

oder noch nicht 1 mm. Diese Anordnung würde, abgesehen davon, daß sie nicht ausführbar ist, ökonomisch vortheilhaft sein, weil bei derselben der Gesamtquerschnitt, also das Trägergewicht, wesentlich kleiner ausfallen würde ($F = 2 \cdot 716 + 300 \cdot 0,9 = 1702$ qmm), als bei der oben für eine Stärke $d_m = 10$ mm ermittelten Construction, für welche der Trägerquerschnitt an der Befestigungsstelle durch

$$F = 2 \cdot 446 + 300 \cdot 10 = 3892 \text{ qmm}$$

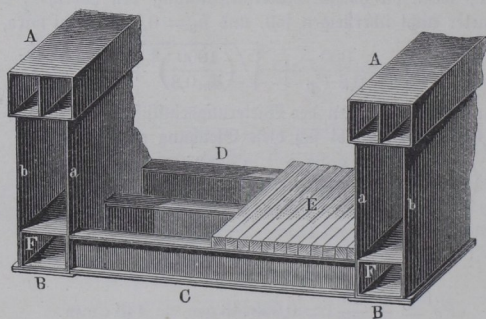
folgt. Mit Rücksicht auf das Kosten des Eisens pflegt man indessen die Blechstärken bei Brücken nicht unter 10 mm anzunehmen.

§. 52. **Röhrenträger.** Um bei größeren Brücken den Blechbalken auch gegen seitliche Ausbiegungen, wie sie durch Erschütterungen und durch den Winddruck angestrebt werden, eine größere Widerstandsfähigkeit zu geben, ist zuerst von N. Stephenson die kasten- oder röhrenförmige Gestalt der Träger angewendet worden, und es sind daraufhin die sogenannten Röhrenbrücken von N. Stephenson und W. Fairbairn entstanden.

Bei den Fairbairn'schen Ausführungen wird die Brücke von zwei parallelepipedischen Röhrenbalken getragen, während Stephenson die ganze Brücke zu einer parallelepipedischen Röhre gestaltete, in deren Innerem die Fahrbahn sich befand.

Eine einfache, durch zwei Röhrenträger AB getragene Brücke zeigt Fig. 214. Jeder der Träger ist hierbei aus zwei verticalen Blechwänden

Fig. 214.

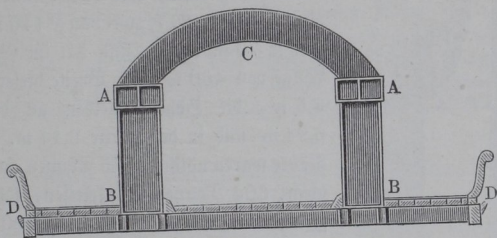


a und b gebildet, welche als Gurtungen oben und unten mit den Röhren A und B von viereckigem Querschnitte verbunden sind. Der unteren Gurtung B hat man dabei durch eine Bodenplatte und der oberen A durch eine eingekietete Zwischenwand die nöthige Versteifung gegeben. Die Brückenbahn E liegt hierbei auf einzelnen I förmigen Blechträgern C, D , welche beiderseits mit den inneren Wänden der Hauptträger vernietet sind. Auch verbindet man wohl die beiden Hauptträger, wie aus Fig. 215 ersichtlich, ober-

halb zur größeren Versteifung durch eiserne Bögen wie *C*, und ordnet seitlich der Hauptträger auf consolartig ausfragenden Blechträgern *BD* besondere Fußwege an.

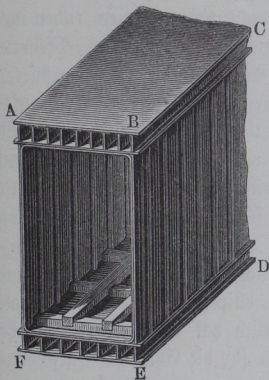
Die Construction einer Röhrenbrücke von Stephenson, welche die Fahrbahn ganz umschließt, ist aus Fig. 216 zu ersehen. Die ganze Brücke

Fig. 215.



besteht aus einem hohlen Parallelepiped *ABCD*, welches aus Blechstücken von 1,2 bis 4 m Länge, 0,6 m Breite und 10 bis 20 mm Dicke mittelst 25 mm starker Bolzen zusammengenietet ist. Zur Erhöhung der Tragfähigkeit ist diese Röhre sowohl mit einem doppelten Boden wie auch mit einer doppelten Decke versehen, und die dadurch gebildeten Hohlräume *AB* und *EF* sind durch verticale Scheidewände in Zellen getheilt, um ein Einknicken der breiten horizontalen Platten zu verhindern. Auch den hohen Tragwänden, wie *BD*, hat man dadurch noch eine besondere Steifigkeit ertheilt, daß die in verticalen Stoßfugen zusammenstoßenden Blechplatten auf beiden Seiten mit \perp förmigen Laschen zusammen-

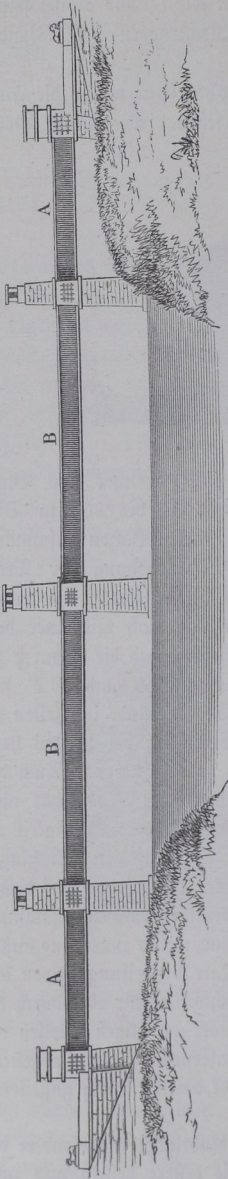
Fig. 216.



genietet worden sind, welche innen und außen vorstehende verticale Versteifungsrippen bilden. Die Figur zeigt auch die Quer- und Längsschwellen für eine durch die Röhre zu führende Eisenbahn. Uebrigens sind noch diejenigen Stellen der Röhre, wo dieselbe aufruhrt, von innen mit gußeisernen Rahmen abgesteift und ebenso sind die Wände der unteren Zellenreihe daselbst durch gußeiserne Träger gestützt.

Es gehören zu diesen Stephenson'schen Röhrenbrücken insbesondere die Conway-Brücke und die Britannia-Brücke. Die erstere besteht aus zwei

Fig. 217.



neben einander liegenden Röhren, wovon jede 129 m lang, 4,5 m breit, 6,85 m hoch an den Enden und 7,75 m hoch in der Mitte ist, und ein Gewicht von 1470 Tonnen (à 1000 kg) hat. Die Britannia-Brücke, welche wie die Telford'sche Kettenbrücke, über den Menai-Meerestrom führt, besteht aus vier Brückenöffnungen *ABBA*, Fig. 217, zwei von je 140 m und zwei von je 70 m Länge, und hat im Ganzen eine Länge von 460 m. Die Breite dieser Brücke ist 4,5 m, die Höhe derselben an den Enden 6,94 m und in der Mitte 9,14 m. Zu jeder Röhre waren nöthig 2875 Tonnen ebenes Eisenblech, 604 Tonnen Winkleisen, 425 Tonnen \perp Rippen, 340 Tonnen (882 000 der Zahl nach) Nieten, und außerdem noch 1016 Tonnen gußeiserne Rahmen u. s. w., so daß eine Röhre im Ganzen 5260 Tonnen wiegt.

Damit diese langen Röhrenbalken bei wechselnder Temperatur sich ungehindert ausdehnen und wieder zusammenziehen können, ruhen ihre Enden nicht unmittelbar auf den Pfeilern, sondern durch Vermittelung einer größeren Anzahl gußeiserner Walzen (bei der Britannia-Brücke 24 Paar von 0,15 m Durchmesser und 0,60 m Länge), welche sich zwischen einer auf dem Pfeiler befestigten gußeisernen Sohlplatte und einer eben solchen am Röhrenträger von unten befestigten Lagerplatte bewegen können.

Man hat auch den Röhrenträgern eine kreisrunde oder elliptische Querschnittsgestalt gegeben, namentlich hat Brunel cylindrische Blechröhrenträger für die Chepstow-Eisenbahnbrücke angewendet, an welchen die Brückenbahn aufgehängt ist. Die Kreisform des Querschnittes gewährt jedoch keine vortheilhafte Benutzung des Materials (s. §. 45), auch haben die Versuche von Fairbairn gezeigt, daß sich die Röhrenträger mit kreisrundem Querschnitte leicht zusammendrücken, wobei sie an den Enden breiter und niedriger, in der Mitte höher und

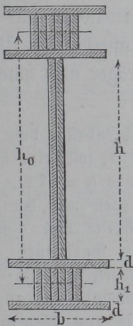
schmäler werden. Diesen Mangel einer Veränderung der Querschnittsform zeigen auch die Träger von elliptischen Querschnitten, wenn auch in geringerm Maße als die von kreisrunder Querschnittsgestalt.

Anmerkung. Bei den Festigkeitsversuchen, welche Hodgkinson an Röhren von kreisförmigen, elliptischen und rechteckigen Querschnitten angestellt hat, wurde nicht nur bestätigt, daß die letzteren unter übrigens gleichen Umständen mehr Stärke besitzen als die ersteren, sondern auch noch dargethan, daß die an beiden Enden ausliegende und in der Mitte belastete Röhre von oben herein, also durch Zerdrücken und nicht durch Zerreißen zerbricht. Es hat daher das Schmiedeeisen mit dem Holze die Eigenschaft gemein, daß es gegen Zerreißen mehr widersteht, als gegen Zerdrücken, während es bei dem Gußeisen umgekehrt ist. Deshalb versieht man auch die Decke der Röhre mit mehr Zellen, als den Boden.

Die Tragfähigkeit eines Röhrenträgers läßt sich wie diejenige eines Blechträgers von I förmigem Querschnitte berechnen, indem man als den Gurtungsquerschnitt denjenigen der den Boden und die Decke bildenden Zellenwänden und als Entfernung der Gurtungsschwerpunkte den Abstand der Mitten dieser Zellen ansieht.

Ist h die Höhe der Blechwände oder der Röhre im Lichten, und h_1 die lichte Höhe der Zellen, sowie b die Breite der Gurtungen und n die Anzahl der verticalen Zellenwände, und nimmt man alle Blechstärken gleich d an, so hat man einen Gurtungsquerschnitt nach Fig. 218 zu

Fig. 218.



$$F_g = 2bd + nh_1d = (2b + nh_1)d, \dots (1)$$

den Abstand der Mitte der Gurtungen von einander

$$h_0 = h + h_1 + 2d \dots \dots \dots (2)$$

und den ganzen Querschnitt des Röhrenträgers

$$F = 2F_g + F_m = 2(2b + nh_1 + h)d, \dots (3)$$

daher das Gewicht der ganzen Röhre von der Länge l bei dem specifischen Gewichte γ gleich

$$G = F\gamma l \dots \dots \dots (4)$$

Ist dann noch die Belastung durch die Brückenbahn und die bewegliche Last pro Längeneinheit gleich k , so hat man bei voller Belastung der Brücke das Moment für die Mitte durch

$$M = \frac{ql^2}{8} = (k + F\gamma) \frac{l^2}{8}, \dots \dots \dots (5)$$

woraus der Gurtungsquerschnitt durch

$$M = (k + F\gamma) \frac{l^2}{8} = s_1 F_g h_0 \dots \dots \dots (6)$$

$$F_g = \frac{k + F\gamma}{s_1 h_0} \frac{l^2}{8} \dots \dots \dots (7)$$

und die Durchbiegung in der Mitte zu

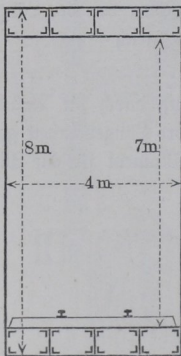
$$a = \frac{5}{384} \frac{(k + F\gamma) l^4}{E F_g h_0} \dots \dots \dots (8)$$

folgt.

Die Anwendung der Röhrenträger zu größeren Brücken findet heute nicht mehr statt, da die Verwendung des Materials bei denselben wenig vorthellhaft ist. Da nämlich bei fast allen Brücken die durch die Querträger aufgenommene Last auf die Hauptträger in einzelnen Punkten concentrirt übertragen werden muß, so erfordern die Blechwände an diesen Stellen Verstärkungen und es findet eine ungünstige mehr oder minder auf Biegung wirkende Beanspruchung der Construction zwischen den Anheftungspunkten der Querträger statt. Derselbe Uebelstand haftet den nach Fig. 212 ausgeführten engmaschigen Gitterträgern an, außerdem ist bei den letzteren die Untersuchung der Inanspruchnahme der einzelnen Gitterstäbe wegen deren vielfacher Vernietung mit einander eine schwierige und unzuverlässige. Diese Uebelstände sind vermieden bei den im Folgenden zu behandelnden Fachwerkconstructionen, welche in neuerer Zeit ganz allgemein für alle größeren Spannweiten die Blech-, Röhren- und engmaschigen Gitterbalken verdrängt haben. Nur für Zwischenconstructionen, z. B. für Schwellenträger und Querträger der Eisenbahnbrücken, sowie auch für Constructionen mit möglichst gleichmäßig vertheilter Belastung, z. B. kleine Chausséebrücken, Unterzüge in Speichern und Fabrikräumen u. finden die Blechträger noch häufigere Verwendung.

Beispiel. Für eine eingleisige Eisenbahn soll eine Röhrenbrücke von 80 m Spannweite ausgeführt werden. Der Röhrenträger, Fig. 219, solle eine äußere Höhe $H = 8$ m, eine innere Höhe $h = 7$ m, daher eine Höhe der Zellen in dem Boden und der Decke von $h_1 = 0,5$ m, sowie eine Breite von 4 m erhalten.

Fig. 219.



Wenn jede der beiden Gurtungen durch drei Zwischenwände in vier Zellen getheilt wird, und für die verticalen Blechwände wegen der Schubspannungen eine Blechstärke von 15 mm angenommen wird, so sind die Querschnittsdimensionen der Gurtungen unter der Bedingung zu ermitteln, daß die Verkehrslast $k = 4000$ kg pro laufenden Meter beträgt und die höchste Spannung den Betrag $s = 6$ kg pro Quadratmillimeter nicht übersteigt.

Zur Ausbildung der Gurtungen sind im Innern der Zellen 16 Winkleisen erforderlich, deren Schenkellänge zu 60 mm bei einer Stärke von 12 mm angenommen werde. Nach Abzug eines Nietloches für

die 20 mm dicken Nietbolzen verbleibt für jedes dieser Winkelleisen ein wirksamer Querschnitt von

$$(60 + 60 - 12 - 20) 12 = 1056 \text{ qmm} = 0,001056 \text{ qm},$$

daher für 16 Winkelleisen

$$16 \cdot 0,001056 = 0,0169 \text{ qm}.$$

Bezeichnet man mit d die gesuchte Stärke der Zellenwände, so hat man den wirksamen Querschnitt einer Gurtung

$$F_g = (2 \cdot 4 + 5 \cdot 0,5) d + 0,0169 = 10,5 d + 0,0169,$$

und den Querschnitt des ganzen Trägers

$$F = 2 F_g + 2 \cdot 7 \cdot 0,015 = (21 d + 0,2438) \text{ qm}.$$

Nimmt man das spezifische Gewicht 7,5 des Eisens mit Rücksicht auf Niete und Verstärkungen um 20 Proc. größer, also zu $1,2 \cdot 7,5 = 9$ an, so erhält man das Trägergewicht pro laufenden Meter zu:

$$G = (21 d + 0,2438) 9000 \text{ kg} = \text{rot } 189\,000 d + 2200 \text{ kg}.$$

Das Maximalmoment in der Mitte findet sich, wenn man noch für die Schienen und Schwellen 200 kg für den laufenden Meter rechnet, zu:

$$M = (4000 + 200 + 2200 + 189\,000 d) \frac{80^2}{8} = 5120\,000 + 151\,200\,000 d.$$

Man erhält daher nach (6)

$$5\,120\,000 + 151\,200\,000 d = 6\,000\,000 \cdot (10,5 d + 0,0169) \cdot 7,5,$$

oder

$$5,120 - 0,7605 = 472,5 d - 151,2 d;$$

woraus

$$d = \frac{4,3595}{321,3} = 0,0136 = \text{rot } 14 \text{ mm}$$

folgt.

Mit diesem Werthe ergibt sich nun

$$F_g = 10,5 \cdot 0,014 + 0,0169 = 0,1639 \text{ qm}$$

und

$$G = 189\,000 \cdot 0,014 + 2200 = 4846 \text{ kg};$$

folglich erhält man nach (8) die Durchbiegung der belasteten Brücke in der Mitte bei einem Elasticitätsmodul $E = 20\,000$ (für Millimeter) zu:

$$a = \frac{5}{384} \frac{4200 + 4846}{20\,000 \cdot 1000^2 \cdot 0,1639 \cdot 7,5} 80^4 = \frac{9,046 \cdot 64}{18 \cdot 163,9} = 0,196 \text{ m}.$$

Fachwerke. Um bei der Ausführung größerer Träger das Material §. 53. möglichst vollständig auszunutzen, was nach dem früher Bemerkten nur bei gleichmäßiger Anstrengung aller Fasern eines Stückes durch Zug- oder Druckkräfte, nicht aber bei Biegungen möglich ist, sind die Fachwerke entstanden. Ein Fachwerksträger besteht im Allgemeinen aus zwei Stäben oder Stangen, den sogenannten Gurtungen, Längsbändern oder Streckbäumen, welche durch ein System von Zwischenstäben derart zu einem steifen Träger verbunden sind, daß in Folge der Belastung in allen Stäben nur Kräfte hervorgerufen werden, welche nach den Längsaren