



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Die künstlerische Gestaltung von Eisenkonstruktionen

Text

Jordan, Hermann

Berlin, 1913

b) Bogenbrücken

[urn:nbn:de:hbz:466:1-96352](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-96352)

hinaus verlängerten Kastenträger zu befestigen. Aber erst Langer verwirklichte diesen Gedanken 1870 an seiner Wrsowicer Brücke¹⁾. Ähnlich ist auch die Mühlentorbrücke²⁾ (1899) über den Elb-Trave-Kanal in Lübeck (Abb. 90) ausgebildet, deren durchgehender Fachwerkbalken unter der Fahrbahn liegt und eine Mittelöffnung von 41,79 m sowie zwei Seitenöffnungen von 19,67 m überdeckt³⁾. Erwähnt sei auch die mit kettenversteiften Trägern hergestellte Marchbrücke bei Napagedl⁴⁾.

In größerer Zahl sind Straßenüberführungen der französischen Ostbahngesellschaft mit durchgehenden Blechträgern gebaut worden, u. zw. wurden die Zwischenstützen an ihrem oberen Ende in einheitlichem Materialzusammenhang mit den Trägern hergestellt, so daß man infolge dieser Rahmenbildung geringere Durchbiegungen erhielt, als bei Balken auf Pendelstützen⁵⁾.

b) Bogenbrücken.

1. Gußeisen.

In bedeutendem Umfang ist das Eisen, u. zw. zunächst als Gußeisen zum Bau von Bogenbrücken⁶⁾ verarbeitet worden. Dieser entwickelte sich bis etwa zum Jahre 1830, erfreute sich dann einer längeren Blütezeit, in welcher eine Reihe trefflicher Bauwerke besonders in Paris und London entstand, und neigte sich schließlich einem allmählichen Niedergang zu, der sich bis etwa 1890 hinzog⁷⁾.

Als erste größere Gußeisenbrücke und zugleich als erste feste Eisenbrücke der Erde entstand auf Anregung von John Wilkinson die Gußeisenbrücke über den Severn bei der später nach ihr benannten Ortschaft Ironbridge (30,62 m Weite⁸⁾). Sie ging 1776—79 aus den Werken von Coalbrookdale⁹⁾ unter der Leitung von Reynolds und Abraham Darby hervor, und ist noch heutigen Tages gut erhalten. Die dreifachen Rippenlinien ihrer Tragebögen laufen einander parallel und sind durch radiale Stege verbunden, während die Zwickel maßwerkartig ausgefüllt sind. Mit sehr ähnlichem Aufbau, aber mit Kreisfüllungen der Zwickel und mit Bogenlinien, die nach dem Scheitel hin zusammenlaufen, wurde unter der Leitung des Engländers Baidon in den Jahren 1792—96 die erste größere Eisenbrücke des europäischen Festlandes ins Leben gerufen, nämlich die noch heute benutzte 13 m weite, in Malapane für den Grafen von Burghaus gegossene Brücke über das Striegauer Wasser bei Laasan in Schlesien¹⁰⁾.

¹⁾ Der Eisenbau 1911, S. 321.

²⁾ Abb. s. Mehrrens, Der deutsche Brückenbau im 19. Jahrh., S. 21. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1900, S. 771. S. auch Berkenthiner Kirchsteig ebenda.

³⁾ S. ferner Baumgartenbrücke bei Potsdam in der Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing., Bd. 54, 30. S. 1222.

⁴⁾ Der Eisenbau 1910, S. 349.

⁵⁾ Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1901, S. 703.

⁶⁾ S. Handb. d. Ing.-Wissensch., 2. Bd., 5. Abt., S. 304. mit Abb.

⁷⁾ Zur Übersicht über die wichtigsten Bauten dieser Art s. Tabellen bei Mehrrens, Eisenbrückenbau, S. 322, 326, 332.

⁸⁾ Rondelet Kunst zu bauen, Tafel CL VII, Fig. 1. Zeitschrift d. Ver. deutsch. Ing. 1900, S. 497.

⁹⁾ Engineer 1898, Bd. 86, S. 303.

¹⁰⁾ Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1900, S. 499.

Ihre Fertigstellung galt mit Recht als ein großes Ereignis und wurde durch eine besondere Denkmünze gefeiert¹⁾. Die Laasaner Brücke wurde für eine Anzahl verwandter Ausführungen vorbildlich, vor allem in Berlin. Zwar ist nach Feldhaus die Brücke über den Kupfergraben daselbst bereits im Jahre 1790 entstanden²⁾, doch besagt eine Nachricht aus dem Jahre 1797³⁾: „Gegenwärtig wird auch hier an einer eisernen Brücke gebaut. . . . Sie wird über den Kupfergraben gebaut. . . . Die Konstruktion ist ungefähr dieselbe wie die der schlesischen.“

In England spielte zu Ende des 18. und zu Anfang des 19. Jahrhunderts Telford, dem Hazledine als Mitarbeiter zur Seite stand, eine große Rolle als Brückenerbauer⁴⁾. Von seinen Werken seien nur die 30,65 m weite Brücke von Buildwas⁵⁾ (1794—95) und die durch ihre kräftigen Quer- und Kreuzverbände ausgezeichnete, und wohl dadurch noch heute erhaltene Brücke über den Wye bei Chepstow⁶⁾ (34 m größte Weite) hervorgehoben.

Auch die Franzosen blieben im allgemeinen Wettstreit nicht zurück und erwiesen 1801—03 ihre Fertigkeit mit dem Pont-des-Arts, einer Brücke mit 9 Öffnungen von je 17,34 m⁷⁾. Wie es heißt, soll sie demnächst mit Rücksicht auf den anwachsenden Verkehr durch einen Neubau ersetzt werden.

Alle diese Bauwerke haben miteinander gemeinsam, daß sie mehr oder weniger auf den Grundsätzen des Holzbauens fußen, von denen man glaubte, daß sie dem neuen Baustoff am meisten entsprächen. Noch Rondelet äußerte sich in diesem Sinne, indem er sagte: „Da die Eigenschaften des geschnittenen Eisens bei einem viel geringeren Volumen ganz dieselben sind als die des Holzes, so folgt daraus, daß auch die Elemente der bei dem Gebrauch dieses Materials geeigneten Verbindungen mit einigen Modifikationen dieselben sind, wie die der Holzverbindungen.“⁸⁾ Aber bald wurde man sich bewußt, daß das Eisen doch andere Eigenschaften als das Holz besitze, und demnach auch eine andere Verwendungs- und Behandlungsart bedinge. Man glaubte nunmehr eine größere Ähnlichkeit zwischen Gußeisen und Stein zu bemerken, da das Gußeisen sich als besonders befähigt erwies, großen Druck aufzunehmen, während es sich Zugspannungen gegenüber weniger günstig verhielt. Dazu kam noch, daß die bei der bisherigen Bauweise erforderliche Größe der Gußstücke erhebliche technische Schwierigkeiten bereitete. Man entwarf daher gußeiserne Brücken nach dem Grundgedanken gewölbter Steinbrücken, indem man nach den Vorschlägen von De Montpetit und Taine die Bögen aus einzelnen gußeisernen Wölbkörpern zusammensetzte. Dies geschah z. B. 1793—96 an der ursprünglich für den Schuylykyl in Amerika entworfenen 71,91 m weiten Wearbrücke bei Sunderland⁹⁾. Die Wölbkörper derartiger

¹⁾ Mehrrens, Eisenbrückenbau, S. 58, Fig. 89.

²⁾ Zentralbl. d. Bauverwaltg. 1911, S. 393.

³⁾ Sammlg. die Bauk. betr. 1. Jahrg. 1797, 1. Bd., 2. Aufl. 1811, S. 123.

⁴⁾ Zeitschr. f. Arch. u. Ingenieurwes. 1901, S. 170.

⁵⁾ Mehrrens, Eisenbrückenbau, S. 276, Fig. 303. Engineer 1906, Bd. 101, S. 110.

⁶⁾ Ebenda S. 324, Fig. 373.

⁷⁾ Rondelet, Kunst zu bauen, Taf. CLX, Fig. 1.

⁸⁾ Ebenda, Bd. 3, S. 339.

⁹⁾ Rondelet, Kunst zu bauen, Tafel CLVIII, Fig. 1, 2.

Brücken besaßen durchbrochene Wandungen, die ihnen das Aussehen dünner Stabwerke verliehen, erwiesen sich aber infolgedessen als so zerbrechlich, daß z. B. die nach dem Vorbild der Wearbrücke errichtete Austerlitzbrücke in Paris (1802—05) bereits 1854 in Stein umgebaut werden mußte. Man ging daher bald zu Stegrippen mit voller Wandung über, z. B. 1815—19 an der Londoner Southwarkbrücke von Rennie¹⁾, welche lange Zeit für den englischen Brückenbau vorbildlich blieb²⁾. Sie erreichte mit 73,18 m die größte bei Gußeisenbrücken erzielte Spannweite, und man verwandte an ihr zum erstenmal die künftig im Eisenbau so wichtige Verbindung durch Flansche und Schraubenbolzen.

In Rußland, dessen Technik damals stark unter dem Einfluß der Franzosen stand, scheinen die 1812—38 über der Mojika in Petersburg errichteten 8 gußeisernen Brücken ebenfalls aus Bogenstücken konstruiert worden zu sein. Bestimmt war solches an der 18,5 m weiten Brücke über den Csukabach bei Lugos in Ungarn (1831)³⁾ der Fall.

Im Jahre 1811 machte Georg von Reichenbach (1772—1826) den Vorschlag, Brückenbögen aus gußeisernen Röhren zusammenzusetzen. Die erste Ausführung nach dieser Bauart, an welche übrigens schon Gauthey, Wiebeking und Nash um 1800 gedacht hatten, war eine 17,5 m weite Okerbrücke in Braunschweig (1824)⁴⁾. Ihr folgte 1828—29 die Hammerstrombrücke bei Peitz⁵⁾. Dann wurde der Gedanke der Röhrenbrücken von Polonceau aufgenommen und dem Bau der Carousselbrücke⁶⁾ in Paris zu Grunde gelegt, nur wurde jetzt der Bogen aus Längs-Halbstücken mit versetzten Stoßfugen zusammengefügt, der Querschnitt nicht kreisrund, sondern elliptisch mit lotrecht stehender großer Achse gebildet, und der Bogenhohlraum mit fest untereinander verschraubten versteifenden Bohlenschichten ausgefüllt, die zunächst als Lehre für das Anbringen der eisernen Bogenteile hatten dienen müssen. Brücken dieser Art wurden zum Teil mit konstruktiven Verbesserungen noch verschiedentlich ausgeführt.

An späteren deutschen Gußeisen-Bogenbrücken wären die 1843—45 entstandenen Bauten der Badischen Eisenbahnen, und die 1858—65 mit drei Öffnungen von nur 16,5 m Weite errichtete Alsenbrücke über den Humboldthafen in Berlin⁷⁾ zu nennen. An die Stelle der letzteren trat 1898—99 eine flußeiserne Bogenbrücke von 50 m Weite. (Abb. 69.)

2. Schweißisen und Flußeisen.

Bei den unvoreilhaftigen Eigenschaften, die das Gußeisen als Brückenbaustoff gezeigt hatte, schwand allmählich die Neigung, Bogenbrücken aus Gußeisen zu errichten. Zwar hatte Bruyère bereits im Jahre 1808 einen kleinen eisernen Steg über den Crou in St. Denis (12 m) vollständig aus Schweißisen hergestellt, aber erst bei weiterer Entwicklung

der praktischen Erfahrung und der Theorie konnte man sich an die allgemeinere Verwendung von Schweißisen wagen. Überdies besitzen Bogenbrücken an sich den Nachteil, daß bei beschränkter Konstruktionshöhe die Durchfahrthöhe neben den Kämpfern gering wird, und daß, besonders bei flach gespannten Bögen, ein starker Seitenschub entsteht. Sie kamen daher erst in Aufnahme, als man den Wunsch auf eine vorteilhafte äußere Erscheinung zu betonen begann, d. h. in den fünfziger Jahren des 19. Jahrhunderts¹⁾. 1853—56 entstanden die ersten schweißeisernen Brücken mit Blechbögen, und zwar durch Oudry die mit gitterartige Zwickelversteifung versehene Arcole-Brücke in Paris²⁾ (80 m) und durch Etzel die Aare-Brücke bei Olten (31,5 m)³⁾.

Die 1868—74 durch Eads errichtete erste weitgespannte Bogenbrücke Amerikas, die Mississippi-Brücke bei St. Louis (158 m Spannweite)⁴⁾ besitzt gleich den früheren Brücken von Reichenbach, Polonceau und Brunel Bogengurtungen mit röhrenförmigem Querschnitt, der aus gewalzten Stahlsegmenten zusammengesetzt ist. Durch teilweise und für Amerika erstmalige Verwendung von Flußeisen, durch gründliche Material-Untersuchung während der Ausführung und durch gerüstfreie Aufstellung hat diese Brücke ungemein fördernd auf den Eisenbau gewirkt, und vor allem die schon 1866 durch den Pöllatsteg eingeleitete Aufnahme des freien Vorbaus sehr beschleunigt. Gleichzeitig mit der Mississippi-Brücke erhoben sich 1868—72 die Elbebrücken bei Hamburg⁵⁾ (96,36 m) und Harburg nach dem System Lohse, d. h. mit linsenförmigen Trägern, bei denen Ober- und Untergurt je einen steifen gegliederten Bogen für sich darstellen und über den Stützen derart verbunden sind, daß der Horizontalschub sich ausgleicht⁶⁾.

Dieselbe Bauweise zeigt die 101 m weite Straßenbrücke über die Norderelbe in Hamburg (1884—87) (Abb. 55)⁷⁾.

Als sehr fruchtbar erwies sich für die Folgezeit der Gedanke, die Bögen nicht mehr einheitlich auf die ganze Spannweite durchgehen und an den Enden fest auflagern zu lassen, sondern Gelenke anzuordnen. Diese haben den Zweck, Durchgangspunkte für die Kraft-Resultierenden fest zu legen, und damit der Theorie wie auch der ausführenden Praxis eine bessere Übersicht über das Spiel der Kräfte zu verschaffen, sowie gleichzeitig dem Bogen eine gewisse Bewegungsfreiheit, besonders bei Belastungs- und Temperatur-Wechsel zu gewähren.

¹⁾ Zur Übersicht über die wichtigsten Bogenbrücken aus Schweiß- und Flußeisen s. Tabellen bei Mehrrens, Eisenbrückenbau, S. 656, 698, 712.

²⁾ Allgem. Bauzeitg. 1855, Tafel 730. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. f. d. Königr. Hannover 1855, S. 514, Bl. 30. Nouv. annales de la constr. 1855, S. 52, Taf. 35—38. Zeitschr. f. Bauwes. 1856, S. 126. Le Génie Civil 1889, Bd. 14, S. 170. Wochenschr. d. ö. Ing.- u. Arch.-Ver. 1888, S. 113. Zentralbl. d. Bauverw. 1888, S. 116.

³⁾ Etzel, Brücken und Thal-Übergänge schweizerischer Eisenb., Bl. 3—5.

⁴⁾ Engineering 1868, Bd. 6, S. 344. Deutsche Bauzeitg. 1869, S. 468. 1871, S. 273. 1872, S. 84.

⁵⁾ Zeitschr. f. Bauwes. 1885, S. 79. Atlas Bl. 31.

⁶⁾ Über den viergleisigen Ausbau dieser Brücke s. Der Eisenbau 1913, S. 75.

⁷⁾ Zeitschr. f. Bauwes. 1890, S. 219. Atlas Bl. 36.

Schon Robeson hatte im Jahre 1801 für die gußeisernen Bogenbrücken eine Art Gelenk in Form eines mittleren Schlußstücks aus Schmiedeeisen mit gekrümmten Fugen vorgeschlagen, aber er war damit nicht durchgedrungen. Dann hatte Brunel bei seinen Brücken schon vielfach Gelenke angeordnet. Aber erst die Ingenieure Couche, Manton und Salle legten 1858 an einer Bogenbrücke zwei Kämpfergelenke ein, nämlich an der schmiedeeisernen Eisenbahnbrücke über den Kanal St. Denis, in der Linie Paris—Creil¹⁾. Sie hatten zwar schon an ein drittes Gelenk im Bogenscheitel gedacht, aber es nicht ausgeführt.

Die Theorie der Gelenkbögen entwickelte sich sehr rasch, besonders da sie in dem damals allgemein hervortretenden Bestreben, jegliche statische Unbestimmtheit nach Möglichkeit zu beseitigen, eine kräftige Unterstützung fand. Die ersten grundlegenden Veröffentlichungen erschienen fast gleichzeitig im Jahre 1860 durch Köpcke in der Zeitschrift des Hannoverischen Architekten- und Ingenieur-Vereins, und durch Manton in den Annales des ponts et chaussées. In der Praxis nahm man den Gedanken des Bogengelenks mit großem Eifer auf; vor allem machte sich Schwedler um die Verwertung des Köpcke'schen Vorschlags verdient.

Bereits 1861—64 erbaute Hartwich die von Sternberg konstruierte und berechnete ältere Rheinbrücke bei Koblenz (93,7 m Weite)²⁾ als ersten Fachwerkbogen mit zwei gekrümmten konzentrischen Gurtungen und zwei Kämpfergelenken (Abb. 48). Sie gab das unmittelbare Vorbild für Hartwichs Rheinbrücke bei Rheinhausen³⁾ (1873) und wurde vermöge ihrer theoretischen und konstruktiven Durchbildung und ihrer schönheitlichen Wirkung von großer Bedeutung für die Weiterentwicklung des Brückenbaues, ja, es beginnt mit ihr der Aufschwung im Bogenbrückenbau der Neuzeit.

Neben den Kämpfergelenken trat bald auch ein Scheitelgelenk auf und zwar zuerst an der Blechbogenbrücke über die Wien in Wien von Herrmann (1864) und für Deutschland zum erstenmal an der Unterspreerbrücke (16,4 m) in Berlin von Schwedler (1865)⁴⁾, dann 1866 an dem wegen seines freien Vorbaus schon erwähnten Dreigelenk-Fußsteg über den Pölatfall in Hohenschwangau (35 m)⁵⁾.

Zu besonders großen Spannweiten in Gelenkbrücken kamen die französischen Ingenieure, doch war dabei lange Zeit die Durchbildung der Einzelheiten, insbesondere der Knotenpunkte sehr wenig befriedigend⁶⁾. Eins der wichtigsten dieser Bauwerke ist die 1876—77 von Eiffel errichtete Maria-Pia-Brücke über den Douro⁷⁾, bei welcher zum ersten Male für große Bogenfachwerke die Sichelform (160 m Weite)

mit zwei Kämpfergelenken angewandt wurde, ein System, das 1880—84 an dem 165 m weiten und 122 m hohen Garabit-Viadukt¹⁾ wiederkehrt (Abb. 56).

In Deutschland finden sich zunächst, nämlich an den 1879—80 errichteten Gelenk-Brücken der Berliner Stadtbahn noch verhältnismäßig geringe Lichtmaße (bis zu 50 m am Schiffbauerdamm²⁾), aber die sorgfältige konstruktive Durchbildung dieser Bauten erweckte mit Recht besondere Aufmerksamkeit. Schon weiter (106 m) ist die ebenfalls mit Zweigelenkbögen ausgestattete obere Rheinbrücke bei Coblenz (1879)³⁾ (Abb. 49) gespannt, welche vor einigen Jahren durch Einbau von 1540 Eisen erheblich verstärkt wurde,⁴⁾ sowie die 1882—85 entstandene Straßenbrücke über den Rhein (Abb. 52) zwischen Castel und Mainz (104 Meter)⁵⁾. 1886—89 folgte eine der wenigen amerikanischen Bogenbrücken, die Washington-Brücke über den Harlem-Fluß in New-York mit Zweigelenk-Blechbögen von 155 m Weite⁶⁾. Sie gehört als weiteste vollwandige Bogenbrücke zu den bedeutsamsten Bauwerken der Welt, aber eigentümlicherweise greift sie insofern wieder auf die ältesten Vorbilder eiserner Bogenbrücken zurück, als die tragenden Bögen aus je 34 einzelnen Wölbstücken von weichem Stahl gebildet sind. Auch an der im Jahre 1900 mit drei Gelenken ausgeführten Brücke Alexander III. (Abb. 65) in Paris (107,50 m)⁷⁾ setzte man die Bögen noch derart zusammen, weil man mit Rücksicht auf die Schifffahrt keine großen Pfahlgerüste aufstellen wollte, weil man ferner eine Gewichtersparnis gegenüber der genieteten Arbeit erhoffte, und im Vergleich zur gegliederten Konstruktion eine größere Widerstandsfähigkeit gegen Rosten erwartete; andererseits sollte weder der freie Ausblick über die Seine noch das Schaubild des Invalidendoms durch ein oberhalb der Fahrbahn liegendes Tragwerk beeinträchtigt werden. Die Alexanderbrücke besitzt übrigens mit 1 : 17,2 das kleinste Bogenverhältnis der Welt für eiserne Bogenbrücken.

Deutsche Gelenkbrücken von bedeutenden Abmessungen entstanden anfangs der neunziger Jahre in den beiden Hochbrücken über den Nord-Ostsee-Kanal. Die eine, bei Grüental⁸⁾ wurde 1893 in Betrieb genommen. Ihre Hauptträger bestehen aus sichelförmigen, elastischen Zweigelenkbögen von 156,5 m Stützweite und werden in halber Höhe von der Fahrbahn durchschnitten, so daß letztere teils an den Bögen hängt, teils sich auf sie stützt, während sie in den Durchschnittpunkten fest mit ihnen verbunden ist (Abb. 58). Eine Anordnung dieser Art hatten bereits die Gebrüder Leather an ihren gußeisernen Bogenbrücken angewandt, zuerst wohl 1827 an der Monkbrücke in Leeds (34 m), dann 1836 an der

¹⁾ Allgem. Bauzeitg. 1864, S. 78. Atlas Bl. 640. Zeitschr. f. Bauwes. 1862, S. 237. Ann. des ponts et chaussées, 3. Serie 1860, 2. Halbjahr, Bd. 20, S. 161, Taf. 183.

²⁾ Zeitschr. f. Bauwes. 1864, S. 385, 529, 625 u. Atlas Bl. 48, 49.

³⁾ Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1900, S. 575.

⁴⁾ Zeitschr. f. Bauwes. 1866, S. 267. Atlas Bl. 38—41. Deutsche Bauzeitg. 1887, S. 37.

⁵⁾ Mehrtens, Eisenbrückenbau S. 666. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1900, S. 988.

⁶⁾ Noch heute kommen derartige Mängel vor, s. Der Eisenbau 1911, S. 156, 202.

⁷⁾ Eiffel, Trav. Scient. S. 237. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. z. Hannover 1879, S. 539, Bl. 796. Engineering 1886, Bd. 42, S. 7.

¹⁾ Mehrtens, Eisenbrückenbau, S. 662.

²⁾ Zeitschr. f. Bauwes. 1884, S. 124. Atlas Bl. 4.

³⁾ Ebenda 1881, S. 89.

⁴⁾ Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1903, S. 682.

⁵⁾ Deutsche Bauzeitg. 1885, S. 298.

⁶⁾ Engin. News 1888, Bd. 19, S. 79. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1889, S. 1120.

⁷⁾ Deutsche Bauzeitg. 1900, S. 341, Abb. S. 357. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1899, S. 1053. Le Génie Civil Bd. 35, 1899, S. 149, 165. Nouv. ann. de la constr. 1900, S. 161, 177, Taf. 44, 49.

⁸⁾ Deutsche Bauzeitg. 1895, S. 173 mit Tafel. Zentralbl. d. Bauverw. 1891, S. 214. 1896, S. 558. Zeitschr. f. Bauwes. 1898, S. 726, Atlas Bl. 68.

Paddington-Kanalbrücke¹⁾ und 1839 an der Calderbrücke²⁾ bei Stanley in England. Sie findet sich an den beiden 1907 vollendeten Sichelträgerbrücken in Moskau, der Nicolausbrücke und der Sergiusbrücke (jede 135 m weit) wieder³⁾.

Die andere Kanalbrücke, die bei Levensau⁴⁾, wurde 1894 vollendet und stellt sich als Zweigelenkbogen von 163,4 m Stützweite dar. Bogen und Fahrbahn sind unabhängig voneinander, indem über dem Bogen in ganzer Länge der Brücke ein besonderer Windträger angebracht wurde, der sich mit senkrechten Stäben auf den Bogen stützt, und an welchem die Fahrbahn frei hängt, ohne Spannungen auf den Bogen zu übertragen. Allerdings wird dadurch die Konstruktionsweise schwerer und weniger elegant als bei der Brücke von Grünental.

Beide Kanalbrücken sind noch vollständig aus Schweißeisen erbaut.

Zweigelenkbögen aus basischem Martinmetall besitzen die 167,75 m weite Straßen- und Eisenbahnbrücke⁵⁾ über die Stromschnellen des Niagara (1896–97) und die 1898 mit der größten durch Bögen erreichten Spannweite von 256 m erbaute Niagara-Straßenbrücke bei Clifton⁶⁾, welche an die Stelle der von Keefer 1867–69 errichteten Hängebrücke trat, während erstere die Röbling'sche Hängebrücke (1855) ersetzte. Flußeisen gleicher Art verwandte man auch 1896–98 an den Rheinbrücken bei Bonn⁷⁾ (187,92) (Abb. 61) und Düsseldorf⁸⁾ (181,25 m), deren große Zweigelenk-Fachwerk-Hauptbögen sich weit über die Fahrbahn erheben, während in den seitlichen ebenfalls von Zweigelenkbögen überspannten Öffnungen die Träger ganz unter der Fahrbahn bleiben. Zu derselben Zeit entstand die Straßenbrücke über den Rhein bei Worms⁹⁾ mit elastischen, unter der Fahrbahn liegenden Zweigelenk-Sichelbögen (105,6 m) aus Thomasmittel (Abb. 66). Einige neuere Flußbrücken, wie die Donaubrücken in Straubing (1896) und Regensburg (1901) sowie die Weserbrücke bei Nienburg (1903) (Abb. 72) erhielten Fachwerk-Sichelbögen, die sich über die Fahrbahn erheben. Als Bogenfachwerke mit Kämpfergelenken wurden schließlich 1904–05 die Eisenbahnbrücke (152 m) über die Victoriafälle des Zambesi¹⁰⁾, 1906–08 die Brücke über die Angerschlucht der Tauernbahn (110 m)¹¹⁾ und neuerdings als weitest gespannte Brücke in Afrika (159,6 m) die Sanaga-Brücke in Kamerun¹²⁾ ausgeführt. Mit Blechbögen auf zwei Gelenken entstand 1906–08

die Jungbuschbrücke über den Neckar in Mannheim¹⁾ (114,0 m) (Abb. 75), nachdem schon 1892–95 die Carolabrücke in Dresden (52,9 m)²⁾ mit vollwandigen Dreigelenkbögen ausgestattet worden war (Abb. 115). Bei der Überführung der Pariser Stadtbahn über den Quai de Grenelle wurden, um einen sehr hohen Träger neben der leichteren oberen Passybrücke zu vermeiden, Zweigelenkbögen mit lotrecht abgebogenen Schenkeln verwendet³⁾. Ein eigenartiges Dreigelenk-Bogenfachwerk besitzt die Sarthe-Brücke (56 m)⁴⁾ bei Fillé in Frankreich (1895–96), deren Bogenhälften an der Stelle der größten Momentenwirkung auch den größten Gurtabstand aufweisen; es ist dies eine Trägerform, die u. a. an dem 1908 in Betrieb genommenen Assopos-Viadukt⁵⁾ (80 m) in Griechenland (Abb. 85) und an der im gleichen Jahr vollendeten Brücke über die Nam-Ti-Schlucht⁶⁾ in Junnan (China) wiederkehrt.

Gelegentlich hat man statisch unbestimmtes Bogenfachwerk unter Einlegung eines Scheitelgelenkes beim Bau vorübergehend als Dreigelenkbogen eingerichtet, z. B. an der Müngstener Hochbrücke (Abb. 59) und an der erwähnten Niagara-Straßenbrücke⁷⁾, um den Bogen mit Sicherheit so schließen zu können, daß er im fertigen Zustand den rechnerischen Vorausbestimmungen entsprach. Andererseits wurde an der Chausseebrücke bei Mölln über den Elbe-Trave-Kanal⁸⁾ das ursprünglich vorhandene Scheitelgelenk wieder aufgegeben, um durch feste Vernietung die durch den Verkehr erzeugten Durchbiegungen zu vermindern.

Entsprechend den durch die Elastizitätslehre ermöglichten neueren Berechnungs- und Konstruktionsweisen hat man 1881–82 an der Schwarzwasser-Brücke bei Bern⁹⁾ (114 m) (Abb. 54) und 1881–86 an der Straßenbrücke Luiz I über den Douro bei Porto¹⁰⁾ (172,50 m) wieder von Gelenken abgesehen; ebenso 1887–89 an der Straßen- und Eisenbahnbrücke über das Addatal bei Paderno (Abb. 57) in Italien (150 m)¹¹⁾, sowie 1895–98 an der Kornhaus-Straßenbrücke (Abb. 60) über die Aare in Bern¹²⁾ (114,86 m).

Ein wichtiger Schritt geschah in der Verwendung von steifen Bogenträgern mit Zugbändern, welche den Seitenschub so aufnehmen, daß die als Auflager dienenden Pfeiler nicht von ihm betroffen werden, die so konstruierten Brücken also ebenso gut zu den Balkenträgern gerechnet werden könnten. Der Gedanke an sich ist nicht neu, denn er geht

¹⁾ Allgem. Bauzeitg. 1838, S. 205. Atlas Bl. CCXI.

²⁾ Allgem. Bauzeitg. 1858, Bl. 212, Fig. 1–3.

³⁾ Zeitg. d. Ver. deutsch. Eisenb.-Verwaltgn. 1909, S. 1420.

⁴⁾ Zeitschr. f. Bauwes. 1899, S. 99. Atlas Bl. 17. Zentralbl. d. Bauverw. 1896, S. 558.

⁵⁾ Zentralbl. d. Bauverw. 1896, S. 343. Railroad Gazette 1896, S. 281.

⁶⁾ Scient. Am. 1898, Bd. 78, S. 245. 1899, Bd. 80, S. 396 mit Abb. S. 387. Engineering 1899, Bd. 67, S. 540 mit Tafelbeilage.

⁷⁾ Zentralbl. d. Bauverw. 1898, S. 617. Deutsche Bauzeitg. 1898, S. 645. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1899, S. 309.

⁸⁾ Zentralbl. d. Bauverw. 1898, S. 557. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1898, S. 1311. 1899, S. 320.

⁹⁾ Deutsche Bauzeitung 1900, S. 565.

¹⁰⁾ Deutsche Bauzeitg. 1905. Zeitschr. d. Ver. d. Ing. 1905, S. 715, 2089.

¹¹⁾ Allgem. Bauzeitg. 1909, S. 61.

¹²⁾ Zentralbl. d. Bauverw. 1912, S. 19, 388. Der Eisenbau 1912, S. 300.

¹⁾ Zentralbl. d. Bauverw. 1908, S. 277.

²⁾ Zeitschr. f. Arch.- u. Ingenieurwes. 1897, S. 314, Tafelbeilage 10. Engin. Record 1901, Bd. 43, S. 201, 225.

³⁾ Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnwes. 1909, S. 264.

⁴⁾ Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1900, S. 1250.

⁵⁾ Österr. Wochenschr. f. d. öff. Baudienst 1909, S. 722. Engineering News 1909. Vol. 62, S. 479.

⁶⁾ Le Génie Civil 1910, S. 277.

⁷⁾ Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1898, S. 1105.

⁸⁾ Ebenda, 1900, S. 580.

⁹⁾ Deutsche Bauzeitg. 1884, S. 141. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1885, S. 876. Zeitschr. f. Bauwes. 1886, S. 354. Atlas Bl. 38. Zentralbl. d. Bauverw. 1890, S. 407.

¹⁰⁾ Schweiz. Bauzeitg. 1886, S. 111.

¹¹⁾ Schweiz. Bauzeitg. 1888, Bd. 11, S. 123. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1888, S. 928.

¹²⁾ Deutsche Bauzeitg. 1898, S. 339, Abb. S. 337. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1898, S. 767, 1289, 1294.

auf die amerikanischen hölzernen Bogensehnensträger oder nach anderer Lesart auf einen Vorschlag des Mechanikers Josef Schmidbauer in München (1829) zurück. Ferner haben die ungarischen Ingenieure Hoffmann und Maderspach schon 1833 zu Lugos und 1837 an der Czernabücke bei Mehadia¹⁾ den Schub der gußeisernen Bögen durch eine schmiedeeiserne Stabkette aufgehoben. Von schweißeisernen Brücken ist wohl zuerst die Brooksbrücke in Hamburg (1888) mit Zugbändern ausgestattet worden. Ihr folgte 1892 die Hackerbrücke in München (Abb. 70), deren Zugband 2,2 m über der Mitte der Fahrbahn liegt, damit der Querverkehr nicht behindert und andererseits die Haupttragkonstruktion möglichst gleichmäßig der strahlenden Sonnenwärme ausgesetzt wird²⁾. Hauptsächlich aber fand der Bogen mit Zugband an Flußmetall-Brücken Verbreitung, nämlich 1897–99 an der Moselbrücke in Trarbach³⁾ (64,35 m) (Abb. 74) und an der Straßenbrücke über die Süderelbe bei Harburg⁴⁾ (100,10 m), sowie 1898–1901 an der 116,8 m weit gespannten Eisenbahnbrücke bei Worms⁵⁾ (Abb. 67), wobei letztere sowie die Trarbacher Brücke eine freischwebende Fahrbahn nach Harkort erhielten. Daran schlossen sich, um nur einige der größten Ausführungen dieser Art zu nennen, 1899–1901 die Königs-Straßenbrücke (Abb. 68) über die Elbe in Magdeburg⁶⁾ (135 m), 1902–03 die Kaiser-Brücke über den Rhein bei Mainz⁷⁾ (116,80 m) (Abb. 73), 1904–07 die Königin-Luisen-Straßenbrücke über die Memel in Tilsit⁸⁾ (105,6 m), und 1906–07 eine Straßenbrücke über die Oder bei Beuthen (101,76 m).

In Rußland wurde 1904 die Brücke über die Msta bei Borowitschy⁹⁾ (107 m) und die Wolgabücke bei Kasan (158,4 m)¹⁰⁾, in Tonkin 1908 die Eisenbahnbrücke über den Songma¹¹⁾ (162,40 m) als Bogen mit Zugband ausgeführt¹²⁾.

Schlaffe Bögen mit Versteifungszugbalken (Langer-Träger), also Konstruktionen, die einen ungehinderten Querverkehr und ungestörten seitlichen Ausblick ermöglichen sollen, wurden u. a. an der Ferdinandsbrücke über die Mur in Graz¹³⁾ (1881), an der Ihme Brücke in Hannover¹⁴⁾ und an der Überführung des Kurfürstendamms in Halensee (1892) angewandt.

¹⁾ Allgem. Bauzeitg. 1838, S. 403. Atlas Bl. CCXLII.

²⁾ Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1893, S. 1441.

³⁾ Deutsche Bauzeitg. 1898, S. 248, 257. Zentralbl. d. Bauverw. 1898, S. 219.

⁴⁾ Zentralbl. d. Bauverw. 1899, S. 477. Zeitschr. f. Bauwesen 1901.

⁵⁾ Deutsche Bauzeitg. 1900, S. 565. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1900, S. 1642.

⁶⁾ Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1903, S. 833.

⁷⁾ Deutsche Bauzeitg. 1904, S. 213. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1904, S. 686. Zentralbl. d. Bauverw. 1904, S. 221.

⁸⁾ Zentralbl. d. Bauverw. 1907, S. 573. Österr. Wochenschr. f. d. öff. Baudienst 1909, S. 687.

⁹⁾ Österr. Wochenschr. f. d. öff. Baudienst 1909, S. 136.

¹⁰⁾ Deutsche Bauzeitg. 1911, S. 257.

¹¹⁾ Le Génie Civil 1908, Bd. 55, S. 25.

¹²⁾ Über die 134,3 m weite neue Brücke „Kaiser Peter des Großen“ in Petersburg s. Der Eisenbau 1910, S. 320.

¹³⁾ Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. z. Hannover 1883, S. 552. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1883, S. 559. 1900, S. 579.

¹⁴⁾ Deutsche Bauzeitg. 1890, S. 255.

c) Hängebrücken.

1. Kettenbrücken.¹⁾

Als man anfangs das Schmiedeeisen zu bevorzugen, war es nach dem damaligen Zustand der Industrie fast unmöglich, große Stücke zu fertigen. Andererseits verlangte gerade der Brückenbau die Bewältigung immer größerer Spannweiten. Man mußte sich daher um Lösungen bemühen, die den zu Gebote stehenden technischen Hilfsmitteln entsprachen. Da griffen die Amerikaner die Hängekonstruktion auf und spannten als Brückenträger Ketten aus, die aus einzelnen geschmiedeten Gliedern von Rund- oder Quadrateisen leicht zusammensetzen waren, und an eisernen Stangen die horizontale Brückenbahn trugen. Allerdings war dieser Gedanke nicht neu, denn mit Hängekonstruktionen aus Lianen-tauen u. dergl. hatten schon seit undenklicher Vergangenheit einfache Naturvölker Schluchten und Ströme überbrückt, es sei z. B. nur an die Seilbrücken über den Apurimac in Peru u. a.²⁾ erinnert. Auch hat man, wie erwähnt, bereits in alter Zeit in China, dann in Tibet bei Schloß Dürbi und bei Müirschom, im Jahre 1741 über den Teesfluß³⁾ in England u. dergl. m. Brücken geschlagen, bei welchen die Bahn auf Ketten lag. Selbst die Aufhängung der Bahn an dem ausgespannten Trageseil kann nicht als amerikanische Neuerung betrachtet werden, da sie bereits im Jahre 1617 von Faustus Verantius bildlich dargestellt wurde⁴⁾. Aber das Verdienst der Amerikaner ist, die Hängebrücken sachgemäß ausgestaltet und folgerichtig weiter entwickelt zu haben.

Die erste derartige Brücke wurde von James Finley im Jahre 1796 zwischen Union-Town und Greenburgh über den Jacobs Creek mit 21 m Spannweite erbaut. Weitere Brücken dieser Art folgten sehr rasch, so daß um 1808 deren bereits 40 in Amerika bestanden. Die bedeutendste darunter wurde die 1809 vollendete und erst 100 Jahre später für den Verkehr geschlossene Merrimac-Brücke bei Newburyport in Massachusetts⁵⁾ (62 m Hauptweite). Bald nahm auch England den Bau von Hängebrücken auf, wenn auch mit zeitweiligem Mißerfolg, indem z. B. die 79 m weite Kettenbrücke über den Tweed bei Dryburgh-Abbey⁶⁾ (1817–18) bald wieder einstürzte. Hauptsächlich war hierbei Schuld, daß die nach den Vorschlägen von Löscher (1784) und Poyet (1787) angewandten geraden Schrägbänder nicht genügende Steifigkeit ergaben. Sie wurden daher beim Wiederaufbau fast alle weggelassen und durch Tragketten ersetzt, welche man hier zum erstenmal seitlich ausspreizte, um größere Steifigkeit für die Brücke zu erzielen. Zu gleichem Zweck kamen auch schon festgebaute Holzgeländer, sich kreuzende Ketten an der Unterseite der Bahn, und Rückhaltketten nach den Ufern zur Anwendung.

¹⁾ Zur Übersicht über die wichtigsten Kettenbrücken s. Tabellen bei Mehrrens, Eisenbrückenbau, S. 366, 414, 418.

²⁾ Mehrrens, Eisenbrückenbau, S. 227, Fig. 251. Allgem. Bauzeitg. 1840, S. 112. Zeitschr. f. Bauwes. 1857, S. 225. Vergl. auch: K. Weule „Die Urgesellschaft und ihre Lebensfürsorge“, Stuttgart 1912, Verlag Kosmos, S. 104 „Lianenbrücke in Kamerun“, S. 105 „Tarabite (Seilbrücke) in den Cordillern Südamerikas“.

³⁾ Mehrrens, Eisenbrückenbau S. 230, Fig. 255.

⁴⁾ Zentralbl. d. Bauverwaltg. 1910, S. 645, Abb. 7.

⁵⁾ Engineering News, 3. Aug. 1911, S. 129. Der Eisenbau 1912, S. 48.

⁶⁾ Mehrrens, Eisenbrückenbau, S. 241, Fig. 265. Zeitschr. f. Bauwes. 1857, S. 232.