3	+ 8,8	-1,3	- 3,8	88	-0,04	3	-11,3	+ 8,8	-1,3	- 3,8	88	-0,04
	4	+ 8,1	- 8,8	+2,2	+ 1,5	59	+0,03	4	+ 8,1	- 8,8	+2,2	+ 1,5	59	+0,03
	5	- 4,8	+ 8,8	-2,5	+ 1,5	52	+0,03	5	- 4,8	+ 8,8	-2,5	+ 1,5	52	+0,03
	6	+ 1,6	- 8,8	+2,6	- 4,6	33	-0,14	6	+ 1,6	- 8,8	+2,6	- 4,6	33	-0,14
	7	+ 1,6	+ 8,8	-2,5	+ 7,9	33	+0,24	7	+ 1,6	+ 8,8	-2,5	+ 7,9	33	+0,24
	8	- 4,8	- 8,8	+2,2	-11,4	52	-0,22	8	- 4,8	- 8,8	+2,2	-11,4	52	-0,22
	9	+ 8,1	+ 8,8	-1,3	+15,6	59	+0,26	9	+ 8,1	+ 8,8	-1,3	+15,6	59	+0,26
	10	-11,3	- 8,8	+1,1	-21,2	88	-0,24	10	-11,3	- 8,8	+1,1	-21,2	88	-0,24
	11	+14,4	+ 8,8	+6,1	+29,3	94	+0,31	11	+14,4	+ 8,8	+6,1	+29,3	94	+0,31
	12	-17,7	-14,0	-5,3	-37,0	115	-0,32	12	-17,7	-14,0	-5,3	-37,0	115	-0,32
Untere Wind-strebenkreuze	1	-	+ 4,3	+2,5	+ 1,8	15	+0,12	1	-	+ 4,3	-4,3	0,0	15	0,00
	2	-	+ 4,3	+0,5	+ 3,8	15	+0,25	2	-	+ 4,3	+0,5	+ 3,8	15	+0,25
	3	-	+ 4,3	+0,5	+ 4,8	15	+0,32	3	-	+ 4,3	+0,5	+ 4,8	15	+0,32
	4	-	+ 4,3	+0,9	+ 5,2	15	+0,35	4	-	+ 4,3	+0,9	+ 5,2	15	+0,35
	5	-	+ 4,3	+1,0	+ 5,3	15	+0,35	5	-	+ 4,3	+1,0	+ 5,3	15	+0,35
	6	-	+ 4,3	+1,0	+ 5,3	15	+0,35	6	-	+ 4,3	+1,0	+ 5,3	15	+0,35
Endwindstrebe	-	+ 4,3	-4,3	0,0	15	0,00	Endwindstrebe	-	+ 4,3	-4,3	0,0	15	0,00	
Schiefer Querriegel	-	- 4,3	+0,7	- 3,6	30	-0,12	Schiefer Querriegel	-	- 4,3	+0,7	- 3,6	30	-0,12	
Erster normaler Riegel	-	+ 3,5	-0,4	+ 3,1	30	+0,10	Erster normaler Riegel	-	+ 3,5	-0,4	+ 3,1	30	+0,10	
Erster Querträger	-	- 3,5	+3,5	0,0	120	0,00	Erster Querträger	-	- 3,5	+3,5	0,0	120	0,00	

Um diese Biegungsspannungen zu erhalten, dividiert man bei den Querriegeln und Querträgern das Biegemoment einfach durch das Widerstandsmoment des Querschnitts. Bei den Streben hat man dagegen die Biegemomente erst durch  $\sin \alpha$  zu dividieren und hierauf proportional den Trägheitsmomenten auf je vier zusammengehörende Streben zu verteilen. Auch beim ersten Querriegel ist der schiefe Richtung wegen das Moment durch den Sinus seines Neigungswinkels zu dividieren.

Diese Rechnungen führen zu folgenden Ergebnissen.

**Biegungsspannungen.**

**Obere Querriegel.**

( $W = 399 \text{ cm}^3$ )

Rahmen:	1	2	3	4	5	6
Moment . .	455	491	240	88	31	.8 <i>cmt</i>
Spannung . .	1,14	1,23	0,60	0,22	0,08	0,02 <i>t : cm<sup>2</sup></i>

**Querträger.**

( $W = 3127 \text{ cm}^3$ )

Rahmen:	1	2	3	4	5	6
Moment . .	531	535	257	91	32	.8 <i>cmt</i>
Spannung . .	0,17	0,17	0,08	0,03	0,01	0,00 <i>t : cm<sup>2</sup></i>

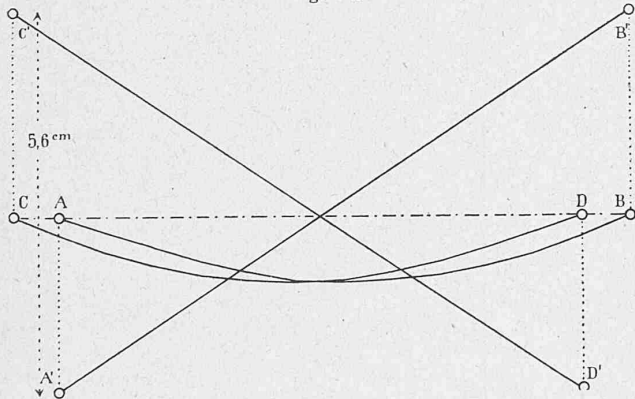
**Streben der vorderen Tragwand.**

Strebe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Moment oben	855	501	250	36	17	7	21	51	46	320	380	647 <i>cmt</i>
" unten	942	439	344	22	53	8	7	88	38	430	545	0 "
$W =$	330	231	198	55	106	55	55	106	55	198	231	330 <i>cm<sup>3</sup></i>
Spannung oben	2,59	2,17	1,26	0,66	0,16	0,13	0,38	0,48	0,84	1,62	1,64	1,96 <i>t : cm<sup>2</sup></i>
" unten	2,86	1,90	1,74	0,40	0,50	0,15	0,13	0,83	0,69	2,17	2,36	0,00 "

Auf Grund der berechneten Zug- und Druckspannungen lässt sich nun zunächst die oben von uns gemachte Annahme, die  $v$  der Figur 10 seien der Entfernung von der Brückenmitte proportional, auf ihre Zulässigkeit prüfen.

Berechnet man aus den Spannungen die Durchbiegungen der lotrechten Tragwand und trägt diese zeichnerisch auf, so gelangt man auf die Kurve  $AB$  (Fig. 18). Der Deutlich-

Fig. 18.



keit wegen ist die Durchbiegung verzerrt gezeichnet; die Längen sind 1 : 500, die Höhen in natürlicher Grösse aufgetragen. Kehrt man die Kurve um und trägt sie von  $C$  nach  $D$  nochmals auf, so findet man die Höhenunterschiede je zweier einander gegenüberliegender Punkte. Diese Höhenunterschiede sind geringfügig; der grösste liegt bei  $A$  bzw.  $D$  und beträgt bloss 0,3 *cm*. Die Kurven  $A'B'$  und  $C'D'$  zeigen die Lage, die die Gurtungen annehmen, wenn man sie um die Strecken  $v$  von einander entfernt. Man sieht, dass gegenüber dieser Bewegung die Verbiegung der Gurtungen wenig in Betracht fällt. Will man dennoch darauf Rücksicht nehmen, so braucht man bloss die Strecken  $v$  je um den entsprechenden Höhenunterschied zu verringern und die Rechnung auf Grund dieser korrigierten  $v$  nochmals durchzuführen. Wir verzichten indessen hierauf; denn die Schlussresultate würden sich nur wenig ändern. Jedenfalls verschwindet der aus unserer Annahme entspringende Fehler gegenüber anderen Ungenauigkeiten, die der Rechnung anhaften.

Die Zusammenstellung der berechneten Spannungen lässt folgendes erkennen:

Die Zug- und Druckspannungen in den Gurtungen und Streben der vorderen Wand sind links, am freischwebenden

Ende, am kleinsten und werden nach rechts hin fast stetig grösser. Die Spannung steigt in der oberen Gurtung bis auf 0,29, in der untern bis auf 0,28, in den Streben bis auf 0,32 *t : cm<sup>2</sup>*. Dasselbe gilt von der hinteren Wand, wenn man links mit rechts vertauscht. Diese Spannungen sind als ganz ungefährliche zu bezeichnen. Sie betragen rund das Doppelte von dem, was das Eigengewicht erzeugt.

In den Windstreben nimmt die Spannung nach der Mitte der Oeffnung hin zu, von da an wieder ab; sie ist in zwei übereinander liegenden Kreuzen stets gleich gross. Die eine Strebe ist stets gezogen, die andere gedrückt. Die grösste Spannung beträgt 0,35 *t : cm<sup>2</sup>*. Eine Gefahr kann aus dieser Spannung nicht abgeleitet werden, wenn sie auch, als Druckspannung betrachtet, im Hinblick auf die grosse freie Länge der Windstreben als hoch bezeichnet werden muss.

Ein ganz anderes Bild bieten die berechneten Biegungsspannungen. Sie steigen in den Querriegeln bis auf 1,23, in den Streben gar bis auf 2,86 *t : cm<sup>2</sup>*. Nimmt man noch die normale Spannung hinzu, so ergibt sich beispielsweise

für die Strebe 1	{ oben 2,59 + 0,02 = 2,61
	{ unten 2,86 + 0,02 = 2,88
" " " 2	{ oben 2,17 + 0,05 = 2,22
	{ unten 1,90 + 0,05 = 1,95
" " " 10	{ oben 1,62 + 0,24 = 1,86
	{ unten 2,17 + 0,24 = 2,41
" " " 11	{ oben 1,64 + 0,31 = 1,95
	{ unten 2,36 + 0,31 = 2,67
" " " 12	{ oben 1,96 + 0,32 = 2,28

Das sind Spannungen, die sämtlich über der Elasticitätsgrenze liegen und sich zum Teil bereits der Bruchgrenze nähern.

Die für die Querriegel gefundenen Zahlen liegen zwar noch innerhalb der Elasticitätsgrenze, erwecken jedoch ebenfalls Bedenken, hauptsächlich der Vernietung wegen.

Verteilt man das Biegemoment über die Niete, mit denen die Querriegel an ihren Enden an den Gurtungen befestigt waren, so findet man Zug- und Scherspannungen bis auf 1,5 *t* und für die Anschlussbleche Stauchdrücke bis auf ungefähr 4 *t : cm<sup>2</sup>*.

Daraus kann man schliessen, dass die Befestigungsniete, wenn auch nicht brechen, so doch sich lockern mussten.

Eine weitere Gefahr ergibt sich, wenn man bedenkt, dass die Streben der Brücke an ihrem oberen Ende ausschliesslich am Stehblech der Gurtung befestigt waren. Durch die auftretenden Biegemomente musste das Stehblech notwendig verbogen werden. Eine rechnerische Verfolgung dieses Vorganges ist kaum durchführbar, da das Stehblech sowohl in der Längsrichtung als in der Querichtung verbogen wurde. Doch ist nicht daran zu zweifeln, dass auch an diesen Stellen in der Nähe der Auflager ganz beträchtliche Spannungen, vielleicht auch Risse, entstanden sind. Für die unteren Knotenpunkte gestaltet sich die Sache etwas günstiger, weil da die Bridel'schen Verstärkungsbleche mittragen halfen; doch ist anzunehmen, dass dafür einzelne dieser Bleche verbogen wurden.

Auf die abgeleiteten Zahlenwerte darf man freilich nicht allzu viel Gewicht legen; sie sind aus verschiedenen Gründen bloss als angenäherte zu betrachten.

Zunächst haben wir bei deren Ableitung ausser acht gelassen, dass die Gurtungen sich zwischen je zwei Strebenknotenpunkten um ihre Längsachse verdrehen, wodurch die Querträger und Querriegel stellenweise entlastet werden. Ferner ist die Voraussetzung steifer Querrahmen nur unvollkommen erfüllt, da steife Pfosten fehlen und an ihre Stelle die schief laufenden Streben treten. Es dürfte schwerlich gelingen, diese Nebenumstände in die Rechnung einzuführen.

Dann ist aber namentlich darauf hinzuweisen, dass die ganze Rechnung auf der Annahme fusst, die elastischen Formänderungen seien den Spannungen proportional. Diese Annahme ist bekanntlich nur so lange zulässig, als die Spannungen unterhalb der Elasticitätsgrenze liegen. Diese Grenze wird jedoch, wie wir gesehen haben, in der Nähe der Auflager mehrfach überschritten.

Wie hoch sich infolgedessen die Spannungen stellen, lässt sich durch die Rechnung nicht mehr untersuchen. Nur im allgemeinen kann man annehmen, dass hierbei die am stärksten beanspruchten Teile etwas entlastet werden und dafür die Spannungen in den weniger beanspruchten Gliedern zunehmen.

Sodann ist unbestreitbar, dass die Einsenkung des frei schwebenden Auflagerpunktes infolge der Ueberschreitung der Elasticitätsgrenze grösser ausfallen musste, als unsere Rechnung ergeben hat. Sobald diese Grenze überschritten ist, nehmen die Formänderungen weit rascher zu als vorher. Nach unseren Rechnungen hat sich die Senkung gleich 12,9 cm ergeben. Um wieviel diese Zahl zu erhöhen ist, lässt sich durch die Rechnung nicht feststellen. Doch ist mit Sicherheit anzunehmen, dass, wenn die Rechnung Spannungen von 2 t und mehr ergibt, die wirkliche Senkung weit über das berechnete Mass hinausgehen muss. —

Vergleichen wir nun zum Schluss diese Ergebnisse mit den gemachten Beobachtungen.

Der Bericht des Herrn Ingenieur Bieri enthält über die Beschädigungen vom Sept. 1881 folgende Angaben:\*)

Die Strebe 10 hatte in beiden Tragwänden an ihrem unteren Ende einen Anriss im Querbleche erhalten. (Vergl. Schweiz. Bauztg. 1891, Beilage, S. 5.)

An den nämlichen Punkten waren die (Bridel'schen) Horizontalbleche ausgebogen.

An Nietverbindungen wurden als lose und beschädigte folgende konstatiert:

Rechte Tragwand:			
Hängeisen Nr.	1/2 oben	6 Nieten	
"	11/12 "	6 "	
Linke Tragwand:			
Hängeisen Nr.	1/2 oben	6 Nieten	
"	9/10 "	3 "	
"	11/12 "	3 "	
Querriegel 1 (oder 2)		2 "	
Streben 5 und 6		6 "	
" 7 "	8 "	8 "	

Vergleicht man diese Angaben mit den von uns für dieselben Stellen berechneten Spannungen, so findet man eine unverkennbare Uebereinstimmung. Für die Strebe 10, die einen Anriss zeigte, hat die Rechnung eine Spannung von 2,42 t ergeben, nahezu die höchste Zahl unter allen. Für die oberen Enden der genannten Hängeisen, mit andern Worten für die Befestigungsstellen der Querriegel 1, 2, 9, 11 und 12 weist die Rechnung die Gefahr einer Nietlockerung deutlich nach. Die aufgezählten Beschädigungen treffen somit fast alle an solche Stellen, wo die Rechnung hohe Inanspruchnahmen ergeben hat. Einzig die an den Streben 5—8 aufgefundenen losen Nieten passen nicht in denselben Rahmen.

Es ist nicht unmöglich, dass noch weitere, mit der Rechnung übereinstimmende Beschädigungen aufgefunden worden wären, wenn man die Brücke untersucht hätte, bevor sie in ihre ursprüngliche Lage zurückgewunden war.

Dass nur an den oberen Knotenpunkten und nicht auch an den unteren Nieten gelockert wurden, ist ohne Zweifel den Bridel'schen Verstärkungsblechen zu verdanken.

Was sodann die lotrechte Senkung des Auflagers A betrifft, so giebt sie Herr Bieri zu 40, Herr Züblin zu 75 cm an, während wir 12,9 cm gefunden haben. Nehmen wir aus den beiden Angaben das Mittel als das wahrscheinlichste an, so bekommen wir 57 1/2 cm, das ist das 4 1/2-fache des berechneten Wertes. Da wie bereits bemerkt die Formänderungen bedeutend rascher wachsen, als die Spannungen, sobald einmal die Elasticitätsgrenze überschritten wird, so hat dieses Verhältnis durchaus nichts auffallendes.

Aus der beobachteten Senkung lässt sich ferner ein Rückschluss ziehen auf die Steigerung, die die niedrigeren Spannungen erfuhren, als die höheren die genannte Grenze überschritten. Hält man nämlich an der Annahme gerad-

liniger Gurtungen fest, so folgt, dass die Querrahmen sämtlich 4 1/2 mal so stark verbogen wurden, als wir nach der Rechnung gefunden haben. Multipliziert man dementsprechend die Biegungsspannungen der mittleren Streben (5—8) mit 4 1/2, so findet man auch bei diesen mehrfach Zahlen, welche die Elasticitätsgrenze überschreiten. Beachtet man noch, dass die Streben 5—8 bloss mit 8 Nieten an den Gurtungen befestigt waren, während die Zahl der Befestigungsniete bei den übrigen Streben meist viel grösser war, so werden auch die an diesen mittleren Streben beobachteten Nietlockerungen erklärlich.

Wir brechen hiermit unsere Betrachtungen ab. Sie zeigen, dass eine angenäherte Berechnung der Beanspruchungen, die das Eisen der Mönchensteiner Brücke im September 1881 erfahren hat, nicht zu den Unmöglichkeiten gehört. Wenn unsere Berechnungen auch stellenweise den Stempel des Hypothetischen an sich tragen, so sind doch deren Ergebnisse bis zu einem gewissen Grade zutreffend und lassen erkennen, dass das Eisen bei jenem Vorfalle in hohem Masse gelitten hat. Wären die Ergebnisse dieser Rechnungen damals bekannt gewesen, so hätte man sich schwerlich damit begnügt, die zunächst ins Auge springenden Schäden auszubessern. Man hätte ohne Zweifel die Brücke gründlicher, als es geschehen ist, untersucht und sich, wenn nicht zu einem Neubau, so doch zu viel eingreifenderen Verstärkungen entschlossen.

Doch es ist nicht unsere Aufgabe, die Frage zu erörtern, ob die Bahngesellschaft die Pflicht gehabt hätte, diese Rechnungen durchzuführen, ob die Zweckmässigkeit und Notwendigkeit dieser Durchführung von ihren Organen hätte erkannt werden sollen, ob diese Aufgabe nach dem damaligen Stand der Brückentheorie überhaupt hätte gelöst werden können u. s. w. Bekanntlich hat das schweizerische Bundesgericht diese Fragen und damit auch die Frage der groben Fahrlässigkeit nach sorgfältiger Erwägung aller massgebenden Faktoren in verneinendem Sinne entschieden. Unser Zweck bestand bloss darin, den Weg darzulegen, auf dem man sich in Fällen, wo ein Bauwerk in solch aussergewöhnlicher Weise in Anspruch genommen wird, von der Tragweite dieser Inanspruchnahme Rechenschaft ablegen kann.

### Miscellanea.

Ein neues elektrisches Schweissverfahren, das gegenüber dem in Bd. XI Nr. 9 u. Z. beschriebenen von Benardos und demjenigen von Elihu Thomson erhebliche Vorzüge aufweist, ist kürzlich in verschiedenen wissenschaftlichen Vereinen Berlins erläutert und experimentell vorgezeigt worden.\*) Das von den belgischen Ingenieuren *Lagrange* und *Hoho* erfundene und in Gemeinschaft mit dem Direktor der Brüsseler Elektrizitätsgesellschaft, *Edmond Julien*, weiter ausgearbeitete Verfahren beruht auf der Erscheinung, dass wenn ein elektrischer Strom durch eine Metallsalzlösung geleitet wird, eine Fällung des Metalles erfolgt, dabei wird das Wasser in seine beiden Bestandteile zerlegt und der Wasserstoff übernimmt bei dieser Ausscheidung die Rolle des Metalles, indem er sich, wie dieses, an der Kathode sammelt. Je höher der Strom gespannt wird, um so lebhafter geht die Ausscheidung von statten, ja man kann die Entwicklung so stürmisch gestalten, dass der sich abscheidende Wasserstoff die ganze Kathode einhüllt, so dass die Berührung mit der Flüssigkeit überhaupt aufhört, indem sich zwischen letzterer und der Kathode eine Wasserstoffschicht bildet. Da alle Gasarten verhältnismässig hohe Widerstände haben, so entsteht beim Durchgang des Stromes durch die Wasserstoffschicht eine ausserordentlich intensive Wärmeentwicklung, welche die Temperatur so schnell steigert, dass der Wasserstoff in Weissglut gerät und es bildet sich gleichsam ein glühender Wasserstoffofen, in dem eine Temperatur von etwa 2000° C. herrscht. In jener glühenden Wasserstoffschicht wird aber das Metall der Kathode selber sofort in Rot- bzw. Weissglut gebracht. Man kann auf diese

\*) U. a. im Elektrotechn. Verein zu Berlin (vide Prometheus Nr. 193) und in der Sitzung vom 1. Mai a. c. des Vereins zur Beförderung des Gewerbefleisses, in welchem Professor Slaby die Erklärung des Verfahrens mit interessanten Experimenten begleitete (vide „Stahl und Eisen“ vom 15. Juni a. c. Heft Nr. 12.)

\*) Wir wählen an Stelle der von Herrn Bieri angewandten Bezeichnungsweise die unsrige.