



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Die künstlerische Gestaltung von Eisenkonstruktionen

Text

Jordan, Hermann

Berlin, 1913

1. Auf zwei Endstützen

[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 General-Inspektors Gauthey hervor:

„A 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 zusammengesetzt¹⁾. 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 Wegeüberführung (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 vorgreifend 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. CCXCI; 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 Bolzengelenken 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 Südwaales 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⁾ Mehrtens, 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 Querwänden 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⁾ Wochenschr. f. Architekten u. Ingenieure 1883, S. 115.

⁴⁾ Wochenschr. 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 entfaltet 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 Gernersheim (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 Obergurts 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 Mississippi-Brücke 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.