



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Die künstlerische Gestaltung von Eisenkonstruktionen

Text

Jordan, Hermann

Berlin, 1913

C. Brücken

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

bei Madras¹⁾. In Europa faßte schon im 16. Jahrhundert das damals so hoch gebildete Volk der Italiener den Plan, eiserne Brücken zu errichten, und im Jahre 1625 schrieb Faustus Verantius über den Bau von eisernen Bogen- und Kettenbrücken unter Beibringung von Abbildungen²⁾. Praktisch aber hat man, abgesehen vom fernsten Osten, das Eisen bis ins 18. Jahrhundert hinein fast nur zu Hilfskonstruktionen, Verankerungen usw. benutzt. Es sei z. B. an die von Sansovino im Jahre 1523 vorgenommenen Ring-Verankerungen der Kuppeln von St. Marco in Venedig, an die Verankerungen der von Perrault errichteten Colonnade du Louvre³⁾ und des von Rondelet 1770 aufgeführten Portals der Kirche Sainte-Geneviève (Pantheon) zu Paris erinnert⁴⁾. Es waren eben Stahl und Eisen bis dahin zu wertvoll, um in großem Maßstab benutzt zu werden, und abgesehen davon, daß man sich noch nicht auf die Erzeugung im großen verstand, fehlte es auch an geeigneten Werkzeugen und Maschinen für die Bearbeitung. Infolgedessen waren Stein und Holz die vorwiegend verwendeten Baustoffe.

Allmählich dachte man aber doch an eine selbständigere Benutzung des Eisens. So beschäftigte sich bereits im Jahre 1719 Désagulier mit dem Entwurf zu einer eisernen Themsebrücke und 1755 wagte sich Garrin zu Lyon sogar an die Ausführung einer Eisenbrücke. Die damals noch große Unvollkommenheit in den Herstellungs- und Bearbeitungsweisen des Eisens ließ allerdings die Brücke nicht über den ersten Bogen hinaus kommen, und sie wurde in Holz fertig gestellt.

Nach allen diesen Ansätzen, die noch zu keinem tatsächlichen Ergebnis geführt hatten, machte erst der scharfblickende englische Ingenieur Smeaton⁵⁾ das Eisen, u. zw. in Gestalt des Gußeisens, bautechnisch nutzbar, indem er es für Walzgerüste, Wasserräder, Mühlenbauten usw., und für Teile seines berühmten Leuchtturms von Eddystone (1757 bis 1759) anwandte. Hierbei hatte er anfangs freilich unter manchen Zweifeln und Bedenken zu leiden, deren er noch im Jahre 1782 mit den Worten gedachte:

„Als ich vor 27 Jahren zum ersten Mal Gußeisen für gewisse Zwecke verwandte, rief alles: ‚Wie kann sprödes Gußeisen halten, wenn das stärkste Zimmerholz nicht widersteht?‘“⁶⁾

Wie überschätzend man andererseits nach dem Aufkommen des Eisens noch zu Anfang des 19. Jahrhunderts über das Gußeisen im Verhältnis zum Schmiedeeisen dachte, geht aus einer Äußerung des damaligen französischen Generalinspektors Gauthey hervor:

„À l'égard du fer forgé comme il coute environ deux fois plus que le fer fondu, que sa résistance n'augmente pas à beaucoup près dans le même rapport que sa valeur, et que son emploi comporte des difficultés d'exécution qui n'existent point pour la fonte, il est vraisemblable qu'il ne lui sera jamais (!) préféré pour la construction des grands ponts.“⁷⁾

¹⁾ Daub, Die Vergangenheit des Hochbaues. S. 72.

²⁾ Zentralbl. d. Bauverwaltg. 1910, S. 643 mit Abb.

³⁾ Rondelet, Kunst zu bauen, Atlas Taf. CL, Fig. 1—8.

⁴⁾ Ebenda Taf. CLI.

⁵⁾ Zeitschr. f. Archit. u. Ingenieurwesen 1900, S. 381.

⁶⁾ Meyer, Eisenbauten, S. 17.

⁷⁾ Vierendeel, Constr. arch., S. 27.

Jordan-Michel, Eisenkonstruktionen. I.

Die eigentliche Entwicklung der Eisenbauweise fällt zeitlich fast genau mit dem Verlauf des 19. Jahrhunderts zusammen. Welche Bedeutung das Eisen in diesem Zeitraume gewinnen sollte, hätte an seinem Beginn selbst die kühnste Phantasie sich nicht träumen lassen, obwohl der Chemiker Fourroy, der 1801 von Napoleon zum Unterrichtsminister ernannt wurde, bereits vorahnend erklärte: „L'art du fer, dans ses divers progrès de perfectionnement marque exactement le progrès de toute civilisation.“¹⁾ Im Jahre 1821 erklärte Röder in seiner Brückenbaukunde: „Der angehende Ingenieur wird wohl schwerlich sobald in den Fall kommen, eine eiserne Brücke bauen zu sollen“, und heute sind in Deutschland allein etwa 12 000 eiserne Brücken zu zählen. Die gesamte jährliche Eisen-Erzeugung der Erde stieg während des 19. Jahrhunderts von 850 000 t auf rund 38 000 000 t.²⁾ In Deutschland mit Luxemburg nahm sie von 693 725 t im Jahre 1848 auf 15 448 212 t im Jahre 1897 zu, in England von 127 081 t im Jahre 1796 auf 8 798 236 t im Jahre 1896.³⁾

In den Jahren 1907—11 sind an bemerkenswerten eisernen Brücken (über 100 m Weite) auf der ganzen Erde rund 170 Öffnungen entstanden, dagegen an bedeutenden massiven Brücken, die Rohn⁴⁾ von 45 m Weite ab rechnet, nur 75 Öffnungen.

C. Brücken.⁶⁾

I. Feste Brücken.

a) Balkenbrücken.

1. Auf zwei Endstützen.

Blechträger, Kastenträger, Walzträger.

Im Jahre 1713 erkannte Parent, daß für jeden Querschnitt des auf Biegung beanspruchten Balkens sich die Spannungen zu beiden Seiten einer Nulllinie verteilen, und von letzterer aus nach den äußersten Fasern hin zunehmen. Als nun die Eisenbauweise aufkam, machte man sich diese Entdeckung zu Nutze, indem man im Balkenquerschnitt das Eisen dort, wo es überflüssig oder durch sein Gewicht nur schädlich war, also in der Gegend der Nulllinie, wegließ⁷⁾.

¹⁾ Mehrtens, Der deutsche Brückenbau, S. 2.

²⁾ Röder, Brückenbaukunde, 2. Teil, S. 271.

³⁾ Zeitschr. f. Bauwesen 1901, S. 467 und 471.

⁴⁾ Zeitschr. d. österr. Ing. u. Arch.-Vereins 1899, S. 355 u. f. Vergl. auch Tabelle in Technik und Wirtsch. 1910, S. 13.

⁵⁾ Schweiz. Bauzeitg. 1912, Tabelle S. 52.

⁶⁾ Tabelle der wichtigsten Eisenbrücken s. Deutsch. Bauhandb., Bauk. d. Ing. Der Brückenbau Bd. I. Eiserne Brücken, S. 223. Über ältere Brücken s. Allg. Bauzeitg. 1852, S. 163, Atlas Bl. 478—84. Zeitschr. f. Bauwes. 1864, S. 33.

Über Entwickl. des amerik. Brückenbaues s. Engin. Record 1905, Bd. 51, S. 707. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1905, S. 1576. Übersicht der größten Spannweiten usw. bei amerikanischen Brückensystemen s. Engineering News Vol. 65. 1911, S. 589.

Tabelle über russische Balkenbr. s. Zentralbl. d. Bauverw. 1908, S. 658.

Über eiserne Brücken in Rußland s. Der Eisenbau 1911, S. 343. Über „Brückenbau der letzten Jahre“ s. Schweiz. Bauzeitg. 1912, S. 49 mit Tabelle.

⁷⁾ Zeitschr. f. Bauwesen 1901, S. 475.

Es entstanden so die gußeisernen I-Profile usw., deren Berechnung Navier bereits im einzelnen durchführte. Wollte man aber derartige Profile in Schmiedeeisen haben, so war man genötigt, sie entweder aus Flachbändern mittels übergelegter Bügel zusammen zu schrauben, wie noch 1835–40 am eisernen Hallendach des Justizpalastes zu Tours, oder sie sich mit der Hand zurecht zu schmieden. Alles dies war aber teuer und umständlich. Erhebliche Vorteile brachte erst die heiße Nietung. Von wem sie erfunden und zuerst angewandt wurde, ist nicht bekannt, doch wurde der erste Blechträger, allerdings zu Schiffszwecken, bereits im Jahre 1820 auf dem Eisenwerk Tipton bei Birmingham zusammen-gesetzt¹⁾. Als eine der frühesten genieteten Arbeiten an einem feststehenden Bauwerk dürfte der 12 m weit gespannte Fußboden des Wintergartens zu St. Petersburg²⁾ vom Jahre 1835 anzusehen sein. Gewisse Rückschlüsse gewährt uns ferner die Nachricht, daß bereits im Jahre 1839 William Fairbairn eine Maschine zum Nieten von Schiffsblechen mit Dampf erfunden habe³⁾.

Die größte Weite in Blechträgern erreichten späterhin, wie bereits hier bemerkt sei, die französischen Bahnen, in denen u. a. 1855–56 die Garonnebrücke bei Langon (73,40 m) die weitest gespannte Blechbalkenbrücke der Welt, entstand⁴⁾.

Sehr bald kamen auch die Kastenträger auf, zunächst noch mit gußeisernem Obergurt, während die Wände und der Untergurt schon aus Schmiedeeisen bestanden, wie das erste Beispiel dieser Art, Stephenson's 18 m weite Wege-überführung (1846) auf dem Bahnhof Camden bei London zeigt⁵⁾. Rein aus Schmiedeeisen waren die Kastenträger der 1849 von Fowler erbauten Torkseybrücke über den Trent⁶⁾.

Größere Konstruktionsfreiheit gewährte die mit dem Puddelprozeß in die Großproduktion übernommene englische Erfindung der Kaliberwalzwerke, mit deren Hilfe die mannigfaltigsten für Bauzwecke geeigneten Profile hergestellt wurden. Unter diesen gewann die von Zorès im Jahre 1849 eingeführte I-Form die größte Bedeutung. Nach der Natur der Sache ergaben sich für die gängigsten Stabeisen usw. im rasch entwickelten Großbetrieb und auf Grund von Erfahrungen und Vereinbarungen mit der Zeit gewisse Normalformen, die im Jahre 1881 im deutschen Normalprofilbuch zusammengefaßt, und 1902 noch um die breitflanschigen Spezialträger erweitert wurden.

Erst dadurch, daß die Walzeisen in die Praxis eingeführt wurden, bot sich die Möglichkeit, im Bau von Hallen, Brücken usw. den Anforderungen der sich allerwärts ausdehnenden Eisenbahn nachzukommen. Soweit bisher Brücken notwendig gewesen waren, hatte man sie aus Stein, aus hölzernen oder allenfalls gußeisernen Trägern (letztere

bis 20 m Weite) hergestellt. Bei großen Spannweiten hatte dies aber nicht mehr ausgereicht. Auch mit gußeisernen Bogenbrücken und mit schmiedeeisernen Blechträgern war man nicht weiter als bis etwa 70 m gekommen. Nur die Hängebrücken hatten größere Weiten gestattet, zugleich aber die Unsicherheit ihrer bisherigen Konstruktion zur Genüge dargetan. Da faßte Stephenson den kühnen Entschluß, das so vorteilhafte Hohlprofil im großen anzuwenden und erbaute 1846–50 aus Blechen und Winkel-eisen die Britannia-Brücke¹⁾ über die Menai-Meerenge als sogenannte Röhren- oder Tunnelbrücke d. h. als durchgehenden Kastenträger von solcher Weite, daß ein Eisenbahnzug durch sein Inneres hindurchfahren konnte. Damit entstand die erste große und dazu rein schmiedeeiserne Balkenbrücke der Erde, mit der eine Spannweite von 140,21 m, also das Doppelte des bisher erreichten Maßes, überdeckt wurde (Abb. 1). Die Seitenwände des Kastens sind als einfache Platten, die Zug- und Druckgurte als rechteckige Röhren mit Scheidewänden d. h. als Längszellen ausgeführt, die so bemessen sind, daß für Ausbesserungs- und Anstricharbeiten ein Mann hindurchkriechen kann. Nach dem gleichen Grundgedanken entstand gleichzeitig die Conwaybrücke²⁾ (122 m), sowie 1854–59 die Victoriabrücke über den St. Lorenz-Strom bei Montreal in Canada mit 100 m größter Weite³⁾. Wenn sich auch bald erwies, daß sich bei dieser Konstruktionsweise die Kräfte sehr unvorteilhaft übertrugen, daß die Herstellung und ebenso auch die Unterhaltung schwierig war, daß also die gewählte Bauweise noch keineswegs als rationell angesehen werden konnte, so war doch die Errichtung der Britannia-Brücke im Vergleich mit dem bisher Geleisteten eine große, kühne Tat. Mit ihr siegte das Schweißeisen über das Gußeisen, und man kann daher mit vollem Recht das Zeitalter der Groß-Konstruktionen in Walzeisen vom Jahre 1850 ab rechnen.

Gegliederte Träger:

Gitterwerk.

Als erste Vorstufe gegliederter Konstruktionen können die Häng- und Sprengwerke betrachtet werden, wie man sie z. B. 1840 an einem Fußgängersteg bei St. Bathaus⁴⁾ in England verwandte und deren Gedanke noch 1852 zu dem mit versteifenden Zugschrauben im Mittelfeld versehenen aufgestellten doppelten Hängewerk der Wye-Brücke bei Chepstow geführt hat⁵⁾. Auch die damals beliebten Balken-, Fischbauch- und Bogenträger aus Eisenbahn-Schienen wären hier zu nennen.

Als empfehlenswert erwies sich sehr bald das Dreieck-System, das Fachwerk. In Holz sind Dreieck-Stabwerke

¹⁾ Allgem. Bauzeitung 1848, S. 203. 1849, S. 175, Atlas Bl. 277.

²⁾ Allgem. Bauzeitung 1849, S. 175, Atlas Bl. 273.

³⁾ Zeitschr. f. Bauwes. 1859, S. 490. 1860, S. 539, nebst Textbl. W.

⁴⁾ Mehrtens, Eisenbrückenbau, S. 515, Fig. 634.

⁵⁾ In der Wye-Brücke sind zwar schon die Anfänge des Halbparabelträgers gesucht worden, es hat aber die Gestalt des letzteren dem Bewußtsein des Urhebers, Brunels, wohl fern gelegen (Briefl. Mitt. v. Geh.-Rat Barkhausen). Näheres über diese Brücke s. Notizbl. d. Arch. u. Ing.-Ver. f. d. Königl. Hannover, Bd. 1, 1851, S. 360, Tafelbeilage 28–30. Allg. Bauzeitg. 1852, Bl. 486. Nouv. ann. de la constr. 1855, Taf. 25. Zeitschr. f. Bauwes. 1861, S. 111.

¹⁾ Zeitschr. f. Bauwesen 1901, S. 470.

²⁾ Vierendeel, Constr. arch., Taf. 2, Fig. 4–6.

³⁾ Beck, Gesch. d. Eisens, Bd. IV, S. 641.

⁴⁾ Abb. bei Molinos et Pronnier a. a. O. Über Balkenbrücken vergl. Tabellen bei Mehrtens, Eisenbrückenbau, S. 602, 610, 616, 630, 684.

⁵⁾ Allg. Bauzeitg. 1852, S. 166, Atlas Bl. 478.

⁶⁾ Mehrtens, Eisenbrückenbau, S. 523. Fig. 648.

schon früh hergestellt worden und es lassen sich ihre Spuren weit bis in die römische und ägyptische Kunst zurück verfolgen¹⁾. Trotz dieses Alters haben aber die Fachwerke bis zum 18. Jahrhundert keine besondere Beachtung gefunden, vornehmlich wohl, weil man das Spiel der in ihnen wirkenden Kräfte nicht genügend kannte, um mit Sicherheit konstruieren zu können. Nach Aufkommen des Eisenbaues wurde ihre Entwicklung vor allem durch die Schwierigkeiten behindert, welche der Verarbeitung und Verbindung von Schmiedeeisenteilen anfangs im Wege standen. Allerdings hatte Bruyère im Jahre 1808 einen kleinen eisernen Steg über den Crou in St. Denis (12 m), „die einzige ganz schweißeierner Bogenbrücke der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts“²⁾ unter folgerichtiger Anwendung der Dreieck-Verbindung ausgeführt, auch wußte er die Bedeutung der letzteren, die ja späterhin allen Eisenkonstruktionen als Grundlage dienen sollte, sehr wohl zu schätzen, indem er nach dem System der Crou-Brücke im Jahre 1810 einen schmiedeeisernen Fußgängersteg von sogar 130 m Spannweite entwarf. Aber sein vorgegreifend kühner Gedanke fand keinen Anklang, wenn auch Telford die Zwickel verschiedener gußeiserner Bogenbrücken, z. B. der Spey-Brücke bei Craig-Ellachie³⁾ mit Wandgliederungen in Gestalt von Andreaskreuzen und von zweiteiligem Strebenwerk ausfüllte.

Die Aufnahme des Fachwerks in den Eisenbau vollzog sich vielmehr auf zwei anderen, ganz verschiedenen Wegen:

In Amerika wurde der dort übliche Holzbau maßgebend, für welchen Town zwei parallele Balken durch schräge sich kreuzende Holzlatten verbunden und so um 1820 die nach ihm benannten Lattenbrücken⁴⁾ geschaffen hatte. Diese wurden bald in Eisen nachgeahmt. Es hafteten ihnen zwar erhebliche Mängel an, vor allem da man zu viel Gußeisen und dieses nicht immer an der richtigen Stelle verwandte; auch waren die Knotenpunkte vielfach mangelhaft durchgebildet und es fehlte an Querversteifungen. Ihr Grundgedanke wurde jedoch als wertvoll anerkannt und von der Technik bereitwillig aufgenommen.

In Europa andererseits kam man zu gleichartigen Bauweisen, indem man die bisherigen vollwandigen genieteten Träger leichter herzustellen suchte, und deshalb ihre Blechstege durch engmaschiges Stabwerk ersetzte, wobei wohl der amerikanische Town-Träger anregend mitwirkte. Damit entstanden die sog. Gitterträger, die zeitweise eine wichtige Rolle spielten.

Die 1845 über den Royal-Kanal bei Dublin mit 42,67 m Spannweite gestreckte eiserne Gitterbrücke der Dublin-Drogheda-Bahn⁵⁾ stellt eins der ersten europäischen Beispiele dieser Art dar, dem rasch zahlreiche andere folgten, während die Träger mit vollen Wandungen künftig auf Brücken mit kleineren Spannweiten (bis etwa 20 m) beschränkt blieben. In Deutschland fanden die engmaschigen Parallel-Gitterbrücken hauptsächlich durch Henz im Jahre 1846 mit dem

Bau der Neißerbrücke bei Guben¹⁾ Eingang. Das hier vorgenommene Durchflechten der Gitterstäbe wurde aber bald wieder aufgegeben: Schon 1847 an der Wupperbrücke in Barmen-Rittershausen wurden nur noch gekreuzte Gitterstäbe verwendet. Ferner wurde an den Gitterträgern der Gebrauch des Gußeisens, in welchem man noch an der Ruhrbrücke bei Altstaden die ganze Druckgurtung hergestellt hatte, mit der Zeit immer mehr eingeschränkt; die Saale-Brücke bei Grizelna (1848) erhielt bereits rein schmiedeeiserne Gurte in T-Form²⁾.

Während Town eine Berechnung seiner Systeme noch nicht vorgenommen hatte, erfolgte eine genaue Vorherbestimmung der Gitterträger etwa vom Jahre 1851 an, als Schwedler seine einschlägigen Untersuchungen veröffentlicht und Culmann die Theorie der geraden und parallelförmigen Fachwerke gebracht hatte. Nun konnte die Weichsel-Brücke bei Dirschau³⁾ entstehen, die mit sechs Öffnungen von je 123,13 m als weitest gespannte und längste aller Gitterbrücken im Jahre 1857 der Britannia-Brücke würdig zur Seite trat (Abb. 6). Gegenüber früheren Gitterbrücken, die durchweg gleich starke Gurtungen und Stäbe erhalten hatten, sind bei der Dirschauer Brücke wie auch an der gleichzeitigen und gleichartigen Nogat-Brücke bei Marienburg⁴⁾ (Abb. 2) als wichtige Neuerung alle Querschnitte entsprechend den zugehörigen Spannungen gewählt, d. h. am stärksten dort, wo auch die größten Kräfte auftreten. Eine weitere Verbesserung ist die Einführung senkrechter Winkelleisen zur Versteifung der Gitterwände. Die Dirschauer-Brücke besitzt gitterartige Querträger und Querversteifungen, sowie offene Zellengurte, die wohl noch einen letzten Anklang an die Menai-Brücke darstellen, während die Marienburger-Brücke bereits einfacher gestaltet ist.⁵⁾ Um etwa dieselbe Zeit entstanden mit Gitterträgern 1859 die Eisenbahn- und Straßenbrücke bei Köln⁶⁾ (99 m), sowie 1860 die Eisenbahnbrücke bei Kehl⁷⁾ (60 m) (Abb. 12).

Allmählich machten sich aber gewisse Nachteile des engmaschigen Gitterwerks bemerkbar. Vor allen Dingen erlitten die gezogenen Stäbe eine beträchtliche Nietverschwächung, so daß ein ziemlicher Material-Aufwand nötig wurde. Auch war es trotz aller Fortschritte der Wissenschaft schwierig, die in den vernieteten Gitterstäben gleichzeitig auftretenden Zug-, Druck-, Biege- und Scherspannungen theoretisch scharf zu verfolgen. Man wandte sich deshalb sehr bald einem Eisengefüge mit weiteren Maschen und steifen Stäben zu, d. h. das Fachwerk im eigentlichen Sinne trat in den Vordergrund, u. zw. vorwiegend nicht mehr als kontinuierlicher Träger, sondern als Träger auf zwei End-Stützen.

Parallel-Fachwerk.

Das Parallel-Fachwerk ist ungefähr gleichlaufend mit dem Gitterwerk entstanden, und kann in Amerika auf das dortige Holzfachwerk mit Gegenstreben zurückgeführt

¹⁾ Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1900, S. 500.

²⁾ Mehrtens, Eisenbrückenbau, S. 644. Abb. S. 652, Fig. 831.

³⁾ Engineering 1892, Bd. 53, S. 188, Fig. 58.

⁴⁾ Allgem. Bauzeitung 1839, Atlas Bl. CCXC1; 1851, S. 80. Atlas Bl. 396.

⁵⁾ Allg. Bauzeitg. 1848, S. 1. Atlas Bl. 148, 149.

¹⁾ Zeitschr. f. Bauwes. 1853, S. 470, Atlas Bl. 67.

²⁾ Ebenda S. 479, Atlas Bl. 69, 70.

³⁾ Ebenda 1855, S. 446, Atlas Bl. 49, 50.

⁴⁾ Ebenda S. 454, Atlas Bl. 42, 43.

⁵⁾ Zeitschr. f. Bauwes. 1855, Atlas Bl. 45, 64.

⁶⁾ Ebenda 1863, S. 175 und 335, Atlas Bl. 31—39.

⁷⁾ Ebenda 1860, S. 7, Atlas Bl. 5—7.

werden¹⁾, für welches Long 1839 ein Patent erhielt. Howse setzte eiserne Zugstäbe an die Stelle der hölzernen, und bildete schließlich 1845 in der Manayunk-Brücke²⁾ die Holz-Eisen-Träger ganz in Eisen nach, wie es ähnlich bereits Trumbull 1840 mit seiner Gußeisenbrücke über den Erie-Kanal bei Francfort N. Y. versucht hatte³⁾.

Von größtem Einfluß auf die spätere Bauart amerikanischer Balkenbrücken war der von Whipple 1847 angegebene Trapezträger, wie er u. a. 1858–59 an der ersten amerikanischen Bolzenbrücke, der Brücke über den Kanal von Philippsburg, mit 50 m Weite angewandt wurde. Eine gewisse Bedeutung gewannen auch die von Rider 1847–50 nach dem Grundgedanken Longs erbauten mehrteiligen, durch Ständer versteiften Strebenfachwerke, sowie die meist aus dem Hängwerk entwickelten Träger von Bollmann und von Fink (1851–52). Mit letzteren wurde u. a. 1858 die Monongahela-Brücke bei Clarksburg (60 m) ausgerüstet. Bei allen diesen Bauten kam das Schweißeisen noch mit Gußeisen gemischt vor, weil man glaubte, daß Schmiedeeisen nur für die auf Zug beanspruchten Teile geeignet sei. Die erste ganz schweißeiserne amerikanische Eisenbahn-Fachwerkbrücke wurde erst 1859 von Howard Carroll über den Mohawkfluß bei Schenectady ausgeführt.

Im ganzen gestaltete sich die Entwicklung des Eisenbaues in Amerika so lebhaft, daß beispielsweise allein über dem Missouri, wenn man alle Systeme zusammenrechnet, jetzt 31 Brücken bestehen, von denen die älteste, die Hannibalbrücke in Kansas City (Mo) im Jahre 1869 erbaut worden ist, aber 1891 wieder neu errichtet werden mußte⁴⁾.

In Europa entwickelte sich das Parallelfachwerk unmittelbar aus dem engmaschigen Gitterwerk, indem man dessen Maschenweite allmählich vergrößerte (Flackenseebrücke⁵⁾ bei Erkner 1857), und in dieser Richtung weitergehend schließlich das mehrteilige Strebenfachwerk entstehen ließ. Ein solches wurde u. a. 1855 von James Barton an den als Neuheit auftretenden Doppelwänden der Boynebrücke bei Drogheda⁶⁾ in Irland ausgeführt und wirkte in Deutschland durch seine Verwendung an der Moselbrücke bei Coblenz⁷⁾ sowie an der Eisenbahn- und Straßenbrücke über die Nahe bei Bingen⁸⁾ besonders lange vorbildlich; es sei z. B. nur die mit vierfachem Fachwerksystem ohne Vertikalen ausgeführte Straßen- und Eisenbahnbrücke (88,6 m) über die Mosel bei Bullay genannt⁹⁾.

Daneben nahm man auch das amerikanische Ständerfachwerk mit Gegenstreben auf, und zwar zuerst 1844 in England. Zur Ausbildung dieses Brückensystems haben vor allem die Veröffentlichungen von Mohnié¹⁰⁾ beigetragen, nach dessen

Vorschlag 1859 die Eisenbahnbrücke über den Jumna bei Allahabad¹⁾ in Indien (62,50 m) und 1863–64 die Brücke über den alten Rhein bei Griethausen²⁾ (100,40 m) als „Ver-einigung mehrerer einteiliger Fachwerke mit Hauptstreben zu einer mehrteiligen Wandgliederung“ entstand. Seine höchste Ausgestaltung fand das Mohnié-Fachwerk an der 1865–67 erbauten Rheinbrücke zwischen Ludwigshafen und Mannheim (89 m).

Mit der Zeit ging man aber doch zu einfacheren, die Kräfte klar aufnehmenden Wandgliederungen, zum Fachwerk ohne Gegenstreben mit knickfester Diagonale über. So waren bereits 1846 von dem belgischen Ingenieur Néville eiserne einteilige Strebenfachwerke vorgeschlagen worden, welche mehrere parallele aus Schmiedeeisen und Gußeisen zusammengesetzte Gurte sowie nur geneigte, nach dem gleichseitigen oder mindestens gleichschenkligen Dreieck angeordnete Füllungsstäbe verwendeten. Die Néville-Brücken fanden hauptsächlich in Frankreich, Österreich und Italien Aufnahme, u. zw. größtenteils mit recht schlechtem Erfolg³⁾. Warren hat um 1849 das System durch Fortlassen der Mittelgurte, Wahl von Schweißeisen für den Untergurt, Einführen von Bolzen-gelenken an Stelle der bisherigen Klemmverbindungen u. dergl. m. verbessert, und es wurden danach, um nur Beispiele zu nennen, 1851 die 73,3 m weite Brücke der Great-Northern-Bahn über den Trent bei Newark⁴⁾ und 1853 die Crumlin-Talbrücke⁵⁾ bei Newport in Süd-wales hergestellt.

Die Warren-Bauart wurde bald auch nach Amerika übernommen und fand dort starke Verbreitung. Sie wurde u. a. der durch ihre große Weite von 122 m ausgezeichneten Ohiofallbrücke bei Louisville (1868–70) von Fink zu Grunde gelegt, erfreut sich aber unter zeitgemäßer Weiterbildung auch heute noch großer Beliebtheit⁶⁾. Ihr Füllungssystem hat man sogar auf Bogenbrücken übertragen, wie die neue St. Croix-River-Brücke zeigt⁷⁾. In Frankreich wurde nach dem System Warren neuerdings (1905–08) in freiem Vorbau die Hochbrücke von Les Fades über die Sioule mit gemauerten Pfeilern von 92,33 m Höhe ausgeführt⁸⁾.

Weniger günstig war eine andere Ausbildung des Néville-Systems, der Schiffkorntträger, der hauptsächlich durch den im Jahre 1868 erfolgten Einsturz der Pruthbrücke bei Czernowitz⁹⁾ in Verruf kam.

Als neuere Balkenbrücken mit Parallelträgern entstanden u. a. eine Rheinbrücke bei Kehl (1897–98) (Abb. 13),

¹⁾ Humber, Treatise on iron bridge construction S. 196, Atlas Bl. 41–45.

²⁾ Hartwich, Erw. d. rhein. Eisenb., 3. Abt., S. 13, Bl. 9–12.

³⁾ Über Néville-Brücken in Leitmeritz s. Allg. Bauzeitung 1911. Heft 1, S. 12.

⁴⁾ Zeitschr. f. Bauwes. 1857, S. 220, Atlas Bl. 29.

⁵⁾ Zeitschr. f. Bauwesen 1858, S. 18. Atlas Bl. 11–14. Allg. Bauzeitg. 1863, S. 89, Atlas Bl. 560.

⁶⁾ Über Einlegen von Zwischenteilen s. Deutsche Bauzeitg. 1873, S. 51: Tay-Brücke bei Dundee.

⁷⁾ Engineering News Vol. 66, 1911, S. 757. Der Eisenbau 1912, S. 292.

⁸⁾ Engineering 1909, S. 877, Zeitg. d. Ver. deutsch. Eisenb.-V. 1909, S. 1005, 1284. Le Génie Civil 1909, Bd. 55, S. 81.

⁹⁾ Zeitschr. d. Ver. d. Eisenb.-Verw. 1868, S. 322. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1868, S. 775.

¹⁾ Allgem. Bauzeitg. 1851, S. 71, 74. Atlas Bl. 388. Zeitschr. f. Bauwes. 1862, S. 217, Atlas Bl. 36–39.

²⁾ Mehrrens, Eisenbrückenbau, S. 585.

³⁾ Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1905, S. 1576.

⁴⁾ Engineering News 09, S. 461.

⁵⁾ Zeitschr. f. Bauwes. 1859, S. 37, Bl. 12, 13.

⁶⁾ Zeitschr. f. Bauwes. 1857, S. 215, Atlas Bl. 27, 28.

⁷⁾ Hartwich, Erw. d. rhein. Eisenb., 3. Abt. S. 6, Bl. 1–3.

⁸⁾ Ebenda S. 9, Bl. 4–8.

⁹⁾ Zeitschr. f. Bauwes. 1884, S. 52, Atlas Bl. 37.

¹⁰⁾ Ebenda, 1858, S. 277.

sowie Brücken über den Dnjestr (102 m) bei Rybnitz (1893) und über den Jenissei bei Krasnojarsk in Sibirien¹⁾ (144 m).

Die oben erwähnte Crumlin-Talbrücke ist u. a. dadurch bedeutsam, daß an ihr zum ersten Male in Europa völlig eiserne Turmpfeiler auftreten, u. zw. sind diese bis zu 62 m hoch und werden aus gußeisernen Pfosten und Querverbänden und schweißeisernen Andreaskreuzen gebildet. Nebenbei bemerkt war in Amerika schon im Jahre 1852 der Trayrun-Viadukt in der Baltimore-Ohio-Bahn mit gußeisernen Stützen versehen worden²⁾.

Weitere Pfeiler-Ausführungen in Gußeisen zeigen u. a. der Grandfey-Viadukt über die Saane bei Freiburg (1857—62)³⁾ und die Brücken über das Zellertal bei Mannheim (1873—74) und über das Liantal (1877—78) in Schweden; aber allmählich gewannen doch Schweißisen und Flußeisen das Vorrecht. So wurde bereits 1871 die Guggenloch-Brücke der Toggenburger Bahn⁴⁾, 1876 die neuerdings durch Umbau verstärkte Kentuckytalbrücke⁵⁾, 1873—88 die Hudsonbrücke bei Poughkeepsie (Abb. 18), und 1883 die Niagarabrücke⁶⁾ mit schweißeisernen bzw. flußeisernen Turmpfeilern versehen. In Deutschland entstanden in dieser Art 1880—81 die Talbrücken bei Assenheim und Angelroda⁷⁾.

Eine besondere Form des Pfeilerbaues wurde von Amerika nach Europa übertragen, nämlich das dem Holzbau entnommene Trestlework, die Gerüstbrücke. Diese entsteht dadurch, daß einzelne dicht hinter einander stehende Böcke paarweis zu standfesten Gerüsten mit schrägen Längswänden und lotrechten Querswänden verbunden, und die Gerüst-Abstände durch kurze einfache Balken überdeckt werden, während im Gegensatz dazu die vorerwähnten Turmpfeiler pyramidale Form und größere Entfernung voneinander zu erhalten pflegen.

Als Gerüstbrücken entstanden 1872—73 die Varrugastalbrücke⁸⁾ in Peru, 1894 die Pecostalbrücke⁹⁾ in Texas (96 m hoch) und 1900 die Gokteikbrücke¹⁰⁾ in Birma (98 m hoch). Die 1880/81 mit leichten Turmpfeilern¹¹⁾ erbaute Kinzua-Brücke der Erie-Eisenbahn wurde um 1902 durch eine Gerüstbrücke mit diagonallosen Rahmenjochen ersetzt¹²⁾.

¹⁾ Österr. Wochenschr. f. d. öff. Baudienst 1909, S. 136. Zeitg. d. Ver. deutsch. Eisenb.-Verw. 1909, S. 1420.

²⁾ Zeitschr. f. Bauwesen. 1862, S. 220, Atlas Bl. 39.

³⁾ Ebenda 1863, S. 169, Atlas Bl. 28—30.

⁴⁾ Ebenda 1886, S. 220, Atlas Bl. 35.

⁵⁾ Der Eisenbau 1911, S. 301.

⁶⁾ Ebenda S. 634, Fig. 804.

⁷⁾ Heinzerling, Die eis. Bog- u. Balkenbr., S. 5, 69. Taf. I, Fig. 73—77. Hdb. d. Ing. Wiss., II. Bd., 5. Abt., 2. Aufl., Atl. Taf. IV, Fig. 1—9.

⁸⁾ Engineering 1872, Bd. 13, S. 247. Neubau ebenda 1891, Bd. 51, S. 460.

⁹⁾ Engineering News 1893, S. 2. Die Brücke wurde neuerdings durch Blechträger verstärkt, s. Engineering News 3. Nov. 1910, S. 471.

¹⁰⁾ Scient. Am. 1901, Bd. 85, S. 104. Engineering 1901, Bd. 71, S. 647. Engin. Record 1901, Bd. 43, S. 26.

¹¹⁾ Zentralbl. d. Bauverwaltg. 1883, S. 310.

¹²⁾ Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1902, S. 751. Der Eisenbau 1912, S. 110. Betr. Lethbridge-Viadukt s. Engineering News 1909, S. 324. Betr. Coder Run Viadukt und Welsh Run Viadukt s. Engineering Record 1909, S. 36.

In Deutschland hat vor allem die sächsische Staatsbahn den Bau von Gerüstbrücken gepflegt¹⁾, auch hat Brücken dieser Art die 1908 in Betrieb genommene neue Bahnlinie Metz—Vigy—Anzelingen (Abb. 15), sowie mit vollwandigen Hauptträgern die Bahn Zwönitz—Scheibenberg erhalten²⁾.

Eine dritte Pfeilerart, der Wand- oder Pendelpfeiler, ist in Norwegen³⁾ aufgekommen und wurde dort beispielsweise in den Nebenöffnungen der Minnesundbrücke⁴⁾ (1880) und an der Brücke der Ofotbahn bei Narvik (1901—02) angewandt. Dadurch angeregt errichtete die sächsische Staatsbahn hauptsächlich auf Veranlassung von Köpcke ähnliche Bauwerke in der Oschützbrücke (1884)⁵⁾ u. a. m. Als neuere Ausführung sei die Pendelpfeilerbrücke über den Argentobel⁶⁾ erwähnt (Abb. 40).

Eine gleichzeitige Verwendung von Pendel- und Turmpfeilern zeigen der Marent-Gulch-Viadukt (1885) der Northern-Pacific-Bahn und die Talbrücke bei Epfenhofen in der Linie Waizen—Immendingen.

Endlich kommen Pfeiler auch in Verbindung mit Bogenbrücken vor, indem die Parallelträger einer hochliegenden Fahrbahn auf eisernen, dem Hauptbogen aufgesetzten Pfeilern ihr Auflager finden. Beispiele bieten die Garabit-Talbrücke⁷⁾ (1880—84) (Abb. 56), die Addabrücke bei Paderno⁸⁾ (1889) (Abb. 57), die Kaiser-Wilhelm-Brücke⁹⁾ bei Müngsten (1893—97) (Abb. 59), die Kornhausbrücke in Bern¹⁰⁾ (1895—98) (Abb. 60) und die Kanderbrücke bei Wimmis (Abb. 84).

Die Möglichkeit, neue Wege einzuschlagen, war der Eisenbauweise bei einer besonderen Art von Pfeilerbrücken, nämlich bei den Hochbahnen gegeben. Sie hat aber von dieser Möglichkeit an den ersten Ausführungen dieser Art, den amerikanischen¹¹⁾, (Abb. 30) und auch noch ander Schwebelbahn Barmen—Elberfeld¹²⁾ wenig Gebrauch gemacht. Das

¹⁾ Mehrrens, Eisenbrückenbau, S. 648, Fig. 824, 825. S. 649, Fig. 826. S. 650, Fig. 827.

²⁾ Betr. Gerüstbrücke über das Ottertals. Zeitschr. f. Bauwesen 1896. Über Gerüstbrücken der Lokalbahn Waidhofen—Gaming s. Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1899, S. 113.

³⁾ Wochenbl. f. Architekten u. Ingenieure 1883, S. 115.

⁴⁾ Wochenbl. f. Architekten und Ingenieure 1883, S. 121, Fig. 13.

⁵⁾ Zentralbl. d. Bauverw. 1887, S. 322. Civil-Ingen. 1887, Heft 3, 4.

⁶⁾ Deutsche Bauzeitg. 1907, S. 179. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1907, S. 596. Über den mit Pendelpfeilern konstruierten Talübergang bei Westerwald s. Zeitschr. f. Bauwesen 1907, S. 405. Atlas Bl. 51—55.

⁷⁾ Wochenschr. d. ö. Ing.- u. Arch.-Ver. 1884, S. 159. Zentralbl. d. Bauverw. 1881, S. 120. 1884, S. 200. Engineering 1885, S. 549, 593. Le Génie Civil, Bd. 13, 1888, S. 220, 230. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1886, S. 630.

⁸⁾ Nouv. ann. de la constr. 1888, S. 120. Wochenschr. d. ö. Ing.- u. Arch.-Ver. 1888, S. 283. Schweiz. Bauzeitg. 1889, Bd. 13, S. 137. 1896, Bd. 28, S. 113, 133, 135.

⁹⁾ Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1897, S. 1321. Zentralbl. d. Bauverw. 1895, S. 161. 1897, S. 149.

¹⁰⁾ Schweiz. Bauzeitg. 1896, Bd. 28, S. 113, 133, 135. Zentralbl. d. Bauverw. 1898, S. 397. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1898, S. 767, 1289.

¹¹⁾ Über New York s. Zeitschr. f. Bauwesen 1904, S. 487. Wochenschr. des Arch.-Ver. z. Berlin 1910, S. 206.

¹²⁾ Zentralbl. d. Bauverwaltg. 1900, S. 506.

Tragwerk der letzteren besteht aus einer Folge von gegliederten Trägern auf 21–30 m entfernten Pendeljochen, die über dem Flusse spreizbeinig, über der Landstraße portalartig ausgebildet sind. In Abständen von 200–300 m stehen feste Gruppenpfeiler, über denen die Überbauten verschieblich zusammenstoßen, um alle Längen-Änderungen auszugleichen.

Selbständiger entfaltete sich das Eisen an der Hochbahn zu Berlin¹⁾ (Abb. 32, 35), deren Lösungen nicht allein vom praktischen Standpunkt befriedigen, sondern dem Schönheitsgefühl schon in hohem Maße Genüge tun. Vor allem gilt dies von der westlichen Strecke. Hier sind die sich paarweise gegenüber stehenden Bock-Stützen in richtiger Betonung ihrer Wirksamkeit schräg gegeneinander geneigt und bogenförmig miteinander verbunden. Die Gitter sind reich geschmiedet und schwere Steinpfeiler mit frisch erfundenen freien Endigungen²⁾ dienen als Zwischenteilung. Unter den zugehörigen Hochbauten sind die von hervorragenden Berliner Architekten entworfenen Bahnhöfe Prinzenstraße, Hallesches Tor, Bülowstraße (Abb. 133, 134) und Nollendorfplatz besonders erwähnenswert³⁾.

Fachwerk mit gekrümmter Gurtung.

Neben dem Gitter- und Parallelfachwerk tritt sehr bald der Träger mit gebrochener oder gekrümmter Gurtung auf. Dieser hat vor allem den Vorteil für sich, daß er an der Stelle der größten Momentwirkung d. h. in der Mitte seiner Länge auch die größte Widerstandsfähigkeit besitzt, also zur Erreichung großer Spannweiten als sehr rationell angesehen werden kann.

Es können zwei Hauptarten, die Träger mit einer geraden und einer gekrümmten Gurtung und die Träger mit zwei gekrümmten Gurtungen unterschieden werden. Beide sind auf den Holzbau zurückzuführen.

Die erstere, die Gruppe der eisernen Bogensehnen-, Fischbauch- oder Parabelträger, ging vom amerikanischen Holzbrückenbau aus, nach welchem Whipple im Jahre 1840 das erste eiserne Parabelfachwerk bildete.⁴⁾ Im Jahre 1844 erbaute Harrison mit den ersten englischen Parabelträgern eine 52 m weite Eisenbahnbrücke über den Ouse-Fluß. Auch Brunel nahm die neue Konstruktionsweise bald auf und verwertete sie u. a. 1849 an der 60,96 m weiten Victoria-Brücke über die Themse bei Windsor⁵⁾.

Den ersten deutschen Bogensehnenträger führte Schwedler 1860 beim Bau der Brahebrücke bei Czersk aus⁶⁾. Es folgte u. a. 1875–76 die Rheinbrücke bei Germersheim (90 m) und 1877–78 eine Eisenbahn- und Straßenbrücke über die Elbe bei Riesa⁷⁾ (100 m), letztere mit künstlicher Aufhebung der aus dem Eigengewicht sich ergebenden Untergurtstabskräfte.

Neuere Bauten mit Bogensehnenträgern sind die McKinley-Brücke (171,4 m) über den Mississippi in St. Louis, und die am Lande montierte, schwimmend übergeschobene Kemi-Isolaara-Brücke (125 m) in Finnland (1903–4), Vieleck-Umriss mit geradem Untergurt hat die Delawarebrücke (165 m) bei Philadelphia (1895–96).

In dem Bestreben, günstigere Knotenpunkts-Verbindungen zu schaffen und Träger mit einem Ständerfachwerk zu konstruieren, in welchem selbst bei ungünstigster Laststellung jede Hauptstrebe nur Zug erfahren würde, vereinigte Schwedler die Parallel- und Parabelform und errichtete mit den so entstandenen nach ihm benannten Trägern 1863 die 58,3 m weite Eisenbahnbrücke bei Corvey⁸⁾. Für die theoretisch richtigere hyperbolische Form des Obergurtes entschloß er sich erst 1867 an der Elbbrücke bei Hämerten (63,39 m Spannweite)⁹⁾. Auch Ellipsen, Korbbögen und ähnliche Kurven kamen gelegentlich bei den Obergurten von Schwedler-Trägern zur Anwendung. Neuerdings entstand mit Schwedlerträgern von 126 m Weite die Oka-Brücke bei Murom in Rußland¹⁰⁾.

Bei den Parabelträgern hatte sich die einwandfreie Verbindung der beiden Gurtungsenden als konstruktiv schwierig erwiesen. Dies führte zur Herstellung von Trägern mit abgestumpften Enden, den Halbparabelträgern, welche bald weitere Aufnahme fanden, z. B. 1863–68 an der 150 m weiten Brücke über den Leck⁴⁾ bei Kuilenburg, und an sonstigen Brücken der holländischen Staatsbahn. Nebenbei bemerkt waren diese Brücken die ersten, bei denen Bessemer-Metall, wenn auch zunächst mit wenig befriedigendem Erfolg verwandt wurde, nachdem es in England 1860–61 als Konstruktionsstoff für Handelsschiffe eingeführt worden war.

In Deutschland wurde der abgestumpfte Bogensehnenträger ebenfalls viel ausgeführt, so 1869–71 an der Kaiser-Wilhelm-Brücke über den Rhein bei Hamm (103,62 m), 1876–78 über der Elbe zwischen Hohnstorf und Lauenburg⁵⁾ (100 m), 1880 an der Prinz-Wilhelm-Straßenbrücke über die Saale bei Calbe (104 m), 1893–94 an der Rheinbrücke bei Roppenheim (Abb. 107), und mit Hilfsfachwerken nach amerikanischer Art an der Weichselbrücke bei Münsterwalde (1907–08)⁶⁾.

Als französisches Bauwerk dieser Art wäre die Lessartbrücke (94 m) über den Rancefluß bei Dinan (1877–87) zu nennen, als italienische Ausführung die 102 m weite Tiberbrücke der Piazza Pia in Rom (1888–90), als russische die Wolgabrücke bei Jaroslavl (145,6 m)⁷⁾. Besonders kühn wirkt die 120 m weite Trisana-Talbrücke⁸⁾ der Arlbergbahn bei Innsbruck (1882–84). In Amerika wäre

¹⁾ Deutsche Bauzeitg. 1902, S. 269, 280.

²⁾ Deutsche Bauzeitg. 1902, S. 275.

³⁾ Deutsch. Bauzeitg. 1902.

⁴⁾ Heinzerling, Die eisern. Bog.-Balkenbr. S. 2, Taf. I. Fig. 1–11.

⁵⁾ Zeitschr. f. Bauwes. 1861, S. 111, Atlas Bl. 16.

⁶⁾ Zeitschr. f. Bauwesen, 1861, S. 572, Atlas Bl. 63, 64.

⁷⁾ Deutsche Bauzeitg. 1878, S. 310. Zeitschr. d. Hann. Arch.-u. Ingen.-Ver. 1880, S. 112. Mitt. d. sächs. Ing.-u. Arch.-Ver. 1879, S. 12–19.

⁸⁾ Heinzerling, Die eis. Bog.-Balkenbr. S. 368, Taf. I. Fig. 30–37.

⁹⁾ Zeitschr. f. Bauwes. 1868, S. 518, Atl. Bl. 68.

¹⁰⁾ Deutsche Bauzeitg. 1911, S. 257.

¹¹⁾ Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1900, S. 538.

¹²⁾ Mehrrens, Eisenbrückenbau S. 625, Fig. 791. Deutsche Bauzeitg. 1870, S. 293.

¹³⁾ Zeitg. d. Ver. deutsch. Eisenb.-Verw. 1909, S. 1113. Org. f. d. Fortsch. d. Eisenbahnwes. 1912, S. 409, Taf. 54.

¹⁴⁾ Deutsche Bauzeitg. 1911, S. 257.

¹⁵⁾ Zentralbl. d. Bauverw. 1884, S. 93.

die 1889–90 errichtete Merchants - Eisenbahnbrücke ¹⁾ über den Mississippi bei St. Louis hervorzuheben (158 m). Die Rheinbrücke der Albulabahn bei Thusis und der Sitter-Viadukt der Bodensee-Toggenburg-Bahn (120 m) haben Halbparabel-Träger mit doppeltem Netzwerk nebst Pfosten, wobei die Obergurte durch Zwischenpfosten mit den Kreuzpunkten der Streben verbunden sind, um die großen Fachweiten für die Zwischen-Querträger unterzuteilen ²⁾.

Mit einer besonderen Art der Wandgliederung, dem sog. K - Verband, bei dem halbe Diagonalen mit den Pfosten Dreiecke mit senkrecht stehender Basis bilden, ist im Jahre 1903 die Eisenbahnbrücke über die Havel bei Brandenburg ³⁾ (90 m) ausgestattet worden.

Eigenartig ist der Fußgängersteg über die Enz in Pforzheim ⁴⁾ (1905), dessen Diagonalen in Geländerhöhe anlaufen, während der geschweifte Obergurt nur mit den nach oben verlängerten senkrechten Pfosten verbunden ist.

Die 100,58 m weite neue Wear-Brücke bei Sunderland (1909), welche mit provisorischer Anhängung frei vorgebaut wurde, obwohl sie nicht einen Ausleger, sondern einen Träger auf zwei Stützen darstellt, besitzt noch auffallend eng geteilte Trägerwände mit Schrägen, die über zwei Felder durchlaufen, und mit Gegenschrägen in den Mittelfeldern ⁵⁾.

Unter den Brücken mit abgestumpften Trägern finden wir die überhaupt am weitesten gespannten Balkenbrücken, nämlich die Miami-River-Brücke in Elizabethtown (Ohio) ⁶⁾ mit 178,6 m, die neue Eisenbahnbrücke über den Rhein bei Duisburg-Ruhrort (186 m) ⁷⁾, und die Municipalbrücke über den Mississippi in St. Louis (206,3 m) ⁸⁾.

Bei dem Eisenträger mit zwei gekrümmten Gurtungen, dem Linsen- oder Fischträger, knüpfte man an die hölzernen Débiaträger ⁹⁾ (1829) und Laves-Balken ¹⁰⁾ (1834) an. Letztere bestanden ohne besondere Wandgliederung aus zwei an den Enden verbundenen und in der Mitte durch Zwischenstäbe auseinander gespreizten Hölzern, und besaßen damit eine Form, die bereits Navier als Vereinigung von Bogen und Hängbogen erörtert hatte. Die Débia-Träger dagegen weisen bereits Gliederungen durch Gegenfachwerk und zweiteiliges Strebenfachwerk auf. Die ersten Eisenträger wurden 1825 von den beiden Stephenson zwischen Etherly und Brusselton an einer Eisenbahnbrücke über den Grannless ¹¹⁾ ausgeführt, u. zw. hauptsächlich aus Gußeisen.

Zu den ersten eisernen Brücken mit Laves-Trägern gehören eine 1,17 m breite Fußgängerbrücke von 8,18 m Spannweite im Park des Grafen Münster zu Derneburg ¹²⁾

(1838), einige Brücken im Park von Herrenhausen bei Hannover (Abb. 3–5) und eine Fußgängerbrücke über den Stadtkanal in Potsdam ¹⁾ (1842).

Nach einem nicht recht geglückten Versuch mit der Günzbrücke bei Günzburg ²⁾ (1853), der ersten eisernen Eisenbahnbrücke Bayerns, wählte Pauli für den Fischträger einen Umriß, der den Gurtungen bei voller Belastung überall gleiche Spannungen, also auch gleiche Querschnitte sicherte und ließ sich diesen nach ihm benannten Brückenträger 1856 durch Patent schützen. Der Pauliträger kam zuerst 1857 an der jüngst mit neuem Überbau versehenen ³⁾ Isarbrücke bei Großhesselohe ⁴⁾ (52,54 m) zur Anwendung, dann 1860–62 an der von Gerber erbauten, aber neuerdings ebenfalls ausgewechselten Eisenbahnbrücke über den Rhein bei Mainz ⁵⁾ (105,21 m) u. a. m.

Die größte Spannweite eines Fischträgers erreichte Brunel mit 139 m an der im Jahre 1859 vollendeten Tamarbrücke bei Saltash ⁶⁾. Der Obergurt derselben ist einteilig und besteht aus einer im Querschnitt elliptischen Blechröhre, welche die ganze Bahnbreite einnimmt. Der Untergurt ist doppelt und wird von zwei übereinander hängenden Ketten gebildet. Der Gedanke Rohr und Kette für Ober- resp. Untergurt zu verwenden ist allerdings nicht neu, vielmehr begegnen wir ihm bereits an den schon erwähnten Brücken von Herrenhausen (Abb. 4) und Potsdam. Ein leichtes und elegantes Beispiel eines Linsenträgers bietet der 1890 erbaute Schlütersteg (50,88 m) in Berlin ⁷⁾ (Abb. 100).

Wie die Parabelträger hat man aus konstruktiven Gründen auch die Linsenträger mehrfach mit abgestumpften Enden ausgeführt. Das erste Bauwerk dieser Art war 1872–75 die Memelbrücke ⁸⁾ in Tilsit, der dann 1888–91 die neue Brücke über die Weichsel bei Dirschau ⁹⁾ (129 m) und die Nogatbrücke ¹⁰⁾ bei Marienburg (103,4 m Stützweite) folgten (Abb. 9, 14). Bei allen dreien sind die Stabzüge des zweiteiligen Strebenfachwerks durch einen Mittelgurt vereinigt, um unter der Verkehrslast die Beanspruchung beider Wand-Systeme möglichst gleichmäßig zu gestalten, eine Anordnung, die bereits 1873–79 an der Grand River Talbrücke der Creditallbahn in Nordamerika (168 m) vorkommt und sich neuerdings auch an der Weichselbrücke bei Fordon findet ¹¹⁾.

¹⁾ Zeitschr. f. Bauwes. 1852, S. 397, Atlas Bl. 67.

²⁾ Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1900, S. 809.

³⁾ Deutsche Bauzeitg. 1909, S. 243.

⁴⁾ Allgem. Bauzeitg. 1859, S. 82, Atlas Bl. 246. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1900, S. 563.

Ein Ausschnitt der alten Hauptträger wurde dem Deutsch. Museum in München überwiesen (D. Bauzeitg. 1911, S. 243).

⁵⁾ Heinzerling, Die eis. Bog.-Balkenbr., S. 3, 70, Taf. I, Fig. 109–113. Zeitg. d. Ver. deutsch. Eisenbahnverw. 1912, S. 1113.

⁶⁾ Allgem. Bauzeitg. 1857, Bl. 117.

⁷⁾ Die Straßenbrücken der Stadt Berlin.

⁸⁾ Zeitschr. f. Bauwes. 1878, S. 21. Atlas Bl. 14.

⁹⁾ Zentralbl. d. Bauverw. 1890, S. 323. Zeitschr. f. Bauwes. 1895, S. 238. Atlas Bl. 32. Deutsche Bauzeitg. 1894, S. 45. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1900, S. 984 (Innen-Ansicht).

¹⁰⁾ Zeitschr. f. Bauwes. 1895, S. 541. Atlas Bl. 40.

¹¹⁾ Deutsche Bauzeitg. 1894, S. 45.

¹⁾ Engineering 1891, Bd. 51, S. 597, nebst Tafelbeilage, S. 686, Taf. S. 676.

²⁾ Schweiz. Bauzeitg. 1909, Bd. 54, S. 315.

³⁾ Zeitschr. des Ver. deutsch. Ing. 1905, S. 1657.

⁴⁾ Mehrrens, Eisenbrückenbau, S. 683, Fig. 866.

⁵⁾ Der Eisenbau 1910, S. 156.

⁶⁾ Österr. Wochenschr. f. d. öff. Baudienst 1910, Heft 4, S. 61.

⁷⁾ Der Eisenbau 1910, S. 475. Zeitschr. f. Bauwes. 1912, S. 459. Atlas Bl. 54.

⁸⁾ Engineering News 1912, Vol. 67, S. 231.

⁹⁾ Mehrrens, Der deutsche Brückenbau i. 19. Jahrh., S. 18.

¹⁰⁾ Allg. Bauzeitg. 1840, S. 91. Atlas Bl. 338.

¹¹⁾ Mehrrens, Eisenbrückenbau, S. 556, Fig. 692.

¹²⁾ Heinzerling, Die eis. Bog.-Balkenbr., Fig. 5–6.

2. Durchgehende Träger, Kragträger.¹⁾

Die ersten kontinuierlichen Brücken, wie die Britannia-Brücke, die Brücken bei Dirschau und Marienburg u. a. m. berechnete man entsprechend dem damaligen Stand der Theorie als Balken auf zwei Stützen, wobei der durch nachträgliche Vernietung der einzelnen Überbauten bewirkte einheitliche Zusammenhang nur als Sicherheitsfaktor galt. Indessen wurden für diese Bauwerke bereits Modellversuche mit Trägern, die über mehrere Öffnungen durchgingen, vorgenommen und späterhin für die Torksey-Brücke (1849) und die schon erwähnte Boynebrücke bei Drogheda (1855) fortgesetzt. Im Anschluß an die 1855–57 erschienenen Arbeiten von Bertot und Clapeyron behandelte Ritter 1860 den durchgehenden Träger theoretisch. Mohr knüpfte daran an und wies insbesondere die Gefährlichkeit etwaiger Stützensenkungen rechnerisch nach.

Bereits 1846–47 hatten Fowler und Clark auf Grund von Versuchsergebnissen den Vorschlag gemacht, an den Wendepunkten der elastischen Linie, also an den Stellen, wo am durchgehenden gleichmäßig belasteten Balken die Biegemomente gleich Null werden, ein Gelenk einzufügen, und damit den Träger in doppelte Kragbalken mit eingehängten Zwischenträgern umzuwandeln. An und für sich ist eine derartige Kragkonstruktion sehr alt, und es lassen sich ihre Spuren schon sehr früh in Indien, China und Japan feststellen²⁾. Aber mit vollem Bewußtsein ihrer Wirkungsweise, in wissenschaftlich begründeter Durchbildung, und mit Eisen als Baustoff wurde sie erst jetzt, also in verhältnismäßig junger Zeit angewandt, u. zw. hauptsächlich in dem Bestreben, die dem steifen durchgehenden Träger anhaftenden Nachteile zu vermeiden.

Nachdem bereits William Henry Barlow 1859 ein Patent für Gelenkträger erhalten hatte, erwarb Sedley 1861 und 1864 Patente für Auslegerbrücken. Diese bestanden aus einem Mittelträger auf verankerten Auslegerarmen³⁾, wiesen also eine Konstruktion auf, wie sie in primitiver Holzausführung schon seit langer Zeit bei einfachen Völkern z. B. auf Java⁴⁾ vorkommt, sich auch heute noch in den Alpen z. B. im Ötztal findet.

Im Jahre 1866 nahm Gerber ein Patent auf „Balkenträger mit freiliegenden Stützpunkten“⁵⁾, und er ließ bald darauf (1867) als erste solche Auslegerbauten die Straßenbrücken über den Main bei Haßfurt⁶⁾ und über die Regnitz⁷⁾ bei Bamberg entstehen. Ein wirkliches Gelenk wurde aber an ihnen wie auch 1872 an der Donaubrücke bei Vilshofen noch nicht eingelegt, vielmehr mußte eine elastische Nietverbindung die Aufgabe eines Gelenks erfüllen. Erst an der Überführung der Allersbergerstraße in Nürnberg wurden Bolzengelenke angewandt.

¹⁾ Über durchgehende Träger und Kragträger vergl. Tabellen über Balkenbrücken bei Mehrrens, Eisenbrückenbau, sowie Tabellen S. 690, 698, 712 ebenda.

²⁾ S. auch Scientific American, 2. Sept. 1911, S. 207: A Curious Indian Cantilever Bridge. Engineering 1892, Bd. 53, S. 220, Fig. 67–69.

³⁾ Engineer 1865, Bd. 20, S. 281.

⁴⁾ Mehrrens, Eisenbrückenbau, S. 575.

⁵⁾ Zeitschr. d. bayer. Arch.-u. Ing.-Ver. München 1870, S. 25 u. f.

⁶⁾ Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1900, S. 571.

⁷⁾ Ebenda S. 577.

Die Vollwand-Brücke über die Luhe (1873) in der Bahnlinie Wittenberge–Buchholtz war die erste Auslegerbrücke für Eisenbahnbetrieb.

Die Stephanienbrücke¹⁾ in Wien, welche den Karl-Kettensteg im Jahre 1884 ersetzte, ist als Ausleger mit künstlicher Belastung im Widerlager konstruiert, tritt aber äußerlich als Bogenbrücke auf. Nach der Gestalt eines hängenden Seils sind die Obergurte der 1888–91 erbauten Ausleger-Straßenbrücke über den Neckar in Mannheim (Abb. 27) gekrümmt²⁾.

Ein großes Ereignis war die Vollendung der Forthbrücke³⁾ (1890), welche die riesige freie Weite von 521 m erreichte (Abb. 20). Ihre Ausleger sind mit geradem Ober- und gekrümmtem Untergurt sowie mit zweiteiligem Strebenfachwerk gebildet, während der Schwebeträger sich als einfacher abgestumpfter Bogensehnenträger darstellt. Zur Erleichterung der Bauarbeit ist letzterer auf 107 m Länge beschränkt und die Eisenmasse der Hauptträger mit 207 m Vorkragung möglichst in die Nähe der Pfeiler zusammengedrängt. Die Ausleger sind infolgedessen ungewöhnlich hoch; aber dadurch, daß der Untergurt des Kragarms sich dem Wasserspiegel nähert, vermag der Windverband tief herabzugreifen, also dem Bauwerk eine hohe Standsicherheit gegen heftige Stürme zu verleihen.

Alle gedrückten Glieder der Forth-Brücke sind, wie schon s. Z. die Bogengurtungen der Mississippibrücke bei St. Louis als Röhren von zylindrischem bis auf 3,66 m Durchmesser gehendem Querschnitt hergestellt, einerseits um hohe Knickfestigkeit und große Sicherheit gegen Rosten zu erzielen, und dann um dem Wind möglichst wenig Fläche zu bieten. Allerdings ergab die Röhrenform auch gewisse Schwierigkeiten bei der Aufstellung und Stoßverbindung.

Als Baustoff diente Martin-Metall, und damit wurde die Forth-Brücke im Bunde mit den vergleichenden Versuchen, welche 1889–91 mit Schweißisen, Martineisen und Thomas-eisen für die neuen Brücken bei Dirschau und Marienburg vorgenommen wurden, für die Aufnahme des Flußeisens entscheidend: Bereits 1890–93 wurde an der Weichselbrücke bei Fordon zum erstenmal basisches Flußmetall in größerer Menge verwendet.

Als Flußeisen-Ausleger entstanden 1892–95 die Carol-Eisenbahnbrücke (175 m) über die Donau bei Czernavoda⁴⁾ in Rumänien, 1894–96 die Franz Joseph-Brücke⁵⁾ (Abb. 23, 28) über die Donau in Budapest mit 175 m weiter Mittelöffnung, sowie gleichzeitig die große Weserbrücke bei Bremen⁶⁾ (Abb. 27). Letztere überspannt unter Benutzung von zwei

¹⁾ Wochenschr. d. ö. Ing. u. Arch.-Ver. 1885, S. 36. Schweiz. Bauzeitg. 1885, Bd. 5, S. 53. Engin. Record 1901, Bd. 43, S. 473.

²⁾ Deutsche Bauzeitg. 1901, S. 261.

³⁾ Engineer 1884, Bd. 58, S. 357. Engineering 1884, Bd. 38, S. 213, 428. 1890, Bd. 49, S. 213. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1888, S. 912, Taf. 30. 1891, S. 8. Zeitschr. d. ö. Ing. u. Arch.-Ver. 1884, S. 173, Bl. 23. Deutsche Bauzeitg. 1890, S. 177.

⁴⁾ Zeitschr. d. ö. Ing.-u. Arch.-Ver. 1890, S. 32, Taf. I–IV. 1895, S. 517. Zentralbl. d. Bauverw. 1895, S. 420. Glasers Annalen 1896, Bd. 38, S. 34. Allgem. Bauzeitg. 1896, S. 25, Taf. 11–15.

⁵⁾ Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1897, S. 325. Zeitschr. d. ö. Ing.-u. Arch.-Ver. 1897, S. 124. Le Génie Civil 1897, Bd. 31, S. 17. Engineer 1897, Bd. 83, S. 486. Zeitschr. f. Arch.-u. Ingenieurwes. 1898, Heft 3, S. 194. Deutsche Bauzeitg. 1904, S. 99.

⁶⁾ Zentralbl. d. Bauverwaltung. 1894, S. 288.

Strompfeilern den Fluß in drei Öffnungen, von denen die mittlere fast die doppelte Breite der seitlichen hat. Die Hauptträger erhielten nach dem Vorgang Gerbers bei der Mannheimer Neckarbrücke (1890) auf dem größten Teil ihrer Länge einen Zwischengurt, um übermäßig lange Diagonalen zu vermeiden. Ähnliche Zwischengurtungen bei ebenfalls hängebrückenartiger Gesamtform besitzen die Swinemünder Brücke ¹⁾ in Berlin (Abb. 37) und der Kaisersteg bei Oberschöneweide ²⁾ (Abb. 24, 25). Bei ersterer hängt der 48 m lange Schwebeträger der Mittelöffnung beiderseits an 30 m langen Kragarmen, die sich nach den Brückenstirnen mit 60 m langen Seitenarmen vorstrecken, während der Kaisersteg dem System nach einen Auslegerbalken mit Mittelgelenk und eingefügten Spannbögen darstellt. Völlig unter der Fahrbahn liegen die mit eingehängtem Mittelstück versehenen Gerberträger der Weidendammer-Brücke in Berlin (1896) und der Burgtorbrücke über den Elbe-Trave-Kanal in Lübeck ³⁾ (55,6 m). Mit der größten Stützweite Deutschlands (203,4 m in der Mittelöffnung) wurde im Jahre 1907 die Auslegerbrücke über den Rhein zwischen Homburg und Ruhrort fertiggestellt ⁴⁾ (Abb. 41). Ihre Kragarme reichen 34,2 m in die Mittelöffnung und tragen in Gelenken einen 135 m langen Mittelträger mit polygonalem Obergurt. In die beiden Endöffnungen ragen die Kragträger noch 16,1 m hinein, um hier mit Gelenken die als einfache Parallelträger ausgebildeten Endträger aufzunehmen. Kragträger mit bogenförmigem Untergurt und angeschlossenen Schlepptägern zeigt die Stößenseebrücke im Zuge der Döberitzer Heerstraße bei Berlin ⁵⁾ (Abb. 77). Deutsche Firmen haben neuerdings im Zuge der Eisenbahn Tientsin—Pukau eine Brücke über den Hoangho mit Gelenkträgern und eingehängtem Mittelstück von 109,8 m Stützweite erbaut ⁶⁾.

In Amerika wurden schon 1876—77 von Shaler Smith an dem 114 m gespannten Kentucky-Viaduct ⁷⁾ und dann 1879—80 an der nach dem Whipple-System entworfenen Mississippibrücke bei Minneapolis (98 m) Auslegerträger angewandt u. zw. in Parallelform, während 1883—84 an der Brücke über den St. Lorenzstrom und an der Frazerbrücke in Kolumbia die untere Gurtung von den Mittelstützen aus schräg nach oben gezogen und dadurch die Gestalt des Kragträgers der Momentenwirkung angepaßt wurde. Dasselbe geschah gleichzeitig an der mit zweiteiligem Ständerfachwerk auf hohen Eisenpfeilern errichteten Auslegerbrücke über den Niagara ⁸⁾ (141 m) (Abb. 22). Außerdem fiel bei dieser im Interesse statischer Bestimmtheit die Diagonale

über den Pfeilern fort, eine Anordnung, die fortan für den amerikanischen Brückenbau besonders bezeichnend ist, und beispielsweise an der Eisenbahnbrücke (159 m) über den Hudson bei Poughkeepsie ¹⁾ (1873—88) wiederkehrt (Abb. 18). Ungewöhnlichen Vieleckumriß zeigt die Needlesbrücke (201 m) über den Colorado zwischen Arizona und Californien (1889—90) (Abb. 19). Auslegerbrücken mit Hängeform sind die 360 m weite Blackwell-Island-Brücke in New-York (1903—09) ²⁾, die Beaverbrücke (234,5 m) bei Pittsburg ³⁾ und die Sewickley-Brücke (228,75 m) über den Ohio ⁴⁾.

England bevorzugt seit Errichtung der Forth-Brücke Kragteile, die von niedrigen Stützpunkten ausgehen und Kran-Auslegern gleichen; Beispiele bieten die eigenartig aufgelagerte, mit Gelenken in der Mittelöffnung versehene Eisenbahnbrücke (159,7 m) über die Connelfähre bei Oban in Schottland (1900—1903), sowie die Auslegerbrücke über den Rohriarm ⁵⁾ des Indus bei Sukkur. Letztere hat 249,93 m Weite und ist mit rückwärts verankerten etwas eigentümlich gebildeten Kragarmen, also in der s. Z. von Sedley vorgeschlagenen Weise konstruiert (1886—89).

In Frankreich wurde der Gerberbalken zuerst im Jahre 1896 in größerem Umfang angewandt. U. a. entstand in Paris die Passy-Brücke, welche in der Hauptsache Straßenbrücke ist, darüber aber auf Stützen erhöht die Stadtbahn trägt ⁶⁾. In Tonkin wurde 1898—1903 die nach dem früheren Gouverneur Doumer benannte Brücke über den Roten Fluß bei Hanoi (106,20 m) mit unterer gerader, und oberer durchhängender Gurtung der Kragarme und mit eingehängten Parallelträgern erbaut ⁷⁾. An Stelle der 1836 entstandenen Hängebrücke von Roche-Bernard trat eine Bogenbrücke mit Auslegern, welche in die Mittelöffnung hineinragen und zwischen sich einen Dreigelenkbogen von 112 m Spannweite aufnehmen ⁸⁾.

Rußland errichtete nach dem Auslegersystem u. a. eine Brücke über den Dnjepr bei Kitschkaß (192 m), deren Hauptträger nach dem Vorbild der Forth-Brücke gestaltet sind ⁹⁾.

Gelegentlich tritt auch wieder das Bestreben hervor, den durchgehenden Träger ohne Gelenke in praktisch nutzbarer Form auszugestalten. Schon Stephenson hatte daran gedacht, den Kastenträger der Britannia-Brücke an Ketten aufzuhängen und die Kettenenden an dem über die Auflager

¹⁾ Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1905, S. 1926.

²⁾ Zeitschr. f. Bauwesen 1900, S. 65, 291. Atlas Taf. 12, 13.

³⁾ Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1900, S. 774.

⁴⁾ Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1907, S. 726. Deutsche Bauzeitg. 1907, S. 629.

⁵⁾ Zeitschr. f. Bauwesen 1911, S. 326.

⁶⁾ Deutsche Bauzeitg. 1912, S. 876. Engin. News 1913, Bd. 69, S. 61.

⁷⁾ Deutsche Bauzeitg. 1879, S. 220. Zentralbl. d. Bauverw. 1897, S. 113.

⁸⁾ Zentralbl. d. Bauverw. 1883, S. 374. 1884, S. 56. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1884, S. 385, Taf. 17—21. Zeitschr. d. Arch. u. Ing.-Ver. z. Hannover 1884, S. 341, 505. Le Génie Civil 1883, Bd. 4, S. 137. Deutsche Bauzeitg. 1883, S. 341. 1884, S. 293.

Jordan-Michel, Eisenkonstruktionen. I.

¹⁾ Zentralbl. d. Bauverw. 1887, S. 271, 473. Engineering 1887, Bd. 43, S. 163. Le Génie Civil 1888, Bd. 13, S. 129. Scient. Am. Suppl. 1888, Nr. 646. Engineer 1888, Bd. 66, S. 240.

²⁾ The Engineer 1908, S. 478, 480. Welt d. Technik 1909, S. 293. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1909, S. 762. Der Eisenbau 1910, S. 269, 371. 1911, S. 269, 371.

³⁾ Der Eisenbau 1912, S. 437. Engineering 1913, Bd. 95, S. 41.

⁴⁾ Engin. Record 1912, Bd. 66, S. 390. Der Eisenbau 1913, S. 72.

⁵⁾ Engineering 1889, Bd. 47, S. 10, Abb. S. 12 nebst Tafelbeilage. Engineer 1890, Bd. 70, S. 472, Abb. S. 471.

⁶⁾ Organ f. d. Fortsch. d. Eisenbahnw. 1909, S. 212.

⁷⁾ Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1909, S. 1083. Le Génie Civil 1909, S. 385. Scientific American 1910, S. 81.

⁸⁾ Ann. des ponts et chaussées 1912, 9. Serie, 5. Bd., S. 201. Le Génie Civil 1912, Bd. 62, S. 41. Zentralbl. d. Bauverw. 1913, S. 83.

⁹⁾ Zentralbl. d. Bauverw. 1908, S. 659. Zeitg. d. Ver. deutsch. Eisenb.-Verw. 1909, S. 1420.

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 Durchfahrts Höhe 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. 1886, 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 Thomasmessing (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 Mannheim¹³⁾ (114,0 m) (Abb. 75), nachdem schon 1892–95 die Carolabrücke in Dresden (52,9 m)¹⁴⁾ 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 verwendet¹⁵⁾. Ein eigenartiges Dreigelenk-Bogenfachwerk besitzt die Sarthe-Brücke (56 m)¹⁶⁾ 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-Viadukt¹⁷⁾ (80 m) in Griechenland (Abb. 85) und an der im gleichen Jahr vollendeten Brücke über die Nam-Ti-Schlucht¹⁸⁾ 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-Straßenbrücke¹⁹⁾, 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-Kanal²⁰⁾ 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 Bern²¹⁾ (114 m) (Abb. 54) und 1881–86 an der Straßenbrücke Luiz I über den Douro bei Porto²²⁾ (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)²³⁾, sowie 1895–98 an der Kornhaus-Straßenbrücke (Abb. 60) über die Aare in Bern²⁴⁾ (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.

¹³⁾ Zentralbl. d. Bauverw. 1908, S. 277.

¹⁴⁾ Zeitschr. f. Arch.- u. Ingenieurwes. 1897, S. 314, Tafelbeilage 10. Engin. Record 1901, Bd. 43, S. 201, 225.

¹⁵⁾ Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnwes. 1909, S. 264.

¹⁶⁾ Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1900, S. 1250.

¹⁷⁾ Österr. Wochenschr. f. d. öff. Baudienst 1909, S. 722. Engineering News 1909. Vol. 62, S. 479.

¹⁸⁾ Le Génie Civil 1910, S. 277.

¹⁹⁾ Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1898, S. 1105.

²⁰⁾ Ebenda, 1900, S. 580.

²¹⁾ 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.

²²⁾ Schweiz. Bauzeitg. 1886, S. 111.

²³⁾ Schweiz. Bauzeitg. 1888, Bd. 11, S. 123. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1888, S. 928.

²⁴⁾ 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 Fahrbahtafel 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.

Im Jahre 1814 führte Brown bei einem 32 m weiten Steg in London die Flacheisenkette ein, die aus hochkantigen, durch Bolzen verbundenen Flacheisen bestand, und für die er im Jahre 1818 ein Patent erhielt. Er errichtete damit u. a. 1820 die 136,8 m weite Brücke über den Tweed bei Northamford. Ihren größten Triumph feierte die Brown'sche Bolzenkette bei den von Telford errichteten grossen Brücken, nämlich der 1826 mit 176,5 m größter Stützweite vollendeten Menai-Brücke bei Bangor (Abb. 86), und der gleichzeitigen Conway-Brücke¹⁾ (98,0 m), sowie bei der 1824–27 von Clark errichteten Hammersmithbrücke in London (128,7 m)²⁾. Letztere ließ die Rückhaltketten bereits im Verlauf der Seitenöffnungen unter die Fahrbahn treten, wobei diese teils an die Kette angehängt, teils auf sie mittels gußeiserner Säulen abgestützt wurde. Die Hammersmithbrücke beeinflusste in hohem Maße die ersten Hängebrücken des Festlandes, und stand wohlhalten bis zu ihrer gründlichen Verstärkung im Jahre 1886 (Abb. 95). Endlich wäre auch die 122 m weite Kettenbrücke über den South-Esk-Fluß bei Montrose in Schottland nicht zu vergessen, die von Brown 1828–29 erbaut und von Rendel 1840 durchgreifend verbessert wurde³⁾, sowie die Hungerfordbrücke über die Themse in London (1841–45). Letztere wurde im Jahre 1860 abgebrochen und ihre Ketten dienten 1862–64 zur Vollendung der kühnen Cliftonbrücke⁴⁾ über den Avon bei Bristol, der weitest gespannten Kettenbrücke Englands (214 m) (Abb. 89).

Aus Deutschland und Österreich haben wir über die Errichtung von Hängebrücken schon sehr früh Nachrichten. So soll bereits 1785 bei Weilburg in Nassau eine 30 m lange Kettenbrücke über die Lahn gebaut worden sein. Dann kam in den zwanziger Jahren des 19. Jahrhunderts eine ganze Reihe von Ausführungen, darunter die 1827 errichtete, 64 m weite Egerbrücke bei Saaz in Böhmen⁵⁾, welche ein verhältnismäßig hohes Alter erreichte und erst 1895 durch eine eiserne Fachwerkbrücke ersetzt wurde. In Wien entstand u. a. im Jahre 1828 der Karls-Kettensteg (95 m) von v. Mitis, die erste mit Stahl ausgeführte Brücke. Die österreichischen Kettenbrücken⁶⁾ gaben Anregung zu der Bamberger Ludwigsbrücke⁷⁾, welche 1828–29 mit 64,3 m Weite an die Stelle einer Wiebeking'schen Holzbrücke trat, ihrerseits aber 1889–91 durch eine Auslegerbrücke ersetzt wurde.

Verhältnismäßig frühzeitig, 1824–26, erhoben sich unter französischem Einfluß in Rußland Kettenbrücken⁸⁾, während man in Frankreich selbst, von wo die Theorie dieses Brückensystems ausgegangen war, nicht allzu rasch an Ausführungen herantrat. Die von Navier entworfene Invalidenbrücke in Paris mißglückte zunächst (1826), wurde dann aber von de Vergès 1827–29 hauptsächlich nach dem Vorbild der

Hammersmithbrücke in London neu errichtet¹⁾. Zugleich entstand der Arcolesteg über die Seine mit 40 m Stützweite. Beide hielten aber nur bis 1853 und 54 stand und wurden durch einen Steinbau resp. die eiserne Arcolebrücke ersetzt. Die letzte Kettenbrücke in Paris war die Bercybrücke (1832), die bis 1864 gestanden hat²⁾.

Als Hängebrücken besonderer Art wären die Kettenbrücken mit oben liegender Bahn zu nennen, wofür der 1834 von Dufour errichtete Pont des Bergues über die Rhone in Genf³⁾ ein Beispiel gibt, ferner die Brücken mit Ketten aus zusammengelegten Bandisenstreifen, wie sie Flachet 1834 in Abainville (40 m) und 1840 bei Surènes (63 m) anwandte⁴⁾, und endlich die Brücken nach den Bauarten von Hatley und Dredge⁵⁾.

Um den der freien Hängebrücke anhaftenden Mangel allzu geringer Steifigkeit zu beseitigen, ging man auf dem Wiederaufbau der Brücke von Dryburgh-Abbey beschrittenen Weg weiter: man spannte die Ketten sehr flach, z. B. 1 : 18 an der Postbrücke in Petersburg, stellte die Tragwände schräg und brachte Hilfsseile und Gegenketten an. Ferner erprobte man die Schrägbänder, welche sich schon um 1817 an der Kings-Meadow-Brücke und an der Tweedbrücke bei Dryburgh-Abbey, sowie 1824 bei Nienburg⁶⁾ wenig bewährt hatten, aufs neue im System Ordish-Lefevre, nämlich 1868 an der Franz-Josef-Brücke über die Moldau bei Prag⁷⁾ und 1870–73 an der Albert-Kettenbrücke über die Themse (122 m)⁸⁾. Der Erfolg dieser Maßnahmen war indessen gering⁹⁾.

Schon besser war die Sicherung der Hängebrücken durch Doppelketten mit zwischengelegtem, versteifendem Dreieckstabwerk, wie es Wendelstadt 1836–39 an der Kettenbrücke über die Weser bei Hameln (95 m) und 1842–45 an der Neckarbrücke bei Mannheim (86 m) anbrachte. Schnirch übernahm dieses System für Wien¹⁰⁾, auch wurden danach die Brücken der 7. Straße in Pittsburgh¹¹⁾ von Lindenthal (1884) und die Grand-Avenue-Straßenbrücke in St. Louis¹²⁾ von Gayler (1888–90) versteift. Gelegentlich hat man auch sichelförmige Fachwerkträger an die Tragurte angelegt, z. B. 1877 beim Bau der Point-Brücke (244 m) über den Monongahela in Pittsburgh¹³⁾, welche später einer Tiberbrücke in Rom (1889)¹⁴⁾, einer Anzahl Brücken in Frankreich und 1895 der Towerbrücke¹⁵⁾ in London zum Vorbild diente (Abb. 83).

¹⁾ Zeitschr. f. Bauwes. 1859, S. 401.

²⁾ Ebenda, 1864, S. 152.

³⁾ Ebenda, S. 36.

⁴⁾ Allgem. Bauzeitg. 1843, S. 221.

⁵⁾ Engineering 1892, Bd. 53, S. 4.

⁶⁾ Zeitschr. d. ö. Ing.-Ver. 1867, S. 102.

⁷⁾ Engineer 1868, Bd. 26, S. 343 mit Tafelbeilage. Zeitschr. d. ö. Ing.-Ver. 1868, S. 115, 160.

⁸⁾ Engineering 1872, Bd. 14, S. 206. Engineer 1873, Bd. 36, S. 281, Abb. S. 288.

⁹⁾ Der Eisenbau 1911, S. 188.

¹⁰⁾ Allgem. Bauzeitg. 1860, S. 220, Atlas Bl. 380.

¹¹⁾ Ebenda, S. 400.

¹²⁾ Ebenda, S. 401, Fig. 458.

¹³⁾ Deutsche Bauzeitg. 1879, S. 157. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1906, S. 634.

¹⁴⁾ Ebenda, 1900, S. 634.

¹⁵⁾ Engineer 1889, Bd. 68, S. 138, 140, 179, 202, 212, 326, 329, 336. Stahl und Eisen 1892, S. 1037. Engineering 1892, Bd. 54, S. 380. 1894, Bd. 57, S. 852. Engin. News 1894, Bd. 31, S. 43. Builder 1894, Bd. 66, S. 500. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1894, S. 410.

¹⁾ Zeitschr. f. Bauwes. 1857, S. 571. Rickmann, Life of Th. Telford, Atlas Taf. 78.

²⁾ Zeitschr. f. Bauwes. 1859, S. 406.

³⁾ Mehrtens, Eisenbrückenbau, S. 362, Fig. 414. Zeitschr. f. Bauwes. 1859, S. 555.

⁴⁾ Engineer 1864, Bd. 18, S. 192. Engineering News 1913, Bd. 69, S. 191.

⁵⁾ Mehrtens, Eisenbrückenbau, S. 373, Fig. 429.

⁶⁾ Allgem. Bauzeitg. 1836, S. 121. Atlas Bl. XXIX, XXXII bis XXXIV.

⁷⁾ Zeitschr. f. Bauwes. 1864, S. 34.

⁸⁾ Mehrtens, Eisenbrückenbau S. 376 u. f. Zeitschr. f. Bauwes. 1859, S. 560.

Als sehr zweckmäßig erwies sich die schon an den Seilstegen einfacher Völker¹⁾ vorkommende Versteifung der Brückenbahn. Hierzu verwandte man zunächst Holz, z. B. 1825–30 an der Kabelbrücke bei Valence und 1839–45 an der 203 m weiten Kettenbrücke in Budapest²⁾ (Abb. 27). Auch zog man, durch die Erfahrung belehrt, noch nachträglich 1839 an der Menaibrücke und 1840 an der Montrosebrücke hölzerne Längsbalken ein. Bald wurde aber auch für derartige Versteifungen Eisen bevorzugt, ja an der 97,6 m weiten Mühlheimer Kettenbrücke (1842–44) sowie an der von Vignoles 1847–53 errichteten Nicolaibrücke (134 m) über den Dnjepr in Kiew der ursprüngliche hölzerne Längsverband noch nachträglich gegen einen eisernen ausgetauscht.

Eine andere Versteifungs-Konstruktion für Hängebrücken ergab sich in der Anwendung eines Hängefachwerks, indem man in den Zwickel zwischen Hängegurt und Fahrbahn ein Streben- oder Ständerfachwerk einlegte, dessen Obergurt von Tragband und dessen Untergurt vom Fahrbahn-Längsträger gebildet wurde. Das erste Beispiel eines solchen Hängefachwerks bietet eine Kabelbrücke, nämlich die 1833 von Barlow erbaute Lambethbrücke in London³⁾. Ihr Längsträger besitzt Kasten-Querschnitt und die Knotenpunkte am Obergurt werden durch zwei fest um das Kabel zusammengepreßte Lagerschalen gebildet. Als deutsche Kettenbrücke mit Hängefachwerk wurde der Fußgängersteg auf dem Bahnhof zu Gotha (1872) erbaut, während die 1869 von Schmick errichtete Fußgängerbrücke in Frankfurt a. M. (69 m)⁴⁾ und die 1892–93 durch Köpcke ausgeführte Elbebrücke zwischen Loschwitz und Blasewitz⁵⁾ nicht gelenkige Ketten, sondern steife Hängegurte, die mit den Wandstäben vernietet sind, besitzen, und daher als umgekehrte steife Bogenbrücken zu bezeichnen wären.

Eigenartig ist die Augartenbrücke in Wien⁶⁾ (1873), deren flache Hängebänder nach dem System Fives-Lille zwischen parallelen Gurten liegen, so daß man im ersten Augenblick eine Balkenbrücke vermuten könnte. Der obere Gurt hat aber die Endpfosten gegeneinander abzuspreizen und daher mußten diese vor dem Einsetzen des Gurts nach rückwärts verankert werden.

Die eigentlichen Kettenbrücken werden im Laufe der Zeit immer seltener. Es entsteht zwar noch die weitest gespannte Kettenbrücke der Welt, die 290 m weite Schwurplatzbrücke über die Donau in Budapest⁷⁾ (1903) und der 51 m weite Borsigsteg in Berlin (1904–05) (Abb. 92), sowie neuerdings (1910) die 114 m weite Kaiserbrücke⁸⁾ in Breslau (Abb. 94) mit den an die Flachat'schen Ausführungen erinnernden Bandgurten. Im großen und ganzen gewinnt aber doch das Kabel das Übergewicht.

¹⁾ Mehrtens, Eisenbrückenbau, S. 19.

²⁾ Deutsche Bauzeitg. 1904, S. 99.

³⁾ Allgem. Bauzeitg. 1866, S. 436, Atlas Bl. 61.

⁴⁾ Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1900, S. 632, Fig. 54. Im Jahre 1912 durch einen Auslegersteg ersetzt, vergl. Zeitschr. d. Verb. deutsch. Arch.- u. Ing.-Vereine 1913, S. 22.

⁵⁾ Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1900, S. 636.

⁶⁾ Ebenda, S. 635.

⁷⁾ Zeitschr. d. ö. Ing.- u. Arch.-Ver. 1904, S. 261. Schweiz. Bauzeitg. 1904, Bl. 44, S. 1. Deutsche Bauzeitg. 1904, S. 99. Über Herstellung der Kettenglieder s. Zeitschr. f. Arch.- u. Ingenieurwes. 1900, S. 558.

⁸⁾ Der Eisenbau 1911, S. 45.

2. Drahtkabelbrücken.

Der nach der Bauart Finley ausgeführte Kettensteg über den Schuylkill bei Philadelphia war zweimal, 1811 und 1816 eingestürzt. Beim Wiederaufbau machte man sich die Beobachtung zu Nutze, daß gezogener Schmiedeisendraht eine sehr hohe Festigkeit besitzt, und konstruierte die Tragbänder als Drahtkabel¹⁾. Seguin der Ältere übertrug die neue Bauweise nach Europa, wo sie vor allem in Frankreich und in der Schweiz rasche Verbreitung fand, um dann erst in den vierziger Jahren wieder in größerem Umfang nach Nordamerika übernommen zu werden.

Die erste europäische Drahtkabelbrücke errichteten Dufour und Seguin 1822–23, nämlich die Brücke St. Antoine in Genf (2 Öffnungen von je 40 m), welcher im Jahre 1825 die Rhonebrücke zwischen Tain und Tournon mit zwei Öffnungen von je 85 m folgte. Dadurch wurde vor allem in Frankreich der Bau einer großen Anzahl neuer Brücken angeregt, unter denen allerdings die 109 m weite Brücke von Cubzac²⁾ (1827–39) schon in ihrer ersten Anlage, hauptsächlich wegen ihrer komplizierten Seilanordnung äußerst mangelhaft war und infolgedessen 1869 durch Sturm so stark beschädigt wurde, daß sie abgetragen werden mußte. Ähnliches widerfuhr auch der weitest gespannten französischen Kabelbrücke, der 1836 errichteten Vilainebrücke bei la Roche-Bernard (198,27 m)³⁾. Diese war dadurch bemerkenswert, daß Leblanc bei ihr die Tragkabel nicht, wie bisher in Frankreich üblich, in der Fabrik, sondern zum erstenmal am Bau herstellen lassen.

Die Stadt Paris erbaute in den Jahren 1833–42 mehrere Drahtkabelbrücken, doch war diesen nur eine kurze Dauer beschieden.

Die größte Stützweite aller Drahtkabelbrücken Europas, 273 m, wurde von Chaley 1832–34 in Freiburg in der Schweiz erreicht, und zwar mit nur zwei Kabeln von 20 Seilen, welche zusammen 1056 Drähte von je 3,8 mm Stärke enthielten;⁴⁾ allerdings wurde im Jahre 1851 noch eine Verstärkung der Verankerung, und 1881 die Zufügung weiterer Kabel für ratsam erachtet. Chaley führte auch die zweite Freiburger Brücke, die 227 m weite Gotteron-Brücke aus (1834–40), welche im Jahre 1897 noch weitere Kabel bekam.

Wie bei den ersten Kettenbrücken, so war auch bei den Kabelbrücken die Widerstandsfähigkeit gegen Wind und regelmäßige Erschütterungen anfangs sehr gering und es führte dies zu unliebsamen vertikalen und horizontalen Schwankungen, die mit der Zeit große Befürchtungen und allgemeines Mißtrauen hervorriefen.

Zwar hatte sich schon Seguin mit der Frage der Versteifung befaßt und bereits an hölzerne Längs-Parallelträger mit Gegenstreben und eisernen Zugstangen nach Art der späteren Howe'schen Träger gedacht sowie mehrfache guirlandenartig hängende Kabel mit ungleichen Pfeilhöhen vorgeschlagen, wie sie weiterhin an französischen Seilbrücken

¹⁾ Zur Übersicht über die wichtigsten Drahtkabelbrücken vergl. Tabellen bei Mehrtens, Eisenbrückenbau, S. 441, 453, 468, 498, 508.

²⁾ Allgem. Bauzeitg. 1845, S. 91, Atlas Bl. DCLVIII.

³⁾ Ann. des ponts et chaussées 1859, 3. Serie, 2. Halbjahr, S. 249–329, Taf. 168–170.

⁴⁾ Allgem. Bauzeitg. 1836, S. 341. Atlas Bl. LXXV.

ausgeführt worden sind. Aber zu durchgreifenden Maßnahmen hatte dies noch nicht geführt, obwohl gelegentliche Unfälle und Einstürze den sich mehrenden Warnungen stets neue Nahrung zuführten. Da kam das große Unglück von Angers im Jahre 1851, nämlich der bei Sturm unter einer marschierenden Truppe erfolgte Zusammenbruch der 1835—38 erbauten Mainebrücke (104,50 m). Jetzt trat in Europa, insbesondere in Frankreich eine starke Ernüchterung ein: Neue Brücken wurden in der bisherigen wenig steifen Bauart nicht mehr errichtet und die bestehenden Bauwerke wurden eifrig nachgeprüft und verstärkt, stellenweise sogar anderweitig ersetzt.

Dagegen fand das System der einfachen Kabelbrücken in Amerika Aufnahme. Die schon erwähnte Schuylkillbrücke (1816) wirkte allerdings wenig anregend, auch stand der Holzbrückenbau im Vordergrund. Nachdem aber von Röhling die erste Drahtfabrik gegründet war (1840), wurde die französische Bauart der Kabelbrücken durch Ellet eingeführt, der 1840 eine Brücke über den Schuylkill im Fairmont-Park in Philadelphia, 1847 die 308 m weite Ohio-Brücke bei Wheeling¹⁾, 1849 die erste Kabelbrücke über die Niagara-fälle (231,6 m)²⁾ und 1852 die 146 m weite Brücke über den Elkfluß in Charleston errichtete. Die Ohio-Brücke wurde im Jahre 1854 durch Sturm zerstört. Sie wurde zwar 1856 durch Cormick wieder aufgebaut, war aber so wenig steif, daß im Jahre 1873 ein sichernder Umbau durch Hildenbrand vorgenommen werden mußte. Einen zweiten Drahtsteg (317 m Weite) spannte Serrel über die Niagara-fälle (1850). Besondere Bedeutung gewannen für Amerika aber erst die Kabelbrücken eines geborenen Deutschen, des schon genannten Johann Röhling³⁾. Dieser führte vor allen Dingen das Luftspinnverfahren ein, d. h. er ließ die Kabel an Ort und Stelle aus gespannten Einzeldrähten bündeln, wie dies schon in Frankreich versucht worden war. Ferner vereinfachte Röhling die Seilanordnung, indem er gegenüber der französischen Bauart nur wenige, aber dafür entsprechend starke Kabel anbrachte. Vor allem aber suchte er seinen Brücken die erforderliche Steifigkeit zu geben, und er ließ zu diesem Zweck seine 250 m weite Eisenbahn-Hängebrücke über den Niagara (1851—55)⁴⁾ mit Schrägseilen und Howe'schen Holzträgern ausstatten. Letztere wurden nebst den schadhaft gewordenen Steinpfeilern 1877—86 durch Eisen ersetzt, doch konnte schließlich der Bau der schon erwähnten eisernen Bogenbrücke (1897) an dieser Stelle nicht vermieden werden.

Wie bei den Kettenbrücken, so ging man auch bei den Kabelbrücken bald von der hölzernen zur eisernen Längsversteifung der Fahrbahn über. Mit einer solchen wurde z. B. 1856—57 die 322 m weite Ohio-Brücke zwischen Cincinnati und Covington ausgestattet, welche eine weitere Sicherung dann noch 1895—99 durch Einfügen gegliederter Bogen-sehnenträger erfuhr⁵⁾. Eine größere Weite (387 m) bei ähnlicher Ausführungsweise erhielt 1867—69 die Straßenbrücke

von Keefer über den Niagara bei Cliftonhouse⁶⁾. Mit Fachwerk und Blechträgern wurde die Alleghanybrücke in Pittsburgh⁷⁾ (1860) versteift. Alle diese Brücken übertraf aber die 487,7 m weite erste Eastriverbrücke in New York⁸⁾, welche Röhling Vater und Sohn 1869—83 mit kräftigen gegliederten Längsträgern und in Anbetracht der großen Mittelspannweite mit Kabeln aus Gußstahldraht ausführten⁹⁾.

Eiserne Versteifungsträger erhielten in Amerika auch 1895 die East Liverpoolbrücke (214,4 m) über den Ohio bei Pittsburgh, und 1896—1903 die Williamsburg-Brücke (Abb. 91) über den Eastriver in New York (487,7 m)¹⁰⁾.

Die amerikanische Bauweise steifer Kabelbrücken wurde bald nach Europa, vor allem nach Frankreich übernommen, wobei man jedoch auf die von Vicat 1830 angeregte Austauschbarkeit und damit auf eine größere Zahl von Kabeln Wert legte. Während man ferner in Amerika neben den lotrechten Aufhängebändern noch versteifende Schrägkabel anzubringen pflegte, beschränkten die Franzosen letztere nur auf die den Pfeilern zunächst liegenden Brückenteile, und ließen dort die senkrechten Seile weg. Mit Vorliebe verwandten sie die von Arnodin herrührenden Spiralkabel.

Es entstanden in dieser Weise u. a. 1901 die Aramonbrücke über die Rhone (274,3 m), 1902 die Brücke le Bonhomme über den Blavet (163 m)¹¹⁾ sowie die Hängebrücke über die Rhone zwischen Jons und Niévroz (200 m)¹²⁾. Mit besonders sorgfältiger Rücksichtnahme auf völlige Ersatzmöglichkeit der Kabel ist 1907—1908 nach dem System Giscard die mit Blechträgern versteifte Cassagne-Brücke konstruiert worden (156 m), bei welcher die Schrägseile, um sie geradlinig zu erhalten, ihrerseits wieder an besonderen Entlastungsseilen aufgehängt sind¹³⁾.

Diese Anordnung ist aber umständlich und teuer, und hat daher gelegentlich wieder vor einfacheren Systemen zurücktreten müssen, z. B. an der 162,4 m weiten Brücke von Saint-Martin d'Ardèche¹⁴⁾.

An sonstigen Kabelbrücken mit steifer Fahrbahn wären die 72 m weite Brücke bei Langenargen¹⁵⁾ (1897—98) und die neue Donaubrücke in Passau¹⁶⁾ (128,08 m) zu nennen, sowie die stärkste, wenn auch nicht längste New-Yorker Brücke, die Manhattan-Brücke¹⁷⁾. Letztere ist für Fußgänger, Wagen, Eisenbahn und Straßenbahn bestimmt;

¹⁾ Engineering 1869, Bd. 7, S. 268, Abb. bei S. 289. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1870, S. 126, Taf. V.

²⁾ Scientif. Am. 1879, Bd. 40, S. 335.

³⁾ Zeitschr. d. ö. Ing.- u. Arch.-Ver. 1877, S. 12. Scientif. Am. 1883, Bd. 48, S. 324. Zentralbl. d. Bauverw. 1883, S. 105. Schweiz. Bauzeitg. 1883, Bd. 1, S. 149.

⁴⁾ Herstellung der Kabel s. Scientif. Amer. 1878, Bd. 35, S. 303; Bd. 39, S. 287.

⁵⁾ Le Génie Civil, Bd. 45, 1904, S. 209. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1904, S. 1213. Deutsch. Bauhandb., Bauk. d. Ing., Der Brückenbau, Bd. I, Eis. Brücken, S. 310.

⁶⁾ Le Génie Civil 1904—05, Bd. 46, S. 217.

⁷⁾ Ebenda, S. 313. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1905, S. 1014.

⁸⁾ Nouv. ann. de la constr. 1909, S. 178. Le Génie Civil 1909, S. 273.

⁹⁾ Nouv. ann. de la constr. 1913, S. 1.

¹⁰⁾ Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1899, S. 11. Deutsch. Bauhandb., Bauk. d. Ing., Der Brückenbau, Bd. I, Eis. Brücken, S. 309.

¹¹⁾ Deutsche Bauzeitg. 1912, S. 6.

¹²⁾ Der Eisenbau 1911, S. 157. Welt d. Technik 1909, S. 351. Engineering Record 1909. Vol. 60, S. 372. Le Génie Civil Bd. 45, 1904, S. 209.

¹⁾ Allgem. Bauzeitg. 1852, S. 208, Atlas Bl. 485. Nouv. annales de la constr. 1865, S. 130, Taf. 42.

²⁾ Allgem. Bauztg., S. 215, Atlas Bl. 485.

³⁾ Über Röhling'sche Hängebrücken vergl. Zeitschr. f. Bauwes. 1862, S. 373. Engineering 1892, Bd. 53, S. 3, Fig. 8.

⁴⁾ Scient. Am. 1879, Bd. 40, S. 335.

⁵⁾ Zeitschr. f. Bauwes. 1862, S. 377, Atlas Bl. 55.

Jordan-Michel, Eisenkonstruktionen. I.

ihre Pfeiler sind aus Eisen konstruiert, tragen an ihrer Spitze die Kabel und sind beweglich auf Walzen gelagert, so daß sie in der Längsachse der Brücke pendeln können. Für das Spinnen der Kabel wurden nur 4 Monate gebraucht, während diese Arbeit an der alten, ersten Eastriverbrücke 21 Monate, an der Williamsburgbrücke 7 Monate in Anspruch genommen hatte¹⁾. Das Umschnüren der Kabel geschah durch eine von Robinson erfundene neue Maschine, welche in der Stunde bei drei Mann Bedienung rund 5 m Kabelwerk lieferte, während die früheren Maschinen im Tag bei 5 Mann Bedienung nur rund 6—7 m fertig gebracht hatten.

Die Manhattan-Brücke wird von Bernhard für das hervorragendste Brückenbauwerk Amerikas erklärt, und zwar gegenüber der Williamsburg-Brücke wegen der Schlichtheit der Türme, wegen der Klarheit des Strebe- und Versteifungssystems, und wegen der guten Durchbildung der Einzelheiten²⁾.

Als erste Eisenbrücke in Afghanistan wurde neuerdings eine 132 m weite Hängebrücke über den Kabulfluß in Betrieb genommen³⁾.

d) Vereinigte Systeme.

Mit fortschreitender Erfahrung vereinigte man öfters mehrere Konstruktionssysteme, um ihre Nachteile auszugleichen⁴⁾, andererseits ihre Vorteile zu verschmelzen und damit vor allem größere Spannweiten zu erzielen. Während man z. B. an der vorzüglichen Schönheitswirkung der Bogenbrücken seine Freude hatte, konnte man doch nicht die praktischen Vorzüge vergessen, die der Kragträger in so hohem Maße bot. Es dauerte denn auch nicht lange, bis man die Bogenträger über die Kämpfer-Lotrechte hinaus rückwärts verlängerte, und diese Verlängerungen auf Endpfeiler auflegte, oder sogar als Auflager für kleinere Schleppträger benutzte. In dieser Weise war als Ausleger-Bogenträger anfangs der 90 er Jahre die schweißeiserne Hawk-Street-Brücke in Albany (New-York)⁵⁾ entstanden und zwar mit drei Gelenken, einer Mittelöffnung von 109,726 m Weite und zwei auskragenden Enden von 34,2 m Länge, an die sich noch Schleppträger von 20,65 m anschlossen. Ihr folgten aus Flußeisen 1895—96 die Mirabeau-Brücke⁶⁾ in Paris mit einem 93,2 m weiten Dreigelenk-Mittelbogen und zwei seitlichen über den Landpfeilern nach unten verankerten Kragträgern von 32,42 m Länge, und als erste in Deutschland die 1899 mit 32,25 m Mittelweite und 13,69 m Seitenöffnung erbaute Straßenbrücke Mölln—Schwarzenbeck über den Elbe-Trave-Kanal⁷⁾, nebst einigen Brücken über den Teltow-Kanal⁸⁾ (Abb. 76). Mit einem Dreigelenk-Auslegerbogen wurde die größte Bogen-Stützweite Europas, 220 m, erreicht und zwar

¹⁾ Der Eisenbau 1911, S. 455.

²⁾ Deutsch. Bauhandb., Bauk. d. Ing., Der Brückenbau, Bd. I, Eisenerne Brücken, S. 314.

³⁾ Scientific American 1910, S. 241.

⁴⁾ Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1889, S. 1120. Engineering News 1889, Bd. 21, S. 139.

⁵⁾ Vergl. Tabellen bei Mehrrens, Eisenbrückenbau, S. 698, 712.

⁶⁾ Engin. News 1896, Bd. 36, S. 317. Zentralbl. d. Bauverw. 1897, S. 241. Schweiz. Bauzeitg. 1897, Bd. 30, S. 39.

⁷⁾ Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1900, S. 766.

⁸⁾ Zentralbl. d. Bauverw. 1908, S. 350. Zeitschr. f. Bauwes. 1906, S. 642.

beim Viar-Viadukt¹⁾, der 1902 in der Bahnlinie Carmaux—Rodez fertiggestellt wurde, und sich auch durch seine große Höhe von 127 m auszeichnet. In letzterer wird er nur von der Siouletalbrücke bei Vauriat (132,5 m) übertroffen, während ihm die Garabittalbrücke mit 122 m Höhe und die Müngsternerbrücke mit 107 m am nächsten kommen.

Als Auslegerbogen mit drei Gelenken wären schließlich noch die Troitzkybrücke (96,5 m) über die Nawa in Petersburg²⁾ (1897—1903) und die Austerlitzbrücke (140 m) über die Seine in der Stadtbahn von Paris³⁾ (1904—05) zu erwähnen.

Eine weitere System-Vereinigung ist die Anordnung einer Zugband-Bogenbrücke nach dem Gedanken des Ausleger- bzw. kontinuierlichen Trägers wie 1903 an der Havelbrücke bei Spandau—Eiswerder⁴⁾ (Abb. 83) mit 75,28 m Spannweite der Mittelöffnung und 4,705 m Länge der Ausleger, und 1904 an der Treskow-Brücke (82) in Oberschöneweide⁵⁾ bei Berlin (78 m Mittelöffnung und 37,5 m Seitenöffnungen). Die Havelbrücke gab das Vorbild für die im Jahre 1909 fertiggestellte Südbrücke über den Rhein bei Cöln (165 m)⁶⁾. Eine Weiterbildung der Treskowbrücke ist die Havelbrücke (Abb. 107) im Zuge der Döberitzer Heerstraße bei Spandau⁷⁾. Sie besitzt fünf Öffnungen u. zw. kragen die mit Zugband versehenen Zweigelenk-Bogenträger der Mittelöffnung in die beiden Seitenöffnungen hinein, ebenso die Träger der Endöffnungen, und in den Seitenöffnungen sind zwischen die Trägerenden einfache Balken eingehängt.

e) Eisen mit Beton.

Unter den neueren Konstruktionsweisen gewinnen der Eisenbeton und der reine Beton immer mehr an Bedeutung. Es liegt daher der Gedanke sehr nahe, zu besonderen Zwecken die reine Eisenkonstruktion mit dem Eisenbeton oder Beton in tätige Verbindung zu bringen. Ein dahingehender interessanter Versuch wurde vor einigen Jahren in Frankreich bei Errichtung der Brücke über den Guindy gemacht, indem man einen Dreigelenkbogen zwischen Ufer-Ausleger spannte, und diesen Bogen mit zwei Stahlgurtungen und zwei Eisenbeton-Gurten versah, derart, daß der Stahl hauptsächlich zur Aufnahme der Eigenlast, der Eisenbeton zur Aufnahme der Nutzlast berechnet wurde⁸⁾ (Abb. 43).

Beim Neubau der Brücke über den Kanal du Midi in Toulouse⁹⁾ (12 m) war aus örtlichen Gründen nur eine sehr geringe für Eisen nicht ausreichende Bauhöhe möglich. Ferner durften mit Rücksicht auf die Schifffahrt keine Gerüste in

¹⁾ Zentralbl. d. Bauverw. 1891, S. 115. Le Génie Civil 1903, Bd. 43, S. 1.

²⁾ Zentralbl. d. Bauverw. 1904, S. 42. Le Génie Civil 1903—04, Bd. 44, S. 177.

³⁾ Le Génie Civil 1904—05, Bd. 46, S. 417.

⁴⁾ Zeitschr. f. Bauwesen 1904, S. 66.

⁵⁾ Zeitschr. d. Ver. d. Ing. 1905, S. 1141. Zentralbl. d. Bauverwaltung 1907, Nr. 54.

⁶⁾ Baugew.-Zeitg. 1910, S. 392. Deutsch. Bauzeitg. 1912, S. 385.

⁷⁾ Zeitschr. f. Bauwesen 1911, S. 344.

⁸⁾ Handb. f. Eisenbetonbau, III. Bd., 3. Teil, 1908, S. 521. Annales des ponts et chaussées 1907, IV., S. 34. Engineering News 1908, S. 331.

⁹⁾ Zement und Beton 1909, S. 327.

den Lichtraum eingebaut werden, und dadurch verbot sich von selbst die Anwendung von Eisenbeton. Man vereinigte daher beide Konstruktionsweisen, indem man eiserne Blechträger anordnete, deren Obergurte schwächer als die Unterurte waren; über das Ganze streckte man eine die Obergurte umhüllende Eisenbetonplatte, welche die Druckzone vervollständigte und zugleich die Fahrbahntafel bildete. Die Schalung dafür wurde auf die Träger-Unterurte aufgelagert. Die Konstruktion hat den Vorteil, daß keine überflüssigen, schwer lastenden Teile vorhanden sind, und daß schon während des Baues die auftretenden Beanspruchungen aufgenommen werden können. Allerdings ist das Eisen nur zum kleinsten Teil von Beton umhüllt, dafür wird es aber von der durchgehenden Eisenbetonplatte schützend überdeckt.

Eine Verbindung von Eisenbau mit reinem Beton ohne Eiseineinlage findet sich an der Überführung der 42. Straße über die Eisenbahn in Philadelphia¹⁾ und zwar an einer Zugband-Bogenbrücke, bei welcher der Hohlraum der kastenförmigen Hauptträger, wohl im Gedanken an umschürnte Betonstützen, mit Beton ausgestampft wurde. Die Hauptträger ruhen stumpf auf dem Widerlager auf und besitzen ein Scheitelfgelenk. Außerdem wurden für die Dauer der Aufstellung zwischen Kämpfer und Scheitel Hilfgelenke eingebaut und später fest gemacht²⁾.

II. Bewegliche Brücken.

Neben den festen Brücken gelangten in neuerer Zeit auch die beweglichen zu neuer Entwicklung, obwohl sie naturgemäß gegenüber den ersteren an Bedeutung zurückstehen müssen³⁾.

Rollbrücken sind zuerst wohl bei Carmathen (1852) und bei Swansea (18,3 m l. W.) ausgeführt worden.

Gelegentlich kommen auch Rollfähren vor, die wie in Greenock und St. Malo⁴⁾ zusammen mit den stützenden Pfeilern auf einer in der Sohle des zu überschreitenden Gewässers liegenden Bahn laufen.

Hubbrücken mit beweglichen Hauptträgern wurden z. B. am Bassin de la Vilette (15 m l. W.) zu Paris (1886) und in der Halsted-Straße in Chicago (38 m) errichtet, dann über dem Urbanhafen in Berlin (1895)⁵⁾, und in doppelter Ausführung an der Hafenstraße in Lübeck, einmal für Eisenbahn (45 m) und daneben für die Straße (42,24 m)⁶⁾. Bei den letzteren sind Halbparabelträger angewandt, während sonst bei Hubbrücken meistens Blechträger und Parallel-Fachwerkträger bevorzugt werden. Eine zweigeschossige Hubbrücke finden wir über dem Willamette-Fluß in Portland, Oregon⁷⁾.

¹⁾ Engineering News, Band 62, 1909, S. 674. Zeitg. d. Ver. deutsch. Eisenb.-Verwaltg. 1909, S. 964. Engin. Record Bd. 59, 1909, S. 648.

²⁾ Über eine mit Beton umstämpfte Blechbogenbrücke in Buffalo s. Engineering Record 1910, S. 217.

³⁾ Handbuch der Ingenieurwissenschaften 1907, II. Band, 4. Abt. Bewegl. Brücken. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1908, S. 596.

⁴⁾ Ann. des ponts et chaussées, 5. Serie, Bd. 8, 1874, 2. Halbjahr, S. 5, Taf. 13.

⁵⁾ Über Lauenburg s. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1900, S. 765.

⁶⁾ Ebenda, S. 779.

⁷⁾ Engineering News 1912, Bd. 68, S. 1100.

Mit festliegenden Hauptträgern, aber beweglicher Fahrbahn sind die Hubbrücke von Utica (New-York) über den Erie-Kanal (1874), die Chitpore-Hubbrücke (35 m l. W.) zu Kalkutta (1878)¹⁾ u. a. m. ausgestattet.

Eiserne Zugbrücken sind die Rottebrug bei Amsterdam (1895) und die Doppelbrücke über den Newton-Creek in Brooklyn (1895).

Die Klappbrücken unterscheiden sich von den Zugbrücken dadurch, daß ihre Drehachse nicht an den Enden der Träger, sondern in der Nähe des Schwerpunktes des beweglichen Brückenteils liegt. Sie sind entweder mit fester oder mit beweglicher Drehachse gebildet.

Neuere Ausführungen dieser Art begegnen uns an der 60,96 m weiten Mittelloffnung der Tower-Brücke (1892—94) in London (Abb. 88), deren Fußgänger-Verkehr bei geöffneter Klappbrücke mit Hilfe von Aufzügen über eine hochgelegene Balkenbrücke geleitet wird, dann an der nach dem Straußschen Drehzapfen-Klappensystem konstruierten neuen Knipfelsbrücke (1908) in Kopenhagen²⁾, und an der Schmiedebrücke (22,80 m) in Königsberg (1895—96)³⁾. Große Beliebtheit erwarben sich die Klappbrücken in Amerika, wo sie sich mit Rücksicht auf beschränkte Raumverhältnisse und im Streben nach schneller Handhabung mehr und mehr an Stelle der noch zu besprechenden Drehbrücken einbürgerten⁴⁾.

Eine besondere Abart sind die von dem amerikanischen Ingenieur Scherzer eingeführten Klappbrücken mit kreisförmigen Schuhen, welche auf gezahnten eisernen Laufbahnen rollen. Der Vorteil des Systems liegt in der Möglichkeit einfacher Gestaltung und einfacher rascher Handhabung bei geringem Kraftbedarf, da nur die rollende Reibung zu überwinden ist. Ferner brauchen die rückwärts rollenden Klappen nicht um einen so großen Winkel aufgedreht zu werden wie die Brücken mit fester Drehachse. Die erste Scherzerbrücke wurde von ihrem Erfinder 1894—95 mit zwei Klappen von zusammen 33,24 m Weite in der Van-Buren-Straße in Chicago ausgeführt. Es folgte die Brücke über die Newark-Bai⁵⁾ (2 × 36,5 m Weite) und eine Reihe sonstiger Bauwerke vornehmlich in Amerika⁶⁾ und England, sowie die größte bewegliche Brücke Asiens über den Ngawun-Fluß in Burma (1908) mit einer Klappöffnung von 67 m Weite⁷⁾.

In Holland wurde nach dem Scherzersystem eine Straßenbrücke über das Kostverlorenvaart in Amsterdam hergestellt, in Deutschland die Mittelloffnung der Hansabrücke über die Oder in Stettin (1904—05) sowie die Baumbrücke ebenda, und zum Ersatz älterer Kranbrücken eine Gruppe von Kanalbrücken der Oldenburgischen Staatsbahnen (1905—06) nach Ocholt und Leer⁸⁾. Eine Klappbrücke von 91 m

¹⁾ Wochenbl. f. Architekten u. Ingenieure 1883, S. 252.

²⁾ Schweiz. Bauzeitg. 1909, II, S. 84.

³⁾ Über Duisburg s. Zeitschr. f. Bauwesen 1909, S. 359. Deutsche Bauzeitg. 1909, S. 362.

⁴⁾ Engineering News 1909, S. 119. 1910, S. 560. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1896, S. 805. Der Eisenbau 1913, S. 5.

⁵⁾ Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1904, S. 1089.

⁶⁾ Engineering Record 1909, S. 690.

⁷⁾ Scientific American 1909, Suppl. Nr. 1736, S. 232. Zeitschrift d. Ver. deutsch. Ing. 1909, S. 673. Railroad Age Gazette 1909, S. 685.

⁸⁾ Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnwesens 1909, S. 425.

Weite auf Ponton-Zwischenstützen sehen wir über dem Hugli in Calcutta¹⁾.

Die größte Bedeutung unter den beweglichen Brücken haben die Drehbrücken gewonnen, vornehmlich durch die mit ihnen gebotene große Durchfahrtsweite und hohe Betriebssicherheit. Andererseits beanspruchen sie für die seitliche Bewegung verhältnismäßig viel Raum, ihre Bewegungsdauer ist störend lang, und bei zweiflügeliger Ausführung wird ihre Scheitelverriegelung schwierig. Ferner sind bei gleicharmigen Brücken die Mittelpfeiler störend, und eine nachträgliche Verbreiterung ist nicht mehr möglich²⁾. Infolgedessen hat, wenigstens für großstädtischen Verkehr, die Klappbrücke entschiedene Vorzüge.

Neben einer Reihe von älteren Drehbrücken³⁾ wäre mit Blechträgern die Brücke am Alten Hafen (14,05 m) in Cuxhaven zu nennen (1903), dann mit geradlinig begrenztem Fachwerk eine Anzahl Bauten von 50 m l. W. am Nord-Ostsee-Kanal (1893–94), die Reihersteg-Brücke Neuhof⁴⁾ (49 m) in Hamburg (1898–99) und die Drehbrücke am Oberhafen ebenda⁵⁾ (1907).

Schließlich folgen die sehr wechselvollen Gestaltungen der gegliederten Träger mit gekrümmter Gurtung z. B. an der Deelfluß-Brücke (42,7 m) bei Hawarden in England, an den Drehbrücken in Köln (1894), Ludwigshafen (1894) und Mannheim (1902), über die Hunte⁶⁾ (60 m) bei Oldenburg und über den Nordsee-Kanal bei Velsen⁷⁾ (1905). Als Doppelbrücken wurden die Herrenbrücke bei Lübeck⁸⁾ (1901) und die Drehbrücken von Wilhelmshaven⁹⁾ (70 m) und Libau¹⁰⁾ (77,88 m) errichtet, wobei den Kragarmen der beiden letzteren ein durchhängender Obergurt und mit Rücksicht auf möglichst geringe Behinderung der Kleinschiffahrt ein bogenförmiger Untergurt, also größte Trägerhöhe über den Stützpunkten und damit im ganzen eine der Momentwirkung entsprechende Gestalt gegeben wurde. In Wilhelmshafen greifen ähnlich wie schon an der Herrenbrücke in Lübeck beide Brückenteile mit besonderen Stahlgußkörpern gelenkartig so ineinander, daß die geschlossene Brücke sich als durchgehender Träger mit Mittelstoß darstellt.

Als neuere Brücken besonderer Art wären die hohen Brücken- oder Schwebefähren¹¹⁾ zu erwähnen, feste Hochbrücken mit einer beweglich angehängten Fähre, die den

Verkehr in Uferhöhe vermittelt, ohne die Schifffahrt zu behindern. Durch ihre Transportweise sind die Brückenfähren vor anderen Systemen im Vorteil, da eine Drehbrücke die Schiffe zum Aufenthalt zwingt, und andererseits den Brückenverkehr für Fußgänger usw. zeitweise unterbricht; Hochbrücken wiederum verlangen große Zufahrtsrampen oder Aufzüge, und Rollfähren sind nur dort möglich, wo der Boden fest ist und bei Ebbe für Fahrbahn-Reparaturen usw. freiliegt. Ein Vorschlag zu einer Brückenfähre findet sich bereits bei Faustus Verantius (1617)¹⁾. Dann kamen ähnliche Anregungen von Morse in New York (1869) und Smith in England (1873). Verwirklichung aber brachten erst die neunziger Jahre des vergangenen Jahrhunderts durch den Franzosen Arnodin, der die festen Hauptträger als versteifte Kabelbrücken auf hohen Turmpfeilern ausführte²⁾. Die ersten Brückenfähren entstanden 1892 bei Bilbao (160 m), 1894 bei Bizerta (109 m), 1899 bei Rouen (143 m) und 1900 bei Rochefort (139,76 m), wobei die Rückhaltkabel schräg nach unten geführt wurden. Da diese Anordnung sich als unpraktisch erwies, verlängerte man 1903 bei Nantes (141 m) und 1904 in Marseille (165 m)³⁾ die Versteifungsträger über die Auflager hinaus und leitete die Kabel über die so gebildeten Ausleger-Enden senkrecht in den Boden; beide Fähren erhielten überdies in der Mittelöffnung einen eingehängten Schwebeträger. Die Fähre von Bizerta wurde aus militärischen Gründen im Jahre 1903 abgebrochen und 1908 in Brest wieder aufgestellt. In England entstanden Brückenfähren nach französischer Art 1904 bei Newport-Monmouthshire (196,25 m), 1905 bei Runcorn⁴⁾ (304 m), sowie neuerdings über den Mersey bei Warrington⁵⁾ (76 m) und über den Teesfluß bei Middlesbrough⁶⁾. In Deutschland ist seit 1910 eine Brückenfähre über der Hafeneinfahrt der Kaiserlichen Werft in Kiel im Betrieb (118 m)⁷⁾.

Nicht mit Kabeln, sondern mit einem Hauptträger aus Fachwerk mit parabolischem Obergurt wurde 1905 eine Brückenfähre bei Duluth⁸⁾ am Oberen See in Nordamerika (120 m) und neuerdings eine solche in Deutschland über die Oste bei Osten⁹⁾ (80 m) erbaut. Bei letzterer dient zur Aufnahme des weitmaschigen Trägers auf jedem Ufer ein aus räumlichem Fachwerk gebildetes, 25 m weit gespreitztes Portal, dessen Schenkel nach unten in Spitzen auslaufen.

¹⁾ Le Génie Civil 1912, Bd. 62, S. 9.

Über die 42,7 m weite Klappöffnung der neuen Brücke „Kaiser Peter des Großen“ s. Eisenbau 1910, S. 320 mit Abb.

Über neuere Klappbrücken mit bewegl. Drehachse in Amerika s. Deutsche Bauzeitg. 1911, S. 339.

²⁾ Zentralbl. d. Bauverwaltung 1910, S. 373.

³⁾ Über d. Penfeld-Brücke in Brest s. Allgem. Bauzeitg. 1864, S. 57, Atlas Bl. 637.

⁴⁾ Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1900, S. 1415.

⁵⁾ Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1905, S. 376.

⁶⁾ Org. f. d. Fortschr. des Eisenbahnwesens 1907, S. 172. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1907, S. 1361.

⁷⁾ Org. f. d. Fortschr. des Eisenbahnwesens 1905, S. 227. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1906, S. 1009.

⁸⁾ Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1906, S. 1089.

⁹⁾ Ebenda 1909, S. 809, 867. Österr. Wochenschr. f. d. öff. Baudienst 1909, S. 145.

¹⁰⁾ Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1908, S. 913.

¹¹⁾ Annales d. trav. publics de Belgique, 1912, S. 925. Tabelle bei Mehrrens, Eisenbrückenbau, S. 746.

¹⁾ Mehrrens, Eisenbrückenbau, S. 226. Fig. 249.

²⁾ Le Génie Civil. 1903, Bd. 44, S. 33. 1905–06, Bd. 48, S. 265. 1908, Bd. 53, S. 449.

³⁾ Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1905, S. 714.

⁴⁾ Ebenda, 1908, S. 936.

⁵⁾ The Engineer, 29. Sept. 1911, S. 336. Scientif. Am. Dez. 1911, S. 556.

⁶⁾ Stahl und Eisen 1911, S. 184. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1911, S. 764 und Textbl. 10.

⁷⁾ Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1905, S. 499. Le Génie Civil 1902, Bd. 41, S. 23.

⁸⁾ Deutsche Bauzeitung 1909, S. 665.