



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Die künstlerische Gestaltung von Eisenkonstruktionen

Text

Jordan, Hermann

Berlin, 1913

I. Geschichtliche Entwicklung

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

jene kühnen Brücken und Hallen, die den Fachmann mit hoher künstlerischer Freude erfüllen, bei dem breiten Publikum großer Verständnislosigkeit begegnen: Das Auge muß sich eben an die neuen Formen gewöhnen; es ist Tatsache, daß jede Neuerscheinung mit dem instinktiven Widerstreben der Menschen zu kämpfen hat, die gern das Alte, ihnen Bekannte festhalten möchten. Eine gewisse Trägheit will vom Eindringen in neue Formen und Begriffe nichts wissen.

Hier, beim Eisen, muß diese Erscheinung um so stärker auftreten, als die Entwicklung des neuen Werkstoffs und der neuen Technik sich in einer selbst für die Fachkreise überraschenden Schnelligkeit vollzog und damit den nicht fachmännischen Kreisen kaum die Möglichkeit ließ, in gleichem Schritt auf den neuen Wegen zu folgen.

So ist es an uns, den Architekten und Ingenieuren, das Fehlende nachzuholen, der Allgemeinheit die Blicke zu schulen und gleichzeitig die junge Eisenbauweise immer mehr in die Bahnen der Kunst zu lenken.

Wenn die vorliegende Arbeit in den Dienst dieser schönen Aufgabe treten soll, so kann sie jetzt, wo die Entwicklung noch nicht abgeschlossen ist, keineswegs beanspruchen den Gegenstand erschöpfend zu behandeln. Aber es wird wenigstens möglich sein, kurz auf die wichtigsten Gesichtspunkte einzugehen. In diesem Sinne sei nachstehend als erstes der geschichtliche Werdegang der Eisenkunst verfolgt, dann ihr Wesen kritisch betrachtet, und schließlich über eine verheißungsvolle Gegenwart hinaus ein ahnender Ausblick in die Zukunft zu gewinnen versucht.

I.

Geschichtliche Entwicklung.

A. Allgemeines.

Schon im 15. Jahrhundert hatte man gelernt die durch Jahrtausende geübte rohe Rennarbeit mit Hilfe der Wasserkraft durch eine systematische Darstellung des Eisens in Schachtöfen, vor allem in den sogenannten Stücköfen zu ersetzen. Auch war man in der Weiterentwicklung beim Blauföfen schon dazu gelangt, durch geringe Abänderung in der Windführung, im Erzsatz und im Schlackenabzug entweder schmiedbares Eisen oder, in bereits ununterbrochenem Betrieb, flüssiges Roheisen zu erhalten. Aber die Gesamt-Erzeugung blieb doch in verhältnismäßig engen Grenzen, und diente in der Hauptsache nur zu untergeordneten Zwecken, zur Guß-Herstellung von Ofenplatten, Kaminböcken und ähnlichen Nutzgegenständen. Selbst der Frischprozeß, welcher, wie alle damaligen Neuerungen, rein empirisch gefunden wurde, und der in Verbindung mit der Roheisenerzeugung das vorteilhaftere mittelbare Verfahren der Eisengewinnung gegenüber dem älteren unmittelbaren darstellt, vermochte daran nichts zu ändern. Erst mit dem Übergang zum Hochofenbetrieb, durch den man instandgesetzt wurde, auch schwerer schmelzbare Erze mit Vorteil zu Roheisen zu verarbeiten, setzte eine regere Tätigkeit ein, die dem Gußeisen eine, wenn auch bescheidene, aber doch immerhin selbständige Stellung sicherte, bis es nach 400 Jahren den Vorrang an das Schmiedeeisen abtreten mußte.

Die sich allmählich ausbreitenden Eisenwerke und Hochofen verschlangen aber ungeheure Mengen von Holzkohlen. So verbrauchten im Jahre 1556 allein die Freiburger Hütten alle drei Monate 5377 Wagen. Um den infolgedessen um sich greifenden Waldverwüstungen entgegenzutreten, bemühte man sich, den Verbrauch an Holzkohlen einzuschränken und zu Ersatzmitteln zu greifen. Es führte daher der Herzog Julius von Braunschweig-Lüneburg in der zweiten Hälfte des 16. Jahrhunderts die am Hils gewonnene Steinkohle für Schmiedezwecke, sowie zum Kalk- und Ziegelbrennen ein, ja er machte bereits den Vorschlag, die Steinkohle zu ver-

koken¹⁾, „daß man soll Steinkohlen nehmen, dieselbe mit verdebtem Feuer wohl verlutieret, glühen, damit der Dunst und spiritus sulphuris mit verraucht.“ „Auf daß man die Kohlen soviel bequemer zum Stubenheizen, Feuer-Kaminen und Schornsteinen ohne großen Rauch und bösen Gestank gebrauchen kann.“ Etwas später, im Jahre 1640 machte in Anhalt Daniel Stumpfelt²⁾ „eine Invention, den Steinkohlen den Gestank, die Wildigkeit und Unart zu benehmen, damit dieselben in schwarzen und anderen Feuerwerken könnten gebraucht werden.“

Auch zur Eisengewinnung suchte man sehr bald die Steinkohle, sowie eine aus Torf gewonnene Kohle zu verwenden. So erhielten schon 1589 Thomas Procter und William Peterson ein Patent für ein derartiges Verfahren, und 1596 berichtet Caesalpinus, daß die Steinkohle in Lüttich zur Eisenerzeugung diene. Aber alle diese Versuche gewannen keine besondere Bedeutung. Vergeblich versuchte auch Dud Dudley die Steinkohle dem Hochofenbetrieb nutzbar zu machen. Er erhielt zwar im Jahre 1619 ein dahin zielendes Patent, auch errichtete er in Hasco-Bridge den ersten Hochofen für Koksfeuerung, aber er drang trotz zeitweiliger Erfolge mit seinen Vorschlägen nicht durch. Er war seiner Zeit zu weit voraus und mußte daher den ihm feindlich gesinnten Besitzern der Holzkohlenhütten und den außerdem noch ungünstigen äußeren Umständen mit ihren kriegerischen Zeitläuften unterliegen.

Erst im 18. Jahrhundert entstanden die Grundlagen zur heutigen Eisenindustrie, indem es in den dreißiger und vierziger Jahren Abraham Darby und seinem Schwiegersohn Richard Ford endgültig gelang, das Eisenerz im Hochofen nur mit Koks zu verhütten. Die dadurch angeregten Versuche zu Sainbel in Frankreich (1769–70), zu Sulzbach in der Grafschaft Nassau-Saarbrücken (1767) u. a. O. hatten nur geringen Erfolg. In England selbst breitete sich jedoch das neue Verfahren rasch aus und es bestanden dort im Jahre 1779 bereits 59 Hochofen mit Steinkohlenfeuerung, 1787

¹⁾ Beck, Die Geschichte des Eisens, Bd. II, S. 784.

²⁾ Ebenda S. 785.

sogar 121. Der erste brauchbare Koks-Hochofen in Deutschland wurde erst im September 1796 auf der 1790 gegründeten königlichen Hütte in Gleiwitz in Betrieb genommen.

Einen gewissen Abschluß brachte die so bedeutungsvolle Erfindung des Flammofen-Frischens, des sogenannten Puddel-Prozesses, für den Henry Cort am 17. Januar 1783 sein erstes, am 13. Februar 1784 sein zweites Patent erhielt.

Jetzt war man tatsächlich unabhängig von der Holzkohle geworden, und man sah sich instandgesetzt auf verhältnismäßig einfachem Wege Schmiedeseisen darzustellen.

Da England über reiche Erz- und Kohlenlager verfügte, und ihm durch seine insulare Lage der Wassertransport in weitgehendem Maße ermöglicht wurde, vermochte es sich jetzt dem Ausland gegenüber eine große Überlegenheit auf dem Gebiet des Eisenhüttenwesens zu sichern. Dabei kamen ihm mancherlei neuere Erfindungen zu statten. So war es 1740 Benjamin Huntsmann in Doncaster gelungen, Tiegel-Gußstahl darzustellen, der u. a. für die beim Puddelprozeß so wichtigen flachen und kannelierten Walzen von großer Bedeutung war, außerdem aber, nach weiterer Ausgestaltung des Verfahrens (1851) auf der Bochumer Gußstahlfabrik, eine Hauptgrundlage für die Flußstahlfabrikation bilden sollte. Dazu kam sehr bald das Zylindergebläse und die von James Watt erfundene Dampfmaschine (Patente vom 5. Januar 1769 und 22. Mai 1775). Im Jahre 1828 erhielt Neilson ein Patent für Winderhitzung, und am 24. November 1839 erfand Nasmyth den Dampfhammer (Patente vom 9. Juni 1842 und 4. Januar 1843), um den sich schon James Watt und andere bemüht hatten.

Sehr bald wanderte die neue Schweißseisen-Darstellung auch nach dem Festlande aus. Im Jahre 1818 kam der erste Puddelofen in Creusot in Betrieb. Es folgte Seraing. 1824 wurde mit Unterstützung des preußischen Staates der Puddelprozeß in Rasselstein bei Neuwied eingeführt¹⁾, und es konnte dort 1831 das erste deutsche Winkelseisen, 1835 die erste deutsche für die Linie Nürnberg—Fürth bestimmte Eisenbahnschiene gewalzt werden. 1857 wurden von der Gesellschaft Phönix die ersten Γ -Eisen, 1862 von der Burbacher Hütte die ersten $\sqcap$ -Eisen hergestellt.

Im ganzen läßt sich die Entwicklung des Eisenprozesses in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts als Kampf und Sieg des Steinkohlenbetriebs gegenüber dem Holzkohlenbetrieb bezeichnen.

Ein zweiter wichtiger Abschnitt, nämlich der Kampf und Sieg des Flußeisens gegenüber dem Schweißseisen, beginnt mit der bedeutsamen Erfindung des Windfrischens in der Birne durch Henry Bessemer (Patent vom 17. Oktober 1855). Jetzt setzt die Massenherstellung von Stahl ein und gestaltet in eifrigem Wettbewerb aller beteiligten Industriellen das Eisenhüttenwesen völlig um, bis etwa im Jahre 1890 der Sieg des Flußmetalls endgültig entschieden war. Auf diesen Werdegang war von großem Einfluß, daß es im April 1864 den Gebrüdern Martin in Sireuil gelang, Flußstahl auch im Flammofen u. zw. unter Verwendung von Siemens-Regenerativfeuerung zu erzeugen. Dieser Siemens-Martin-Prozeß spielt fortan eine bedeutende Rolle und stellt sich u. a. als wertvolle Ergänzung zum Bessemer Prozeß dar, indem er dessen Abfälle nutzbringend zu verwerten gestattet.

¹⁾ Stahl und Eisen 1910, S. 1139.

Mittlerweile konnten die bisherigen einfachen Bezeichnungen Eisen und Stahl nicht mehr genügen und man vereinbarte deshalb 1876 in Philadelphia eine neue Einteilung folgender Art:

Eisen			
Roheisen (Gußeisen) (leicht schmelzbar, nicht schmiedbar)		Schmiedbares Eisen (schmiedbar, schwer schmelzbar)	
Weißes Roheisen (ohne Graphit)	Graues Roheisen (mit Graphit)	Flußeisen (in geschmol- zenem Zu- stand erhalten)	Schweißseisen (in teigigem Zustande er- halten)
Flußstahl (härtbar)	Flußschmiede- eisen (nicht härtbar)	Schweißstahl (härtbar)	Schweißschmiede- eisen (nicht härbar.)

Von hervorragender Bedeutung insbesondere für Deutschland mit seinen reichen Lagern an phosphorhaltigen Erzen wurde die Entphosphorung durch basisches Konverterfütter im Thomas-Gilchrist-Verfahren (Patent vom 10. April 1879), welches gegenüber dem sauren Bessemer-Prozeß kurz als das basische Verfahren bezeichnet zu werden pflegt. Nach kurzer Frist wurde es auch auf den Martin-Prozeß übertragen, und errang sich hier sogar eine überwiegende Stellung.

Zur Erhöhung der Tragfähigkeit des Eisens macht man neuerdings auch Zusätze von Titan, Mangan, Wolfram, Vanadium, und besonders von Chrom und Nickel¹⁾. Spezialstähle der letzteren Art beginnen zu Konstruktionszwecken schon eine gewisse Rolle zu spielen.

Zu solchen Legierungszwecken, sowie zur Reinigung, insbesondere zur Entphosphorung und Entschwefelung verwendet man seit etwa 1900 auch die elektrische Energie als Wärmequelle (Elektro-Stahlbereitung²⁾), u. zw. sind zu diesem Zweck sowohl Lichtbogenöfen (Stassano, Héroult, Girod) wie Induktionsöfen (Kjellin, Röchling, Frick) konstruiert worden. Voraussetzung ist allerdings ein billiger Antrieb, sei es durch Wasserkraft oder durch eine Großgasmaschine, die mit den Abgasen von Hochöfen betrieben wird. Es wäre demnach heute, um es noch einmal kurz zusammen zu fassen, bei Flußeisen zu unterscheiden³⁾:

Bessemer-Flußeisen,
Thomas-Flußeisen,
saures Martin-Flußeisen,
basisches Martin-Flußeisen;

und bei Flußstahl:

Bessemer-Flußstahl,
Thomas-Flußstahl,
saurer Martin-Flußstahl
basischer Martin-Flußstahl,

¹⁾ Elektrotechn. Zeitschr. 1909, S. 837. Stahl und Eisen 1909, S. 417, 422, 722, 916, 1171; 1910, S. 656; 1911, S. 89, 181. The Engineer 7. Okt. 1910, S. 389. Le Génie Civil 1909, Bd. 54, S. 351. Engineering Record 1908, Vol. 58, S. 394. Metallurgie 1909 S. 384. Engineering 1909, S. 866; 1911, I. S. 652. Öst. Wochenschr. f. d. ö. Baudienst 1912, S. 766.

²⁾ Verhandlg. des Vereins z. Beförd. des Gewerblf. 1909, S. 172. Technik und Wirtschaft 1909, S. 193. Stahl und Eisen 1911, S. 1165, 1258. 1912, S. 1089.

³⁾ Schaper, Eiserne Brücken, S. 28.

Tiegel-Flußstahl,
Nickel-Flußstahl,
Chrom-Flußstahl.

Damit ist aber die Spezialisierung keineswegs abgeschlossen, und die Zukunft wird sicher noch manches Neue bringen¹⁾.

In gleichem Maße, wie sich die Eisendarstellung entwickelte, lenkte die Frage der Materialeigenschaften und damit vor allem der zulässigen Spannungen immer mehr das Interesse der Fachwelt auf sich, und es beschäftigten sich mit der Aufgabe feste vergleichbare Werte für die Zug-, Druck- und Biegezugfestigkeit, für den Elastizitätsmodul und die Elastizitätsgrenze zu gewinnen, nicht nur reine Theoretiker, sondern auch Männer der Praxis, die mit der Ausführung größerer Eisenbauten zu tun hatten. Bei diesen Untersuchungen erwies sich vor allem eine ganz bedeutende Überlegenheit des Schweißeisens gegenüber dem Gußeisen. Das damalige Schweißisen war aber noch keineswegs homogen. Es wies zwar in der Form von Flacheisen und Blechen eine gleichmäßige Zug- und Druckfestigkeit auf, aber bei Profilformen ergaben sich, besonders bei großen Stärken, oft verschiedene Werte an Stegen und Flanschen, ein Mangel, der erst mit der Einführung des gleichmäßigen Flußmetalls eingeschränkt werden konnte.

Naturngemäß wurde die systematische Vornahme von Zerreißversuchen usw. durch die ersten größeren Brückenbauten z. B. bei Großhesselohe und bei Mainz sehr begünstigt, wobei sich besonders die Werder-Maschine mit Vorteil einfuhrte.

Weiter wurden in den 70er Jahren die ersten deutschen öffentlichen Materialprüfungs-Anstalten ins Leben gerufen, nachdem die Engländer schon erheblich früher in diesem Sinne vorangegangen waren, und es entwickelte sich, gleichlaufend mit der allgemeineren Verbreitung der Eisenbauweise, das Materialprüfungswesen als ein besonderes wissenschaftliches Zweiggebiet der Technik. Jetzt war es möglich, durch Zusammenwirken der Ingenieure, Architekten und Eisenhüttenleute Normalbedingungen für die Lieferung von Eisenkonstruktionen des Brücken- und Hochbaufachs zu vereinbaren, also einheitliche Gesichtspunkte für die Beurteilung zunächst des Schweißeisens, dann des Flußeisens²⁾ aufzustellen, und damit eine weitgehende Gewähr für eine gleichmäßige Güte des Stoffes zu schaffen.

Die sich andauernd vervollkommnende Eisendarstellung fand hierin eine vortreffliche Grundlage, um, besonders durch die hohen Anforderungen der Marine angespornt, Baustoffe von hoher Güte zu erzeugen. Infolgedessen konnten neuerdings zu Hochbauzwecken für Flußeisen Druck- und Zugbeanspruchungen bis zu 1600 kg/qcm zugelassen werden, während z. B. beim Neubau des Hauptbahnhofs in Hamburg die Höchstgrenze noch mit 1200 kg/qcm für Flußeisen, mit 10% weniger für Schweißisen angesetzt war³⁾.

Sehr bald nach dem ersten konstruktiven Auftreten des Eisens ließ seine hohe Tragfähigkeit nach Bauweisen suchen, in denen sich größte Kraft mit einem Mindestaufwand von

Material verbände. Da aber überlieferte handwerkliche Regeln für die Bemessung der einzelnen Bauteile in dem Stoff völlig fehlten, wurde man sehr bald dazu gedrängt, eine rechnerische Vorbestimmung der Abmessungen zu versuchen. Damit entwickelte sich an der Hand einiger von anderen Baustoffen übernommener Erfahrungssätze, wie sie ausschließlich noch einem Brunelleschi zur Verfügung gestanden hatten, und mit Hilfe von immer eingehenderen Versuchen und Studien die Wissenschaft der Statik⁴⁾.

Das gesamte Bauwesen hatte sich bis gegen Ende des 18. Jahrhunderts als ein einheitliches Ganzes dargestellt und war als solches z. B. auch von Leone Battista Alberti in seinem Werk „De re aedificatoria“ behandelt worden. Zwar hatten sich schon gegen Ende des 16. Jahrhunderts in Holland die Hydraulik-Architekten als besonderer Berufszweig abgetrennt, aber es blieb dies zunächst ohne weitergehende Bedeutung. Erst gleichzeitig mit dem Auftreten der Eisenkonstruktion und wohl auch in ursächlichem Zusammenhang damit vollzog sich von Frankreich aus mit der Gründung der école des ponts et chaussées (1747) eine Scheidung des gesamten baulichen Arbeitsgebiets in das des konstruierenden Ingenieurs und das des künstlerisch entwerfenden Architekten. Leider hatte dies den schönheitlichen Nachteil im Gefolge, daß sich nunmehr bei den sogen. Ingenieurbauten der reine nüchterne Konstruktionsgedanke vielfach als allein maßgebend in den Vordergrund drängte. Heute wird die genannte Scheidung wieder insofern verwischt, als die Einführung des akademischen Grades des Diplom-Ingenieurs die Gesamtbezeichnung „Ingenieur“ für den technischen Beruf durchzusetzen scheint, wobei lediglich als Unterteilung die ingenieurwissenschaftliche Richtung einerseits und die hochbautechnisch-architektonische Richtung andererseits zu unterscheiden wäre.

B. Vorstufen des Eisenbaues²⁾.

Die Frage, wo man das Eisen wohl zuerst als selbständiges Baumaterial angewandt hat, findet eine überraschende Beantwortung: In dem Lande, das zweifellos viele für uns neue Entdeckungen und Techniken als uraltes gutgeheutes Besitztum bewahrte, in China. Chinesische Kettenbrücken sind als sehr alt bekannt. So bringt 1667 Athanasius Kircher in seinem Werk „China monumentis illustrata“ eine angeblich im Jahre 65 n. Chr. erbaute Kettenbrücke aus der Gegend von Kington in der Provinz Junnan³⁾. Auch Indien verwandte das Eisen sehr früh zu baulichen Zwecken z. B. zur 16 m langen und 50 cm dicken schmiedeisernen Kutub-Säule in Delhi⁴⁾, und zur Überdeckung des 6 m weiten Tors an dem 1236–41 erbauten Tempel von Kanaruk

¹⁾ Näheres s. Meyer, Eisenbauten, S. 29. Mehrstens, Statik der Baukonstruktionen, I. Band, S. 77.

²⁾ The Builder 1880, Bd. I, S. 496.

³⁾ S. auch: Schramm, Historischer Schauplatz, S. 58, Abb. 13 „Kettenbrücke in Sina“, und Engineering, 1892, Bd. 53, S. 1.

⁴⁾ Scientif. Am. 1912, Suppl. No. 1919, S. 235; Abb. Suppl. Nr. 1920, S. 252.

¹⁾ Der Eisenbau 1910, S. 416, 448: Kupfernickelstahl.

²⁾ Der Eisenbau 1911, S. 377.

³⁾ Allgem. Bauzeitung 1909, S. 13.

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.⁵⁾

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, wegließ⁶⁾.

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 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 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⁾ 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 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 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 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 Leck¹¹⁾ 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 Lauenburg¹²⁾ (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)¹³⁾.

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)¹⁴⁾. Besonders kühn wirkt die 120 m weite Trisana-Talbrücke¹⁵⁾ 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 unterzuteilen²⁾.

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 Mittelfeldern⁵⁾.

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 Débiaträger⁹⁾ (1829) und Laves-Balken¹⁰⁾ (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 Grannless¹¹⁾ 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 Derneburg¹²⁾

(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 versehenen³⁾ Isarbrücke bei Großhesselohe⁴⁾ (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 Saltash⁶⁾. 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 Memelbrücke⁸⁾ in Tilsit, der dann 1888–91 die neue Brücke über die Weichsel bei Dirschau⁹⁾ (129 m) und die Nogatbrücke¹⁰⁾ 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 findet¹¹⁾.

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 Schweißeisen, 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 Schleppträgern 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 Mittelloffnung 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 schmiedeisenen 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 Thomasmittel (Abb. 66). Einige neuere Flußbrücken, wie die Donaubrücken in Straubing (1896) und Regensburg (1901) sowie die Weserbrücke bei Nienburg (1903) (Abb. 72) erhielten Fachwerk-Sichelbögen, die sich über die Fahrbahn erheben. Als Bogenfachwerke mit Kämpfergelenken wurden schließlich 1904—05 die Eisenbahnbrücke (152 m) über die Victoriafälle des Zambesi¹⁰⁾, 1906—08 die Brücke über die Angerschlucht der Tauernbahn (110 m)¹¹⁾ und neuerdings als weitest gespannte Brücke in Afrika (159,6 m) die Sanaga-Brücke in Kamerun¹²⁾ ausgeführt. Mit Blechbögen auf zwei Gelenken entstand 1906—08

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

⁹⁾ Deutsche Bauzeitung 1900, S. 565.

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

¹¹⁾ Allgem. Bauzeitg. 1909, S. 61.

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

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

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

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

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

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

⁶⁾ Le Génie Civil 1910, S. 277.

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

⁸⁾ Ebenda, 1900, S. 580.

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

¹⁰⁾ Schweiz. Bauzeitg. 1886, S. 111.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

¹⁰⁾ Deutsche Bauzeitg. 1911, S. 257.

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

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

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

¹⁴⁾ Deutsche Bauzeitg. 1890, S. 255.

c) Hängebrücken.

1. Kettenbrücken.¹⁾

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

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

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

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

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

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

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

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

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. 21). 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 Flachatschen 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 Mehrtens, 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⁾.

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⁾ 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 umstempfte 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.

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. Fortsch. 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.

D. Hochbau¹⁾.

I. Langbauten.

a) Erste Anfänge, einfache Hallen mit Balken- und Bogenbindern²⁾.

Bei der starken Bevorzugung, welche das Gußeisen zu Beginn des Eisenbaues vor dem Schmiedeeisen allgemein erfuhr, ist es nicht zu verwundern, daß diese Wertschätzung sich auch im Hochbau lange Zeit bemerkbar machte. In ausgedehntem Maße wurde das Gußeisen zuerst 1801 von Bulton und Watt zu den 4 m freitragenden  förmigen Deckenträgern einer Spinnerei zu Salford in England verwandt. Auch stellte man gußeiserne Träger mit keilförmigem  Querschnitt³⁾ zur Aufnahme von gemauerten Flachkappen her. Sogar ein großes Fabrikgebäude in Soho hat Watt ganz in Eisen gebaut einschließlich Fußboden, Treppe und Dach.

Im Jahre 1804 wurden Baumwollspinnereien in Manchester mit gußeisernen Dachbindern überdeckt, die außen sattelförmig, innen bogenförmig gestaltet waren und in den Zwickeln Kreisfüllungen zeigten, versehen. Diese Dächer waren aber noch verhältnismäßig schwer und kostspielig, und gaben daher Veranlassung zu den verbesserten Konstruktionen von Fairbairn und Lillie, bei denen sich bereits schmiedeeiserne Zugstangen fanden.

Im Jahre 1838 bekam die Kathedrale von Chartres ein vollständiges gußeisernes Dachwerk⁴⁾ und ähnliche Ausführungen entstanden um diese Zeit noch mehrfach. Bei allen diesen Arbeiten wurde jedoch das Eisen lediglich konstruktiv angewandt, ohne daß man selbständige schönheitliche Zwecke damit verbunden hätte; es diente also nur als Ersatz für hölzernes Dachwerk, das man bisher ausschließlich zu verwenden gewohnt war.

Dagegen erhielt bereits im Jahre 1820 die 19 m breite Schwimmhalle des Dianabads⁵⁾ in Wien als erste eiserne Längshalle Österreichs sichtbar liegende gußeiserne Bogenbinder, welche schon in der für die späteren großen Hallen bezeichnenden Eigenart bis zur Fußbodenhöhe heruntergeführt waren und damit die Wand gegenüber der Überdeckung architektonisch zurücktreten ließen. Ferner ließ Labrouste an seiner 1843–50 erbauten Bibliothek Ste. Geneviève zu Paris das tragende Gußeisenwerk, auf welchem Dach und Decke des Lesesaals ruhen, vollständig sichtbar und bildete nicht nur die Stützen künstlerisch durch, sondern schmückte auch die hohen Stege der offengezeigten Deckenbögen mit Durchbrechungen in Gestalt von Rankenornamenten⁶⁾.

Vollständig aus Kunstguß wurde noch 1867 für den Vizekönig Ismael Pascha eine offene Halle auf der Nil-Insel Gezireh bei Kairo ausgeführt.

¹⁾ The Builder 1880, Bd. 1, S. 374, 501.

²⁾ Tabellen über ausgeführte Hallen s. Handb. d. Arch., 4. Teil, 2. Halbbd., Heft 4, S. 332 und 4. Teil, 6. Halbbd., Heft 4 (1906), S. 565. Foerster, Die Eisenkonstr. d. Ing.-Hochb., S. 475. Deutscher Baukal., Teil I. Daub, Die Vergangenheit des Hochbaues, S. 196.

³⁾ Allgem. Bauzeitg. 1841, S. 131.

⁴⁾ Allgem. Bauzeitg. 1849, S. 108, Atlas Bl. 253.

⁵⁾ Allg. Bauzeitg. 1843, S. 115. Atlas Bl. DX.

⁶⁾ Allgem. Bauzeitg. 1852, S. 139, Atlas Bl. 469; 1851, S. 66, Atlas Bl. 386. Gartenpavillon aus Gußeisen ebenda 1852, S. 222, Atlas Bl. 488.

Im Laufe der Zeit konnte man sich jedoch nicht der Wahrnehmung verschließen, wie verschieden sich das Gußeisen gegenüber Zug und Druck verhielt, wie wenig homogen und elastisch es war und wie leicht es daher bei starken Verkehrs- und Belastungsstößen zerbrach. Auch erforderte es verhältnismäßig starke Abmessungen, ergab also beträchtliche Gewichte. Man sah sich daher mehr auf das Schweißeisen hingewiesen, welches in geringem Umfang schon seit längerer Zeit, zunächst in gemischter Bauweise, mit Holz für die Druckstäbe und Eisen für die Zugstäbe, und schließlich als reines Eisengefüge in die Dachkonstruktion eingeführt worden war. So hatten schon zu Ende des 18. Jahrhunderts französische Ingenieure schmiedeeiserne Decken und Dachstühle ausgeführt, z. B. 1780 über dem Grand Salon du Louvre, dann in Boulogne (6,5 m Weite), sowie über dem Théâtre français¹⁾ und über der Börse²⁾ zu Paris. Dabei lag konstruktiv der Gedanke des Holzbaues, vor allem der des Sprengwerks zu Grunde.

Aus der gleichen Anschauung heraus ließ noch 1835 Hesse das schmiedeeiserne Dach der Schickler'schen Zuckersiederei (18,83 m) in Berlin ganz im Sinne hölzerner Drempeldächer mit doppeltem Stuhl entstehen. Allmählich begannen sich aber selbständigere Gedanken zu regen, und man entwarf neue Konstruktions-Systeme, z. B. 1839 den Wiegmann-Polonceau-Binder, den man heute leider nur mit dem letzteren Namen zu bezeichnen pflegt³⁾. Es sind mit ihm zuerst wohl die Stationsgebäude der Eisenbahn Paris–Versailles überdacht worden, dann in Paris der Bahnhof St. Lazare und der Hauptpalast der allgemeinen Industrie-Ausstellung von 1867; ferner der Bahnhof in Neapel⁴⁾ (34,40 m), an dessen Bindern Gitterträger für den Obergurt verwendet wurden, sowie 1869 Schwedlers Retortenhäuser für die Imperial-Continental-Gas-Assoziation in Berlin, nämlich am Hellweg (31,07 m)⁵⁾ am Stralauer Platz (21,34 m), und an der Holzmarktstraße (18,8 und 20,35 m). Das letztere Dach hat Parabelträger im Binder-Obergurt.

Weitere Satteldächer, die übrigens zum Teil nach dem Vorbild amerikanischer Fachwerkkonstruktionen entstanden, sind das deutsche, englische, belgische Dach usw. Unter den zahllosen Anwendungen dieser Systeme seien nur der New Smithfield Market in Manchester (15,24 m), der 7,1 m weite Dachstuhl über den Verkaufshallen der Passage Jouffroy⁶⁾ in Paris (1846) und die älteren englischen Bahnhofshallen hervorgehoben, etwa die London Road- und Victoriastation in Manchester (um 1848). Auch Dach und Dachreiter des Domes zu Köln wurden um 1860 aus Schmiedeeisen hergestellt⁷⁾. Eine transportable Schmiedeeisenkonstruktion, nämlich ein Zeltgerüst für den König von Preußen wird zu Anfang der vierziger Jahre erwähnt⁸⁾.

¹⁾ Rondelet, Kunst zu bauen, Taf. CLIV, Fig. 1.

²⁾ Ebenda, Taf. CLVI.

³⁾ Allgem. Bauzeitg. 1842, S. 267.

⁴⁾ Nouv. annales de la constr. 1875, S. 129.

⁵⁾ Zeitschr. f. Bauwesen 1869, S. 66.

⁶⁾ Allgem. Bauzeitg. 1849, S. 5, Atlas Bl. 235.

⁷⁾ Zeitschr. f. Bauwesen 1862, S. 313, 487. Atlas Bl. 40–43, 63, 64.

⁸⁾ Allgem. Bauzeitg. 1842, S. 345. Über eiserne Häuser s. ebenda 1850, S. 184, 1853, S. 322 N.

Über den reinen Nutzzweck hinaus erkannte Stüler der Eisenkonstruktion eine architektonische Entwicklungs-Möglichkeit zu, aber er bewahrte in seinem 1841–45 errichteten neuen Museum zu Berlin noch eine gewisse Zurückhaltung, indem er für das Eisenwerk eine zierende Umhüllung aus Zinkguß, Bronze usw. vorsah¹⁾.

Eine ähnlich verdeckte Schmiedeeisenkonstruktion sehen wir an der Decke über dem Großen Börsensaal in Berlin, die in den Jahren 1859–63 nach dem Entwurf von Hitzig²⁾ mit 26,8 m Spannweite und 100,8 m Länge entstand. Jeder Binder besitzt ein festes und ein bewegliches Auflager, und die Decke selbst ist in eine Anzahl Felder mit gewölbten Kappenfüllungen geteilt. Mit dem Schmiedeeisen indessen verstand der Künstler noch so wenig anzufangen, daß er die Vertikalen der über der sichtbaren Deckenfläche liegenden schmiedeeisernen Tragekonstruktion über den Untergurt hinaus nach unten verlängerte und hier ein dekoratives, nur scheinbar tragendes Binder-Gerüst aus Gußeisen mit Zierfüllungen aus Zinkguß anhängte.

In der Anwendung des so überaus tragfähigen Metallgefüges bot sich immer mehr die Möglichkeit, alle an einem Bauwerk auftretenden Lasten und Kräfte auf einige wenige, weit voneinander entfernte Stellen zu vereinigen, und damit Raumschöpfungen von noch nicht dagewesenen Abmessungen zu entwerfen. Die zur Umschließung erforderlichen Wände brauchte man nur als leichte, dem Winddruck widerstehende Füllungen zwischen die tragenden Stützen einzuspannen; nahm man zu diesem Zwecke Glas, so knüpfte man auf dem Wege der Eisenkonstruktion dort wieder an, wo die Steinkonstruktion der Gotik aufgehört hatte, als sie, wie an der Ste. Chapelle zu Paris das tragende Mauerwerk auf einzelne Pfeiler zusammenzog und die dazwischen freibleibenden Flächen mit Fenstermalereien ausfüllte. Außerdem war seit der Zeit der Gotik die Glastechnik so weit vorgeschritten, daß sie die Herstellung großer Tafeln gestattete, während man früher darauf angewiesen war, kleine Scheiben zu verwenden, und größere Verglasungen mittels Bleiruten aus einzelnen kleinen Glasstücken mosaikartig zusammen zu setzen.

Es waren somit alle technischen Voraussetzungen zu einer Eisen-Glas-Halle gegeben, als im Jahre 1850 ein Ausstellungsgebäude im Hyde-Park zu London errichtet werden sollte und Paxton dafür den Entwurf zu seinem später so berühmten Kristall-Palast in Vorschlag brachte³⁾ (Abb. 155).

Paxton war nicht Baufachmann, sondern Gärtner von Beruf, und er hatte in dieser Eigenschaft mehrfach mit der Errichtung großer Gewächshäuser aus Eisen und Glas zu tun gehabt, zuletzt in Chatsworth für den Herzog von Devonshire. Von diesen und ähnlichen Bauten⁴⁾ wie dem Pflanzenhaus in Kiew (1848) ausgehend und sie ins Riesenhafte übertragend, gestaltete Paxton den Kristallpalast als eine mehrschiffige, von schlanken Stützen getragene Anlage. Die

Dächer waren eben, nur über dem Querschiff erhob sich mit Rücksicht auf vorhandene Bäume, die in das Gebäude einbezogen werden mußten, ein tonnenförmiges Glasdach, das von armierten Bohlenbögen getragen wurde.

Für die Säulen des völlig eisernen Traggerippes nahm Paxton Gußeisen; die gegliederten Konstruktionen, Diagonalen usw. machte er aus Schmiedeeisen. Die Außenflächen wurden mit Glas geschlossen, das mit der größten damals noch bequem herstellbaren Plattenlänge von 49 Zoll = 1,24 m die Maßeinheit für die gesamte Halle abgab. Das ganze Gebäude wurde mit einfachen Verbindungen aus gleichartigen Teilstücken zusammengesetzt und es wurde dadurch möglich, die Gesamt-Lieferung in viele Einzelaufträge zu zerlegen und so eine rasche Herstellung zu bewirken. Die äußere Erscheinung des Bauwerks war monumental. Im Innern wirkte an Stelle von Körpern und Flächen neben der neuartigen schattenlosen Helligkeit vor allem das Linien-spiel des eisernen Tragwerks mit seiner von Owen Jones im Anklang an die Alhambra zu Granada bestimmten Farbengebung in Rot, Blau und Gelb.

Nach Schluß der Ausstellung mußte das Gebäude zwar wieder abgebrochen werden, aber es hatte solchen Beifall gefunden, daß man es in etwas veränderter und auch beträchtlich vergrößerter Gestalt in Sydenham bei London wieder aufbaute⁵⁾ (Abb. 156). Verschiedentlich ist dies übersehen und das dem Wiederaufbau entsprechende Bild als das der ersten Originalhalle gebracht und besprochen worden. Gelegentlich des Umbaus wurden die Bohlenbinder des Querschiffdachs durch halbkreisförmige eiserne Binder (21,94 m Weite) ersetzt, die aus je zwei konzentrischen Gurten und eingefügten Diagonalen und Vertikalen bestehen.

Für die Folgezeit wurde der Kristallpalast dadurch von besonderer Bedeutung, daß er das erste Beispiel der Anwendung von Eisen auf einen Hochbau größten Maßstabs darstellte, daß mit ihm der Hellraum als neuer Begriff in den Hochbau eingeführt wurde, und daß mit ihm das Schmiedeeisen gegenüber dem Gußeisen als Baustoff für einen Hochbau in ähnlicher Weise in den Vordergrund trat, wie es im Ingenieurbau mit der Britannia-Brücke geschehen war. Diese Bevorzugung des Schmiedeeisens wirkte ihrerseits wieder fördernd auf die Vervollkommenung des Walzverfahrens und der technischen Ausführungsweisen ein, wobei die immer schärfer ausgebildeten Rechenmethoden den Materialverbrauch mehr und mehr einzuschränken gestatteten.

Wie leicht zu verstehen ist, gab das Neuartige des Kristallpalastes mehrfach Anregung zu ähnlichen Bauwerken⁶⁾. Es sei nur des Glaspalastes in München (1853–54) gedacht. Dann wurden gleichartige Bogenbinder wie zu Sydenham auch über den 24 m weit gespannten Seitenschiffen des 1853–54 ausgeführten Industriepalasts zu Paris⁷⁾ mit Erfolg verwendet, wenn es auch, wie die Erbauer dieses Palastes, Barrault und Bridel nachträglich selbst erklärten, besser

¹⁾ Stüler, Das neue Mus. i. Berlin, Taf. 8, 12.

²⁾ Hitzig, Die Börse in Berlin, Bl. XI.

³⁾ Allgem. Bauzeitg. 1850, S. 277. Atlas Bl. 362.

⁴⁾ Zeitschr. f. Bauwesen 1887, S. 67: Gewächshausanlagen in England, Belgien und Holland. Allgem. Bauzeitg. 1837, S. 395, Taf. CLXXIII. Hdb. d. Arch., 4. Teil, 6. Halbbd., 4. Heft, 1906, S. 489, Pflanzenhäuser.

⁵⁾ Allgem. Bauzeitg. 1852, S. 299. Atlas Bl. 506.

⁶⁾ Über Dublin s. Allgem. Bauzeitg. 1853, S. 256 N, Über New-York ebenda, S. 25 (mit Abb.). The Builder 1852, S. 674. Hdb. d. Arch., 4. Teil, 6. Halbbd., 4. Heft (1906), S. 574.

⁷⁾ Zeitschr. f. Bauwesen. 1855, S. 197, Bl. F. Atlas Bl. 30. Nouv. annales de la constr. 1856, S. 19, Taf. 9–10.

gewesen wäre, die 48 m weiten Mittelschiffbögen kräftiger herzustellen, als es geschehen ist.

Entsprechend dem am Kristallpalast entschiedenen Sieg des Schmiedeisen über das Gußeisen wählte Labrouste, der noch 1843–50 die Bibliothek Ste. Geneviève durchweg in Gußeisen errichtet hatte, im Jahre 1861 beim Bau der National-Bibliothek zu Paris das Gußeisen nur noch für die Stützen, während für die verbindenden Bögen nebst den darauf ruhenden Kuppeln und Dächern das Schmiedeisen eintrat¹⁾. Ähnlich verwandte auch Hittorf beide Eisenarten zusammen, indem er die als Blechträger konstruierten Binder-sparren des Nordbahnhofs in Paris (1863–64) mit großen durchbrochen gegossenen Konsolen gegen die Stützen absteifte.

Zu Anfang der fünfziger Jahre kamen an englischen Bahnhofshallen die rein schmiedeisenen Balkenbinder auf, welche meistens einen parabel- oder sichelförmigen Umriss zeigten. Wir finden sie z. B. 1851 mit 46,8 m Spannweite am Bahnhof Lime-Street in Liverpool²⁾. Die Gefache wurden hier mit Ausnahme des gekreuzten Mittelfeldes nur in einer Richtung verstrebt, während bei der 63,4 m weiten Bahnhofshalle zu Birmingham³⁾ (1853–54) Diagonalen in beiden Richtungen angebracht wurden und die Binder besondere Knoten-Formstücke aus Guß- und Schmiedeisen sowie bereits ein festes und ein bewegliches Auflager erhielten. Weiter wurden mit Sichelträgern die Victoria-Station der Chatham-Eisenbahn in London und die Hallen der Niederschlesisch-Märkischen⁴⁾ (1867–69) und der Berlin-Görlitzer Bahn⁵⁾ in Berlin, sowie der österreichischen Nordwest-Bahn⁶⁾ in Wien (1870–73) versehen. Auch der 1867–68 von Gerber mit Parabelbindern erbauten Bahnhofshalle in Zürich sei hier gedacht.

Mit verglasten Sattel- oder Bogendächern wurden verschiedentlich Kauf-Passagen, darunter 1865–67 die Galleria Emanuele in Mailand, 1869–73 die Kaiser-Gallerie in Berlin, dann die Galleria Mazzini in Genua (Abb. 207) und 1887–90 die Galleria Umberto I. in Neapel⁷⁾ überdeckt.

Fachwerk-Binderbögen mit geringerer Konstruktionshöhe im First als in den Kämpfern bekamen das Ausstellungs- und Wintergartengebäude zu Dublin⁸⁾ (1864–65) und das Opernhaus in Wien; mit vollwandigen Bogenbindern, welche durch Längsträger verbunden und mit horizontalen Zugstangen versehen wurden, sehen wir die Bahnhöfe zu Antwerpen (20,3 m)⁹⁾ und Lüttich (32 m), die Paddington-Station der Great-Western-Bahn in London und den 1870–72 errichteten Potsdamer Bahnhof¹⁰⁾ in Berlin (36 m) ausgestattet.

¹⁾ Nouv. annales de la constr. 1869, S. 1, Taf. 1–2, 21.

²⁾ Notizbl. d. Arch.-u. Ing.-Ver. f. d. Königr. Hannover, Bd. 3, 1853/54, S. 191, Taf. Bl. 72.

³⁾ Zeitschr. f. Bauwesen, 1858, S. 447, Atlas B. 50, 51.

⁴⁾ Zeitschr. f. Bauwesen, 1870, S. 151, Atlas Bl. 29.

⁵⁾ Zeitschr. f. Bauwesen, 1872, S. 347, Atl. Bl. 64.

⁶⁾ Heinzerling, Eisenhochbau d. Gegenwart, Heft II, Taf. 2, Fig. 1.

⁷⁾ Esselborn, Lehrb. d. Hochbaues, Bd. II, S. 82.

⁸⁾ Allgem. Bauzeitg. 1866, S. 21. Atlas Bl. 9.

⁹⁾ Zeitschr. d. Arch.-u. Ing.-Ver. f. d. Königr. Hannover 1863, Bd. 9, S. 242.

¹⁰⁾ Zeitschr. f. Bauwesen, 1877, S. 17, Atlas Bl. 11.

Binder mit Zugstangen treten auch an dem 1872–73 von John Fowler erbauten Dache des Zentral-Bahnhofs in Liverpool¹⁾ auf, dessen Zugstange erhöht an geneigten Rundstäben aufgehängt wurde. Auch die 37,28 m weit gespannte Bahnhofshalle zu Courtrai²⁾ aus dem Jahre 1879, verschiedene Bahnhöfe der Berliner Stadtbahn, dann der Hauptbahnhof in München (1876–84) (Abb. 120), die Bahnhofshalle von Brügge³⁾ (1883–84) u. a. m. gehören hierher. Bei der letztgenannten hat sich übrigens die oberhalb des Bogenkämpfers angebrachte Zugstange als nicht ausreichend erwiesen, und es mußte daher noch eine zweite in Höhe des Kämpfers angeordnet werden.

Bei dem im Jahre 1867 zu Paris errichteten Ausstellungsgebäude⁴⁾ war für die Gesamtanordnung hauptsächlich der Gedanke maßgebend, daß man die vorgeführten Produkte in der Längsrichtung nach ihrer sachlichen Ähnlichkeit, in der Querrichtung nach Ländern geordnet erscheinen lassen wollte, um den Besuchern vergleichende Übersichten zu ermöglichen. Es wurde ein ovaler Grundriß gewählt, bei dem sich um einen 40,5 m breiten und 150,5 m langen Garten eine Reihe konzentrischer Schiffe herumzog. Die bedeutendste dieser Hallen war die 35 m breite und bis zum First 25,8 m hohe Maschinengalerie. Um bei ihr sichtbare Zugbänder und gußeiserne Widerlager, wie man sie 1853–54 am Industriepalast zu Paris verwandt hatte, zu vermeiden, wurden ihre Binder als kastenförmige 25,45 m hohe Pfeiler konstruiert, zwischen die sich in einer Höhe von 19 m ein flacher Bogen spannte; die oberen Pfeilerenden wurden zur Aufnahme des Bogenschubs durch eine Zugstange verbunden, die noch über den Scheitel der Bogendecke hinweggriff. Die Form dieser Hallenbinder gab Anregung für die 32,6 m weite Maschinenhalle der Pariser Weltausstellung 1878⁵⁾ und für das gleichzeitige 24,4 m weite Vestibule d'Jéna ebenda.⁶⁾

An der 32,6 m breiten und 52,34 m langen Halle des Palmengartens zu Frankfurt a. M.⁷⁾ sind gußeiserne, durch versteifende Zwischenfüllungen mit dem Binder verknüpfte Pfosten-Aufsätze zur Aufnahme von Fahnenmasten angebracht und verleihen dem Dach des Gebäudes eine leicht bewegte äußerst vorteilhafte Erscheinung (Abb. 175). Die Bogenlinie des Binders steigt nicht unmittelbar vom Boden auf, sondern ist auf senkrechte Pfeiler gestelzt, wodurch der Raum eine stattliche, wirkungsvolle Höhe erhält. Beim ersten Blick könnte man vielleicht vermuten, auch dieser Binder habe die Maschinenhalle zu Paris von 1867 zum Vorbild. Das ist aber nicht der Fall, denn in Paris sind die senkrechten Pfeiler unmittelbar nach oben verlängert, um das Zugband aufzunehmen; in Frankfurt dagegen stellen die erwähnten Aufsätze nicht eine Verlängerung der unteren Pfeiler dar, sondern sie sind selbständig aus dem Binder heraus entwickelt. Überdies endigen sie frei ohne Zugband, ja sie erreichen nicht einmal die Scheitelhöhe des Bogens.

¹⁾ L. Mertens, Eiserne Dächer und Hallen in England, Taf. 14.

²⁾ Vierendeel, Constr. arch., Taf. 49–51.

³⁾ Ebenda, Taf. 70–76. Zentralbl. d. Bauverwiltg. 1887, S. 283, Abb. 3.

⁴⁾ Allgem. Bauzeitg. 1867, S. 112. Atl. Bl. 18.

⁵⁾ Nouv. ann. de la constr. 1878, Taf. 13.

⁶⁾ Vierendeel, Constr. arch., Taf. 42, 43.

⁷⁾ Ebenda, Taf. 25, 26.

Aus dem sich immer mehr geltend machenden Bestreben heraus, ein sichtbares Zugband zu vermeiden, entstand ein interessanter Konstruktionsversuch in dem aus den Jahren 1885–86 stammenden Olympia-Saal zu Kensington¹⁾ in London. Die Unterstützung der Mittelhalle war so gewünscht, daß sie den freien Ausblick von den Seitengängen her möglichst wenig behindern sollte. Es waren also schwere Binderfüße, die den Schub unmittelbar auf das Fundament hätten übertragen können, nicht am Platz. Man half sich so, daß man einen aus Eisenfachwerk gebildeten Winkelhebel anbrachte, auf seinen einen Arm die horizontale Komponente, auf den anderen die Vertikalkomponente des Binderschubs einwirken ließ und damit beide Kräfte wechselseitig im Gleichgewicht hielt. Die teilweise Versperrung des Seitengangs durch den Hebelrahmen wirkt bei der in Frage kommenden Benutzungsweise nicht störend. (Abb. 164).

Eigenartig war das von Bruno Möhring entworfene Gebäude der Gute-Hoffnungs-Hütte auf der Industrie- und Kunstausstellung in Düsseldorf 1902. Seine Front zeigte die Eisenkonstruktion offen in architektonischer Ausgestaltung und beschränkte den Massivbau auf zwei monumentale Eingangstüren²⁾.

Von den herkömmlichen Ausführungsweisen mit Bindern und Längsverbänden wich das Dach der Halle für Manufaktur und Industrie auf der allrussischen Ausstellung in Nishnij-Nowgorod (1896) erheblich ab, indem es als ein Netzwerk aus Profileisen mit Verschraubung an den Kreuzungstellen auftrat³⁾. In derselben Art u. zw. in der Form eines einschaligen aus lauter geraden Stäben gebildeten Hyperboloids wurde, wie hier gleich bemerkt sei, auch ein Wasserturm daselbst konstruiert, dessen Gesamterscheinung sehr an die Gittertürme englischer und amerikanischer Schlachtschiffe⁴⁾ erinnert.

Die Luftschiffhallen⁵⁾ stellen an und für sich keine anderen Anforderungen als jede sonstige große Halle; aber ihre außergewöhnlich großen Tore bereiten nicht unerhebliche konstruktive Schwierigkeiten, deren Überwindung bis jetzt noch nicht einwandfrei möglich geworden ist, zumal auf den Windschutz durch die schräg stehenden Torflügel nicht verzichtet werden kann.

Bis jetzt ist für diese Hallen ausschließlich die Langform angewandt worden, obwohl zahlreiche Vorschläge zu runden, polygonalen oder sonstwie gestalteten Bauwerken vorliegen⁶⁾. Von Ausführungen seien nur einige wenige genannt:

¹⁾ Vierendell, Constr. arch., Taf. 78. L. Mertens, Eiserne Dächer und Hallen in England, Taf. 15–18.

²⁾ Deutsche Bauzeitg. 1902, S. 305.

³⁾ Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1897, S. 413; 1901, S. 454.

⁴⁾ Scientific American 1910, S. 194.

⁵⁾ Über französ. Militär-Ballonhallen s. Engineering News Bd. 65, 9. Febr. 1911, S. 166.

Über die amerikanische Ballonhalle in Fort Omaha Nebraska s. Engineering Record 1909, S. 637. Innen-Ansicht einer Halle für das Parseval-Luftschiff s. Scientific American 13. Aug. 1910, S. 117. Über zerlegbare Luftschiffhallen s. Der Eisenbau 1910, S. 442. Le Génie Civil 1911, S. 394.

Deutsche Bauztg. 1910, S. 237. Zeitschr. f. Bauwes. 1912, S. 571. 1913, S. 27.

⁶⁾ Der Eisenbau S. 228.

Die Luftschiffhalle in Tegel¹⁾ ist dreischiffig angelegt und hat 100 m Länge. Die Binder stellen sich in den 5,5 m breiten Seitenschiffen als Portalrahmen mit darüber sich erhebendem Fachwerk dar, welches letztere die Wandflächen und die 25,2 m weiten Zweigelenk-Bogenbinder der Mittelhalle aufnimmt. Ähnlich ist die 150 m lange Halle in Metz, an der das Mittelschiff 40,25 m, jedes Seitenschiff 5,0 m Breite besitzt, sowie die mit einem eigenartigen Giebelverschluß versehene Luftschiffhalle in Straßburg. An der Halle in Belfort²⁾ kamen die noch zu besprechenden Dreigelenkbögen, an der 40 m weiten Halle in Köln sogar Viergelenkbögen zur Anwendung. Die englische Halle in Farnborough (34,5 zu 108 m) besitzt halbkreisförmige Binder, die nach unten in senkrechte Pfeiler übergehen und durch schräge Steifen gegen Wind gesichert sind. Von Bedeutung sind schon durch ihre großen Abmessungen die Luftschiffhallen in Friedrichshafen³⁾, Königsberg⁴⁾ und Hamburg⁵⁾.

b) Gelenkbinder.

Sehr bald übertrug man die im Brückenbau eingeführten Gelenke auch auf die schmiedeeisernen Binder von Hallen und zwar wäre vor allem das von Schwedler im Jahre 1863 für die Berliner Gasanstalt errichtete Retortenhaus⁶⁾ (33 m Spannweite) zu nennen. Die Bögen desselben ruhen allerdings nur an den Kämpfern in Gelenken, während im Scheitel noch ein stumpfer Stoß angeordnet ist. Erst 1865 hat Schwedler einen vollkommenen Dreigelenkbogen an der Eisenkonstruktion des Bochumer Hammers angewandt.

Als im Jahre 1866 die 73 m weite Halle des Bahnhofs St. Pancras (Abb. 127) in London⁷⁾, die größte Bahnhofshalle von Europa errichtet werden sollte, legten Barlow und Ordish der Rechnung einen Dreigelenkbogen zu Grunde. Die Ausführung geschah aber mit steifen Bögen, deren Fußpunkte durch ein kräftiges Zugband miteinander verbunden wurden. Der breit konstruierte und fest verankerte, also eingespannte Bogenfuß greift zur Raumsparung in das anstoßende Umfassungs-Mauerwerk so weit ein, daß er größtenteils verdeckt wird, und nach unten zu schmal auslaufen scheint. Dies dürfte vielfach zu der irrigen Ansicht geführt haben, daß der Binder auf Fußgelenken ruhe⁸⁾.

Die große Spannweite des Pancras-Bahnhofs wurde hauptsächlich gewählt, um den Platz für die sonst erforderlichen Zwischenpfeiler zu ersparen und um Bewegungsfreiheit für künftige Änderungen im Eisenbahn-Verkehr zu lassen. In großem Maßstab wird hier der am Wiener Diana-

¹⁾ Ebenda, S. 229, Abb. 1.

²⁾ Le Génie Civil, Tome LX. 1911, S. 1.

³⁾ Der Eisenbau 1910, S. 99.

⁴⁾ Prometheus 1911, S. 379.

⁵⁾ Deutsche Zeitschr. f. Luftschiffahrt XV. Jg., 26. Heft vom 27. Dez. 1911, S. 16. Die Welt der Technik 1912, S. 106. Der Industriebau 1912, S. 261.

⁶⁾ Zeitschr. f. Bauwes. 1872, S. 43. Atl. Bl. 19.

⁷⁾ L. Mertens, Eiserne Dächer und Hallen in England, Tafel 1. Engineering 1867, Bd. IV, S. 148. Engineer, Bd. 23, 1867, S. 540.

⁸⁾ L. Mertens, Eis. Dächer und Hallen in England, Taf. 2.

bad aufgekommene Gedanke durchgeführt, Wand und Decke in dem bis zum Fußboden herabgezogenen Bogen zu vereinigen. Im Anschluß an S. Pancras entstand 1877–78 die Halle des Hauptbahnhofs in Manchester¹⁾ (64 m), gleichfalls mit nach unten verankertem Binderfuß, aber ohne Zugband.

Mit wirklichen Dreigelenkbögen wurde 1866–67 die 37,7 m weite Halle des Ostbahnhofs in Berlin²⁾ errichtet. Sie war für die damalige Zeit eine sehr bedeutende Leistung und ist mit ihren Doppelbindern aus einfachem Dreiecksfachwerk und mit ihrer klaren Längsverbindung vorbildlich für manche späteren Bogendächer geworden. Dann findet sich der Dreigelenkbogen 1870–71 an den überhöhten halbkreisförmigen Fachwerk-Doppelbindern des Lehrter Bahnhofs³⁾ in Berlin (42 m), 1878–80 am Anhalter Bahnhof daselbst⁴⁾ (62,5 m) und 1879–80 am Schlesischen Bahnhof sowie an den Bahnhöfen Friedrichstraße und Alexanderplatz (37,1 m)⁵⁾ der Berliner Stadtbahn (Abb. 126, 130). Weiter wäre der 1885–87 erbaute Hauptbahnhof zu Frankfurt a. M.⁶⁾ (Abb. 124) zu erwähnen, dessen Halle drei gleiche, je 56 m weit gespannte und 28,6 m hohe Schiffe besitzt, und bei dem, um Raum zu sparen, die Binderfüße je zweier benachbarter Hallenschiffe vereinigt und mit gemeinsamen Gelenklagern versehen sind. Gelenkbinder weisen auch die Bahnhöfe zu Amsterdam, Köln a. Rh.⁷⁾ (1890–92), Dresden-Altstadt (1895–98) (Abb. 131), Leipzig⁸⁾ (Abb. 149) u. a. m. auf, und zwar haben in Köln die Doppelbögen der Mittelhalle (63,5 m) und die mit Zugstangen versehenen Bogenbinder der Seitenhalle (13,4 m) nur zwei Gelenke, also kein Scheitelgelenk. In Dresden besitzen alle Binder drei Gelenke, wobei die 59 m weite Mittelhalle die inneren Fußgelenke der sich anschließenden zwei Seitenhallen trägt. Der Fußboden liegt in letzteren höher als in der Mittelhalle.

Die Mittelschiff-Bogenbinder des Gebäudes für Chemie und Optik auf der Berliner Gewerbe-Ausstellung von 1896 sind nur für die Berechnung als Dreigelenkbögen aufgefaßt worden⁹⁾.

Auf der Pariser Weltausstellung von 1889 findet sich der Dreigelenkbogen an der 52,8 m weiten Halle des Kunstpalastes¹⁰⁾, deren Binder zur Gewinnung einer größeren Höhe zunächst nach unten in senkrechte Pfeiler übergehen und so an die Maschinenhalle von 1878 erinnern. Der Binderschub wird von Zugbändern abgefangen, die unter dem Fußboden liegen, so daß die Fundamente nur lotrechte Lasten aufnehmen haben. Bedeutender als das Palais des Beaux-Arts ist die Maschinenhalle¹¹⁾ derselben Ausstellung (Abb. 159, 160). Auch an ihr begegnen wir dem Dreigelenkbogen, aber ein

Zugband ist nicht vorhanden, vielmehr wird der Schub unmittelbar von den Fundamenten aufgenommen. Die Halle erreicht die riesige Spannweite von 114,3 und übertrifft damit die bis dahin größte Halle, die des Bahnhofs S. Pancras in London (73 m) um ein beträchtliches Maß. Überdies vereinigt sie in sich besonders charakteristisch die Eigenschaften der Eisenhalle, nämlich das Vorhandensein einer lichtspendenden Verglasung, das Überwiegen der Breiten-Abmessung, die Größe der Spannweite und die Vereinigung von Wand und Dach durch die mit der Binderkurve vom Boden aufsteigende Hallendeckung. Aber auch als Bahnhof ist die Halle von S. Pancras nicht mehr die größte der Erde geblieben, indem seit 1890–94 in Amerika drei weiter gespannte Bahnhallen entstanden sind, zwei in Philadelphia mit 78,94 und 94,18 m und eine in Jersey City¹⁾ mit 77,11 m Weite, sämtlich mit Dreigelenkbögen und Zugband.

Mit fast genau gleicher Breite wie die Pariser Maschinenhalle, aber mit etwas größerer Höhe wurde im Jahre 1893 der Kunstpalast auf der Weltausstellung in Chicago²⁾ ebenfalls mit Dreigelenkbögen errichtet.

Eine Markthalle mit Dreigelenkbögen entstand 1892 in Hannover (34 m Stützweite) (Abb. 153), eine Industriehalle gleicher Art (29,75 m weit) 1901 auf der Internationalen Ausstellung in Glasgow³⁾, eine Turnhalle (9,78 m) neuerdings an der Schulstraße in Berlin⁴⁾.

Eins der bedeutendsten Berliner Eisenbauwerke zu industriellen Zwecken ist die von Bernhard und Behrens entworfene Halle für die Turbinenfabrik der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft⁵⁾. Sie besteht aus einer 26,5 m weiten Haupthalle mit unsymmetrischen Dreigelenkbögen und hochliegender Zugstange sowie einer zweistöckigen Seitenhalle mit Doppel-Steifrahmen.

Viergelenkbögen haben die bereits erwähnte Luftschiffhalle in Köln, die Bahnhofshalle in Metz (Abb. 142) und die bei den Zentralbauten noch zu besprechende Ausstellungshalle in Frankfurt a. M.⁶⁾

Zu Beginn der Eisenbauweise hatte man die zunächst gewählten vollwandigen Querschnitte bald wieder verlassen, weil in ihnen die Wirksamkeit der Kräfte noch nicht klar erkannt werden konnte und daher die Gitter und Fachwerke als übersichtlicher gelten mußten. Heute dagegen vermag man auch vollwandige Konstruktionen genau zu berechnen und es werden diese daher in der neuesten Zeit wieder bevorzugt. So ist im Jahre 1904 die Bahnsteig-Überdeckung in Aachen⁷⁾ aus Zweigelenk-Vollwandbindern mit Zugband in den beiden äußeren 21,0 und 22,2 m weiten Hallen und aus vollen Dreigelenkbögen in der Mittelhalle (23,2 m) hergestellt worden. Gleichfalls Vollprofil mit Zugstange zeigt die aus vier je 21 m weiten Schiffen bestehende Halle des Oberschle-

¹⁾ Engineering 1880, Bd. 49, S. 124.

²⁾ Zeitschrift f. Bauwesen 1870, S. 3, Atlas Bl. 3.

³⁾ Deutsche Bauzeitg. 1871, S. 212, 305.

⁴⁾ Handb. d. Arch., 4. Teil, 2. Halbbd., Heft 4, S. 343, Abb. 404. Zeitschr. d. Arch- u. Ing.-Ver. z. Hann. 1884, S. 105.

⁵⁾ Foerster, Eisenkonstr. d. Ing.-Hochb., S. 512, Taf. XVII. Zeitschr. f. Bauwesen 1885, S. 319, 482, 493 mit Abb. i. Atlas.

⁶⁾ Zeitschr. f. Bauwesen 1891, S. 83, Atlas Bl. 48.

⁷⁾ Foerster, Eisenkonstr. d. Ing.-Hochb., S. 519, Taf. XIX. Zentralbl. d. Bauverw. 1892, S. 343.

⁸⁾ Der Industriebau 1912, S. 167.

⁹⁾ Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1896, S. 394.

¹⁰⁾ Nouv. ann. de la constr. 1888, Taf. 42.

¹¹⁾ Le Génie Civil 1889, Bd. 15, S. 185.

Jordan-Michel, Eisenkonstruktionen. I.

¹⁾ Engineering 1892, S. 404 mit Abb. auf S. 402.

²⁾ Engineering 1892, Bd. 53, S. 194 mit Taf.

³⁾ Engineering 1901, S. 441 mit Abb. auf S. 434, 435 und Tafel-Beilage.

⁴⁾ Foerster, Die Eisenkonstr. d. Ing.-Hochb., S. 512, Taf. XVI.

⁵⁾ Zentralbl. d. Bauverwaltg. 1910, S. 25. Arch. Rundschau 1910, Heft 8. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1911, S. 1625.

⁶⁾ Der Eisenbau 1910, S. 150.

⁷⁾ Foerster, Die Eisenkonstr. der Ing.-Hochb., S. 508, Taf. XI, XII.

sischen Bahnhofs¹⁾ in Breslau, und der Bahnhof in München-Gladbach, wo die Zweigelenkbögen der Außenhallen einerseits auf Pendelstützen mit Kopf- und Fußgelenk, andererseits auf den Dreigelenkbändern der Mittelhalle aufruhren²⁾. Unter den neueren Ausführungen haben die Kopfhalle des Hauptbahnhofs Kassel, der Bahnhof Kiel (18 m), der 10 m breite Personengang des neuen Bahnhofs in Lübeck und die neue Halle des Hauptbahnhofs Hannover Blechbinder erhalten.

In Amerika hat man öfters von Fußgelenken überhaupt abgesehen, den Binderfuß mit dem Erdboden fest verbunden und nur im Scheitel ein Gelenk angebracht, wofür die Halle der Southern-Pacific-Bahn in Houston ein Beispiel gibt. Dagegen haben die 172 und 183 m weit gespannten Hallen des Süd-Union-Bahnhofs in Boston und des Endbahnhofs in St. Louis trotz ihrer Bogenform keine eigentlichen Bogenträger, vielmehr ruhen ihre Binder auf Zwischensäulen auf, sind also Balken auf mehreren Stützen. Ihre großen Weiten sind in dem echt amerikanischen Bestreben gewählt, alles Gleichartige zu übertrumpfen, sei es auch nur zum Schein. Die breiten flachen Dächer haben aber mehr Nachteil als Vorteil, vor allem nehmen sie viel Schnee und Regen auf und infolge der durch die Kostenfrage bedingten geringen Höhe bieten sie nur unvollkommenen Rauchabzug und schlechte Licht- und Luftzufuhr³⁾.

c) Kragdächer.

Das einseitige Kragdach wird vielfach zu Wagen-Unterfahrten an Bahnhöfen, Hotel- und Repräsentationsgebäuden, Theatern u. dergl. verwandt (Abb. 136). Zweiseitige, ein- oder doppelstielige Kragdächer sind für Mittel-Bahnsteige sehr beliebt (Abb. 138).

Mit Schwebeträgern findet sich das Kragssystem sowohl an durchgehenden Pfetten und dergl., wie an ganzen Dachbindern. Für letztere ermöglicht es die Herstellung von Bögen ohne Zugstange und die Wahl architektonisch wirksamer Bindergestaltungen. Eins der ersten, wenn auch nicht rein durchgeführten Beispiele dieser Art ist die bereits ganz neuzeitlich anmutende gußeiserne Fischhalle des Hungerfordmarktes in London⁴⁾. Dann wäre aus den dreißiger Jahren des vergangenen Jahrhunderts die Halle des Bahnhofs Liverpool-Street in London⁵⁾ und aus dem Jahre 1893⁶⁾ das Bergbau-Gebäude auf der Weltausstellung von Chicago zu nennen. Neuerdings folgte der Bahnhof Ostende (Quai)⁷⁾ mit drei Hallen von 17,37 m bzw. 16,50 m Weite, bei denen die als vollwandige Ausleger-Bogenträger mit drei Gelenken konstruierten Seitenbinder in die Mittelloffnung hineinragen und hier eine Laterne aufnehmen.

Ein ähnliches Bild bieten die als kontinuierliche Dreigelenkbögen aufzufassenden Fachwerk-Binder der 1905 erbauten sechsschiffigen Bahnhofshalle in Gent (Süd)⁸⁾, vor

die sich außerdem eine Kopfhalle mit hohen Dreigelenkbogenbindern von 15 m Stützweite legt. In Ostende wie in Gent, laufen die Gleise unmittelbar an den Binderfüßen entlang, über denen die Halle nicht eingedeckt ist, um den Rauchabzug zu ermöglichen, während ein senkrecht verglaster pfettenartiger Träger für den Wetter- und Rauchschutz der Bahnsteige sorgt, eine Anordnung, die sich neuerdings auch an der Bahnhofshalle in Darmstadt findet (Abb. 147).

An der Reinigerhalle der Gasanstalt II in Rixdorf und an der Wagenhalle Rudolfstraße der elektrischen Hoch- und Untergrundbahn (32 m) in Berlin¹⁾ bestehen die Binder aus zwei Auslegern, die über den Außenmauern fest, im Raum-Innern durch eine Pendelsäule beweglich gestützt sind, und die zwischen den inneren Kragarmen eine Laterne in Gestalt eines Dreigelenkbogens tragen. Einem ähnlichen Gedanken folgten auf der Weltausstellung in Brüssel 1910 die Kulturhalle und die Kraftmaschinenhalle (Abb. 167) von Behrens²⁾, während an der deutschen Hauptmaschinenhalle³⁾ (Abb. 168) die mit Zugband versehenen Bogenbinder der Mittelhalle als Kragarme über die Auflager in die Seitenschiffe hinein verlängert waren und dort die Seitenschiffbinder mit Gelenk-Anschluß aufnahmen; die Industriehalle daselbst verwandte Hauptbinder und ausgekragte leichtere Nebenbinder⁴⁾.

d) Stufen- und Rahmendächer.

Wieder andere Wege schlagen die eigentlichen Industrie-Hochbauten ein, die als Montage- und Fabrikhallen, Hellinge usw. errichtet werden. Es kommt bei ihnen vornehmlich darauf an, gute Beleuchtung und Lüftung zu schaffen und die Bahnen der oft recht großen und schweren Laufkrane zweckmäßig zu stützen⁵⁾. Für ihre Binderform wird in erster Linie das bereits erörterte einfache Balkendach gewählt, wie es bei Krupp in Essen mit 32 m Spannweite verwandt ist, und dann in neuerer Zeit immer mehr das mansardenartige Stufendach⁶⁾ (Abb. 151, 168). Letzteres wird mit durchgehenden Lichtbändern versehen und ergibt dadurch eine ausgezeichnete Beleuchtung, gestattet außerdem gegenüber den Kasten-Oberlichtern einfache Dichtungen und führt zu statisch und konstruktiv vorteilhaftem Binderumriß. Es eignet sich das Stufendach besonders für mehrschiffige Hallen von ungleicher Höhe. Als Beispiele seien noch die Kaiserliche Werft in Kiel⁷⁾, eine mit vollwandigen Rahmenbindern versehene Ausstellungshalle (Abb. 161) auf der Theresienhöhe in München (1905⁸⁾) und die schon genannte deutsche Industrie-Halle auf der Weltausstellung in Brüssel 1910⁹⁾ angeführt. Die erwähnte Rahmen-

¹⁾ Ebenda, S. 374, Taf. VI.

²⁾ Der Eisenbau 1911, S. 67, 106.

³⁾ Ebenda, S. 73.

⁴⁾ Ebenda, S. 102, Abb. 15.

⁵⁾ Der Eisenbau 1912, S. 165. 1913, S. 1. Der Industriebau 1913, S. 25.

⁶⁾ Stahl und Eisen 1909, S. 1311.

⁷⁾ Hütte 1909, Teil III, S. 768.

⁸⁾ Handb. f. Eisenbetonbau, Ergänzungsband I, S. 116, Abb. 78.

⁹⁾ Der Industriebau 1910, Heft 10, S. 217. Betr. Halle der Maschinen-Bauanstalt Humboldt s. „Der Eisenbau“ 1911, S. 32.

¹⁾ Ebenda, S. 509, Taf. XIII, XIV.

²⁾ Ebenda, S. 511, Taf. XV, XVI.

³⁾ Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1907, S. 1416. Handb. d. Arch., 4. Teil, 2. Halbbd., Heft 4, S. 352, Abb. 420, 421.

⁴⁾ Allgem. Bauzeitg. 1838, S. 452. Atlas Bl. CCLIII.

⁵⁾ Vierendeel, Constr. arch., Taf. 63.

⁶⁾ Zentrabl. d. Bauverw. 1893, S. 536.

⁷⁾ Foerster, Die Eisenkonstr. d. Ing.-Hochb., S. 525, Taf. XXII, XXIII.

bildung kommt neuerdings bei Eisen wie bei Eisenbeton immer mehr auf und hat vor allem den Vorzug, daß sie unter weitgehender Ausnutzung des Materials die Binder aus Walzprofilen oder Blechträgern von sehr geringen Abmessungen zu gestalten erlaubt.

Die erforderlichen Krane sind zuweilen nach amerikanischem Vorbild doppelt übereinander angebracht, wie bei Humboldt in Kalk¹⁾, oder sie sind zu mehreren nebeneinander angeordnet, wobei, um freien Arbeitsraum zu schaffen, die eine oder andere mittlere Laufbahn mit Vorteil am Dach aufgehängt werden kann, wie in der Brückenbauanstalt der Hilgerswerke in Rheinbrohl²⁾.

Im allgemeinen ist die Gestalt der Längshalle im Gegensatz zur Zentral-Anlage vornehmlich dort geboten, wo sich ein Verkehr oder eine Tätigkeit in einer besonders ausgeprägten Richtung zu betätigen hat, und sie ist demgemäß für Ausstellungsbauten, Werkstätten und Bahnhöfe die gebene Form.

Eine Mittelstellung zwischen Lang- und Zentralsystem nehmen die beiden durch eine offene Straße getrennten Gruppen der Pariser Markthalle³⁾ ein. Der östliche Teil wurde 1854, der zweite etwas später begonnen. Jede Gruppe besteht aus 4 rechteckigen und zwei quadratischen Pavillons, deren Zwischengänge mit Satteldächern überdeckt und in den Kreuzpunkten mit Aufbauten bekrönt sind. Die Pavillons selbst sind durch Emporheben des Mittelteils basilikal ausgestaltet. Gitterträger stützen die Pultdachflächen und verbinden die inneren Säulen, wobei sie gegen letztere durch schmiedeiserne Kopfbänder versteift sind. Die Außenwände sind im unteren Teil vermauert, darüber verglast. Das Satteldach der überdeckten Zwischenwege ruht auf schmiedeisernen halbkreisförmigen Tragebögen.

Nach dem Vorbild der Pariser Hallen waren auch die ersten Berliner Markthallen in der Karlstraße angelegt⁴⁾.

II. Zentralbauten.

a) Kuppeln⁵⁾.

An einem Zentralbau feierte das Eisen u. zw. als Gußeisen seinen ersten großen Triumph im Hochbau, nämlich im Jahre 1811, als die von Bélanger entworfene 40 m weite Kuppel über der Kornhalle⁶⁾ zu Paris fertiggestellt wurde. Für diese hatte schon Rondelet im Jahre 1803 zum Ersatz der abgebrannten, nach dem System des Philibert de Lorme konstruierten Holzkuppel einen Entwurf in Schmiedeisen aufgestellt, welcher aber nicht verwirklicht worden war⁷⁾. Das Gerippe der ausgeführten Kuppel besteht aus 51 eisernen Sparren, die durch horizontale Ringe verspannt werden. Über die so gebildeten einzelnen Gefache legt sich ein leichtes

schmiedeisernes Gitter, welches die Kupfereindeckung aufnimmt. Das Eisenwerk selbst blieb zwar nach außen hin nicht sichtbar, doch stellte die Kuppel trotzdem einen wichtigen Fortschritt in der Eisenbauweise dar, zumal ihre Einzelteile nicht mehr wie bei den bisherigen kleineren Ausführungen vorwiegend nach dem praktisch-konstruktiven Gefühl bemessen, sondern zum ersten Male rein durch statische Berechnung ermittelt worden waren. Trotz dieses Erfolges begegnete jedoch die rechnerische Vorausbemessung noch sehr lange großem Mißtrauen, ja sogar heftigen Angriffen, und sie konnte sich daher nur Schritt für Schritt ihr Feld erobern. Dann aber trat sie als treue Gehilfin dem entwerfenden Künftlergeist und dem selbständig vorauseilenden statischen Gefühl nachprüfend und regelnd zur Seite, um das vom schaffenden Meister innerlich erschaute Bild in ein zuverlässiges Wirklichkeitsbild zu übersetzen. Dadurch wurde sie zu einer gestaltenden Kraft, die zwar der Phantasie gewisse Grenzen zog, aber andererseits zu einer sachlichen Auffassung vom Wesen des Baues führte, indem sie auf die Eigenschaften des Baustoffs in erhöhtem Maße Bedacht zu nehmen zwang.

Wirkungsvoll und konstruktiv kühn war die freiliegende, verglaste Gußeisenkuppel, mit der 1852–53 der 30,40 m große Lichthof der alten Börse zu Antwerpen überdeckt wurde⁸⁾. Sie trug in der Mitte einen 19 × 14 m großen Laternen-Aufbau, und war mit verstreuten Eisenringen derart umfaßt, daß sie sich ohne Inanspruchnahme des umgebenden Mauerwerks aufrecht erhielt. Leider fiel sie bald einer Feuersbrunst zum Opfer, was um so mehr zu bedauern ist, als die Kuppel eine der letzten größeren Bauausführungen rein aus Gußeisen darstellte: Es wäre aus späterer Zeit (1850) nur noch die gußeiserne Schutzkuppel der Nikolaikirche in Potsdam (Abb 203) zu nennen⁹⁾.

Kuppelkonstruktionen aus Schmiedeisen wurden 1828 von Moller über dem Ostchor des Doms zu Mainz¹⁰⁾ nach dem Vorbild der Pariser Kornhallenkuppel, und von Arnould über dem Mittelteil der Fruchthalle in Alençon¹¹⁾ ausgeführt. Der mit Oberlicht versehene 14,37 m weite Speisesaal des Schlosses zu Wiesbaden¹²⁾ (1839) erhielt sogar eine Doppelkuppel und ebenso über quadratischem Grundriß von 17 m Seitenlänge der Pavillon Denon im Louvre zu Paris¹³⁾.

Wichtig wurde das Eisen für Sternwarten zur Herstellung drehbarer Kuppeln¹⁴⁾, wie sie bereits während der vierziger Jahre in Athen und Berlin entstanden.

Nach neuen konstruktiven Grundsätzen, mit lediglich in die äußere Mantelfläche gelegtem Tragewerk wurden von Schwedler die nach ihm benannten räumlichen Kuppeln¹⁵⁾ praktisch und theoretisch entwickelt. Auf die erste Ausführung dieser Art, die Kuppel über dem Gasbehälter der Holzmarktstraße in Berlin mit 30,9 m Durchmesser (1863) folgten zahlreiche sonstige Gasbehälter, z. B. am

¹⁾ Hütte 1909, Teil III, S. 771.

²⁾ Ebenda, S. 772, Abb. 22.

³⁾ Zeitschr. f. Bauwes. 1853, S. 593. Nouv. annales de la constr. 1856, S. 1, Taf. 1–2.

⁴⁾ Zeitschr. f. Bauwes. 1866, S. 447. 1867, S. 231.

⁵⁾ Betr. Durchmesser der bedeutendsten eisernen Kuppeldächer s. Daub, Die Vergangenheit des Hochbaues, S. 198.

⁶⁾ Rondelet, Kunst zu bauen, Taf. CLXIV.

⁷⁾ Ebenda, Tafel CLXIII.

⁸⁾ Vierendeel, Constr. arch., Taf. 9, 10.

⁹⁾ Zeitschr. f. Bauwesen 1852, Atlas Bl. 31–33.

¹⁰⁾ Heinzerling, Hochb. mit eis. Zelt- u. Kuppeldächern, Heft 3, Taf. 1, Fig. 15–27.

¹¹⁾ Nouv. annales de la constr. 1866, S. 33. Taf. 11–12.

¹²⁾ Allgem. Bauzeitg. 1845, S. 265, Taf. DCLXXXIV.

¹³⁾ Nouv. annales de la constr. 1864, S. 206, Taf. 41–42.

¹⁴⁾ Allgem. Bauzeitg. 1846, S. 130, Atlas Bl. 34.

¹⁵⁾ Zeitschr. f. Bauwesen 1863, S. 151, Atlas Bl. 25. 1866, S. 7, Atlas Bl. 10–13.

Hellweg in Berlin (40,79 m Durchmesser), dann Lokomotivschuppen u. zw. entweder mit einem Mittelraum, der von einem Kreis-Pultdach umzogen war, wie 1863 in St. Johann, 1868 in Görlitz¹⁾ und 1869 in Hannover²⁾, oder mit einheitlich freiem Gesamtraum, wie 1872/73 mit 55 m Weite in Magdeburg³⁾. Die Schwedlerschen Kuppeln gaben u. a. 1871–73 die Anregung zur Überdeckung des Vierordbades in Karlsruhe⁴⁾ (12 m), dann späterhin zu einem Panorama in München (38,4 m Durchmesser), sowie zu Gasbehältern in Erdberg bei Wien (64,52 m) und in der Fichtestraße in Berlin⁵⁾ (54,9 m) (Abb. 187). Ebenfalls nach Schwedler'scher Art wurde 1878 die Turmpyramide der Petrikirche in Hamburg⁶⁾ und neben vielen sonstigen Bauten die Kuppel über dem Zirkus Stosch-Sarrasani in Dresden⁷⁾ ausgeführt.

Durch ihre klare Anlage und ihre großen und eleganten Verhältnisse zeichnet sich die Kuppel des Hippodrome de l'Alma in Paris (1877–78)⁸⁾ aus. Sie erhielt 102,50 m Länge und 66,50 m Breite, und ihr ganzer Mittelteil wurde durch eine bei gutem Wetter leicht zur Seite zu schiebende Laterne überdeckt. Noch selbständiger entwickelte sich das Eisen am königlichen Wintergarten zu Laeken⁹⁾ (1879), der sich in runder Glockenform, ohne senkrechten Unterteil unmittelbar vom Boden erhebt. Der Mittelteil von 41,25 m Durchmesser und 25,65 m Höhe ruht auf einer dorischen Säulenstellung aus Stein, und daran schließt sich ein ringsum laufendes niedriges Seitenschiff von 7,9 m Breite. Der Gesamtdurchmesser beträgt also rund 57 m. Daß äußere Streben nur scheinbar den Mittelteil in einer an das gotische Strebesystem erinnernden Weise abstützen, tatsächlich aber eine Verglasung tragen, während der Schub des Mittelteils durch einen besonderen Fußring abgefangen wird, ist leider ein Mangel an Folgerichtigkeit an dem sonst tüchtigen Bauwerk.

Eigenartig ist die Kuppel der Getreidehalle zu Leeds¹⁰⁾ in England, die in Gestalt eines halben Rotations-Ellipsoids von 39 resp. 26,7 m Achsenlänge durch 19 elliptische Längsbögen und 27 kreisförmige Querbögen gebildet wird.

Bedeutende Abmessungen hat das ursprünglich für die Vorführungen von Barnum bestimmte größte Londoner Konzertlokal, die Albert-Halle¹¹⁾, erhalten, deren Grundriß einer Ellipse ähnelt. Die Konstruktion besteht aus 30 radialen Bindern, die sich gegen einen Fußring und einen Laternenring legen, und oben das Außendach, unten die gewölbte Decke des gänzlich freien imposanten Innenraums tragen.

Neuere zentrale Raum-Überdeckungen finden wir in der glockenförmigen Rundhalle, welche 1894 mit 24,2 m äußerem Gesamtdurchmesser für die Industrie-Ausstellung zu Lyon errichtet wurde¹²⁾, dann in den Kuppeln über der Zirkus Maatschappij-Arena in Amsterdam (34,35 m) sowie

über den Musikhallen in Wigan¹⁾ (34 m) und in Glasgow (42,6 m weit, 18,9 m hoch); letztere wurde im Jahre 1901 für die internationale Ausstellung aus 24 radialen, unter sich verstreuten Sparren erbaut²⁾.

Ähnlich wie an der Albert-Halle hat man vielfach größere Säle, Lichtböfe usw. zum Zweck zentraler Oberlicht-Beleuchtung mit einer doppelt verglasten Kuppel ausgestattet. Die obere Glaseindeckung tritt dabei entweder nach außen architektonisch in die Erscheinung, wie am Reichstagsgebäude³⁾ und an der Kaiserl. Landesbibliothek in Straßburg (Abb. 194), oder sie ist lediglich konstruktiv angeordnet, ohne in der Front-Architektur sichtbar zu werden, wie dies 1877–81 am Kunstgewerbe-Museum in Berlin, an der Technischen Hochschule in Charlottenburg, im Warenhaus Wertheim⁴⁾ in Berlin u. a. m. geschehen ist. In beiden Fällen dient als eigentliche Raumdecke eine zweite, an der Unterseite des Eisengerüsts angebrachte Verglasung, die dekorativ gemustert oder in Farben gehalten wird, und auch bei Nacht, wenn zwischen beiden Verglasungen elektrische Lampen angebracht werden, als Lichtspender zu dienen vermag. Die Eisenkonstruktion selbst kommt dabei künstlerisch nicht zur Geltung, so daß ein weiteres Eingehen auf sie hier nicht vonnöten ist. Sie wird nur mittelbar von Bedeutung, da große Glasflächen ohne eisernes Tragwerk konstruktiv eben nicht zu denken sind und äußere verglaste Schutzkuppeln schon durch ihre Gestalt einen architektonischen Anspruch erheben dürfen.

Dagegen ist über der großen Halle des Magasins du Printemps in Paris die Glasdecke von unten her sichtbar gestützt, indem die tragenden Teile der Glasdecke mit den Füßen auf Konsolen, im übrigen auf Bogenträgern aufrufen⁵⁾.

Andererseits entstanden vielfach Kuppeln, die ihr Eisenwerk nicht einmal mittelbar nach einem überdeckten Raum zu künstlerisch wirken ließen, sondern die hauptsächlich nur den Zweck hatten zur Unterstützung einer Steinarchitektur einen künstlerischen Gedanken zum Ausdruck zu bringen und durch ihre Form die Gesamterscheinung eines Bauwerks zu beherrschen. Dieser Art sind die rund 13 m weite und 10 m hohe Zwiebelkuppel der Synagoge in Berlin (1863)⁶⁾, die 18,8 m weite Kuppel über der Pfarrkirche in Fünfhaus bei Wien⁷⁾ (1875) und die 34,96 m weite Kuppel der Kirche zu St. Blasien in Baden⁸⁾ (1876); dann aus neuerer Zeit die Kuppeln des Doms in Berlin, und der Kirche auf dem Zentralfriedhof in Wien⁹⁾ sowie die aus Dreigelenkbögen zusammengesetzte 17,5 m weite und 19,5 m hohe Kuppel¹⁰⁾ einer Zigarettenfabrik zu Dresden.

¹⁾ The Builder 1909, S. 128.

²⁾ Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1901, S. 1657. Engineering 1901, S. 570 mit Abb. auf S. 568, 569.

³⁾ Zeitschr. d. Arch.-u. Ing.-Ver. z. Hann. 1895, S. 359. Tafelbeilage Bl. 17.

⁴⁾ Abb. s. Archit. Rundschau 1905, Taf. 92.

⁵⁾ Abb. s. Fortschritte a. d. Geb. d. Arch. Ergänzungsheft Nr. 2 z. Hdb. d. Arch. (Verglaste Decken u. Deckenlichter) S. 44, Fig. 73.

⁶⁾ Zeitschr. f. Bauwesen, 1866, S. 32, Atlas Bl. 14.

⁷⁾ Allgem. Bauzeitg. 1875, S. 59, Taf. 61–64.

⁸⁾ Heinzerling, Hochb. m. eis. Zeit- u. Kuppeld., Heft 3, Taf. 4.

⁹⁾ Der Eisenbau 1910, S. 49.

¹⁰⁾ Foerster, Die Eisenkonstr. d. Ing.-Hochb., S. 607, Taf. XXVI.

¹⁾ Allgem. Bauzeitg. 1868/69, S. 302, Taf. 72.

²⁾ Zeitschr. d. Arch.-u. Ing.-Ver. zu Hannover 1870, S. 355, Abb. Bl. 479–81.

³⁾ Ebenda, 1876, S. 533.

⁴⁾ Zeitschr. f. Bauwesen 1874, S. 123.

⁵⁾ Zeitschr. f. Bauwesen 1876, S. 179.

⁶⁾ Ebenda, 1883, S. 165 und Atlas Bl. 37–39.

⁷⁾ Deutsche Bauzeitg. 1913, S. 121.

⁸⁾ Vierendeel, Constr. arch., Taf. 34, 35.

⁹⁾ Vierendeel, Constr. arch., Taf. 56–59.

¹⁰⁾ Ebenda, Taf. 69.

¹¹⁾ L. Mertens, Eis. Dächer u. Hallen in England, Taf. 5.

¹²⁾ Zentralbl. d. Bauverw. 1893, S. 525.

b) Zeldächer.

Unter den ersten schmiedeisernen Zeldächern sind die Turmspitzen der Werder'schen Kirche in Berlin (1843), die drei Vorderfronttürme der Klosterkirche ebenda¹⁾ (1842—44) und die 17,26 m hohe Spitze der evangelischen Kirche in Eupen²⁾ (1850—54) hervorzuheben. Etwas später, 1864, folgte das Turmdach der Petrikerche in Berlin (33,58 m hoch) und der eiserne Dachstuhl über einem Eingangsturm des von Violet-le-Duc restaurierten Schlosses Pierrefonds³⁾.

Neuere Turmdächer sind an der Marienkirche in Hannover von Müller-Breslau, der Jakobikirche in Stendal und der lutherischen Kirche in Wilhelmshaven zu verzeichnen⁴⁾.

Ein Zeldach hat auch der neue Gasbehälter in Berlin-Tegel erhalten⁵⁾.

Selbständige architektonische Zwecke im Sinne der künstlerischen Durchbildung eines sichtbar mit Eisen überdeckten Innenraums wurden bei allen diesen Bauwerken aber nicht verfolgt. Ebenso wenig geschah dies noch bei der sehr kühn und in großen Abmessungen, mit 107,8 m Spannweite von Scott Russel entworfenen Rotunde der Wiener Weltausstellung von 1873⁶⁾. Man hätte hier die prächtigste Gelegenheit gehabt, die architektonische Schönheit des Eisens zu offenbaren. Anstatt dessen schämte man sich des Materials und suchte man durch künstliche Verkleidungen und durch Bemalung den Eindruck eines Steinbaues zu erwecken, obwohl sich der unbefangene Beschauer sagen mußte, daß ein Steinbau in dieser Gestalt nicht auszuführen wäre. So fehlte die innere Wahrheit, die nun doch einmal zur Gestaltung eines echten Kunstwerks Bedingung ist, und das Bauwerk vermochte sich trotz seiner großen Abmessungen nicht zu der mächtigen Wirkung aufzuschwingen, die man nach seiner Grundanlage hätte erwarten dürfen.

Offen sichtbar, mit nicht verkennbarem architektonischem Zug blieb dagegen das eiserne Gitterwerk an den Zeldächern des Zirkus Otto (Renz) in Berlin⁷⁾ (37,33 m) und des 1874—75 erbauten Zirkus Fernando in Paris⁸⁾ (Mittelteil von 22,5 m Durchmesser) sowie an zahlreichen Gewächshäusern z. B. am Palmenhaus in Herrenhausen bei Hannover (1879—80) (Abb. 171).

III. Vereinigungen.

Daß in Anbetracht des oft großen Bedarfs an überdeckter Fläche die einfache Längshalle oder der Zentralraum nicht immer genügen kann, darf uns nicht Wunder nehmen.

Das einfachste Verfahren, größere Räume zu schaffen, ergibt sich im Aneinanderfügen mehrerer gleichartiger Hallen, wie an den Bahnhofen zu Straßburg i. Els.⁹⁾ (Abb. 135), Münster

i. W. (Abb. 121) u. a. O. m. Handelt es sich um Werkstatt- oder Fabrikanlagen, für die nur eine geringe Höhe erforderlich ist, so genügt es einfache Dachbinder mit gelenkiger Verbindung zu mehreren nebeneinander zu schalten und ihnen geeignete Zwischenstützungen zu geben. Auch der Gedanke des Auslegerträgers lässt sich nutzbar machen, wie dies an der Wagenreparatur-Werkstatt Recklinghausen-Ost¹⁾ geschehen ist. Die Teildächer selbst können entweder symmetrische Satteldächer sein oder unsymmetrische Säge-(Shed-)Dächer, wie an der Hauptmarkthalle Friedrichstadt zu Dresden und an dem Lokomotiv-Montierungs-Gebäude der Zentralwerkstätte in Nürnberg²⁾.

Etwas mehr Gliederung des Gesamttraums gibt die Wahl eines großen Mittelschiffs mit gleichlaufenden niedrigeren Nebenhallen, also eine basilikale Anordnung, zu der man den Bahnhof der Dearborn-Straße in Chicago³⁾, den Kunstpalastraselbst (1893), die Hauptbahnhofshallen in Dresden-Alstadt⁴⁾ (1898) (Abb. 131) und Köln a. Rh.⁵⁾ und die Ballonhalle in Fort Omaha (Nebraska)⁶⁾ rechnen kann. In Dresden wird allerdings die Einheitlichkeit der Gesamt-raumwirkung durch die verschiedene Höhenlage des Fußbodens in hohem Maße gestört.

Als große Einräume, die eine Verschmelzung einfacher Raumelemente darstellen, treten uns viele der größeren Gewächshaus-Anlagen, wie in Bonn (Abb. 174), Schönbrunn (Abb. 169) und Herrenhausen bei Hannover (Abb. 171) entgegen; ebenso manche Ausstellungshallen u. dergl., wie das neuerdings beseitigte Pergamon-Museum in Berlin⁷⁾; letzteres war so überdeckt, daß ein auf vier eisernen Säulen gelagerter kräftiger Fachwerksrahmen von außen her bogenförmige Halbbinder aufnahm und über seinem Innern ein Zeldach von 25,0 × 22,5 m Größe trug. Kreuzgewölbartige Bildungen zeigen die Bahnhofshalle in Hannover und die Endstation für die Pennsylvania-Eisenbahn (Abb. 150) in New-York⁸⁾. Einem großen Gesamttraum, dessen Überdeckung sich aus Kuppeln und Tonnenformen zusammensetzt, begegnen wir u. a. am Vestibule d'Jéna⁹⁾ auf der Pariser Weltausstellung von 1878 und im Jahre 1900 am Grand Palais Des Beaux Arts¹⁰⁾ ebenda. An die großen einschiffigen Jesuitenkirchen mit anschließenden Seitenkapellen erinnerte, ebenfalls auf der Pariser Weltausstellung von 1900, Gautier mit seinen mächtigen spitzbogigen Gewächshallen, an deren Längsseiten sich beiderseits je 7 Halbkreisnischen mit Viertelkugel-Überdeckung schlossen (Abb. 172). Ähnlich fügen sich im neuen

¹⁾ Foerster, Eisenkonstr. d. Ing.-Hochb., S. 812, Taf. XXXII.

²⁾ Ebenda, S. 377, Taf. VII und Fig. 548.

³⁾ Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1907, S. 1416.

⁴⁾ Foerster, Eisenkonstr. d. Ing.-Hochb., S. 516, Taf. XVIII, Abb. 1.

⁵⁾ Zeitschr. f. Bauwesen 1898, Bl. 50.

⁶⁾ Engineering Record 1909, S. 637.

⁷⁾ Foerster, Eisenkonstr. d. Ing.-Hochb., S. 635, Taf. XXVII.

⁸⁾ Deutsche Bauzeitg. 1910, S. 845. Scientific American 1910, S. 399. Glasers Annalen f. Gew. u. Bauwes. 1912, S. 67. Zentralbl. d. Bauverwltg. 1906, S. 620, 632.

⁹⁾ Deutsche Bauzeitg. 1878, S. 398, 399. Nouv. ann. de la constr. 1878, S. 2, Taf. 1—2.

¹⁰⁾ Handb. d. Archit. 4. Teil, 6. Halbbd., 4. Heft.

¹⁾ Abb. s. Zeitschr. f. Bauwesen 1860, S. 482, Atl. Bl. 51.

²⁾ Ebenda, Atlas Bl. 53.

³⁾ Allgem. Bauzeitg. 1865, S. 100.

⁴⁾ Brandt, Lehrs. d. Eisenkonstr., S. 639 u. f.

⁵⁾ Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1912, S. 1805.

⁶⁾ Zeitschr. d. österr. Arch.- u. Ing.-Ver. 1873, S. 137. Engineering 1873, Bd. 15, S. 159, 220, Tafelbeilagen.

⁷⁾ Brandt, Lehrs. d. Eisenkonstr. 1876, S. 536. Zeitschr. f. Bauwesen. 1860, S. 7, Atlas Bl. 1—4.

⁸⁾ Nouv. annales de la constr. 1876, S. 137.

⁹⁾ Zentralbl. d. Bauverwaltg. 1883, S. 302, 361.

Hamburger Hauptbahnhof¹⁾ an die 73 m weite, 35 m hohe und 140 m lange Mittelhalle beiderseits Querhallen von je 30,5 m Stützweite und 19 m Höhe (Abb. 137).

Das bedeutendste Eisen-Bauwerk, welches in neuerer Zeit als Raum-Vereinigung entstand, ist die Ausstellungshalle in Frankfurt a. M.²⁾ (Abb. 163). Sie ist rund 60 × 100 m groß mit leichten Ausbuchtungen in der Mitte der beiden Längsseiten. Der mittlere Kuppelbau von 67 m lichtigem Durchmesser wird von elliptischen Bindern gebildet und schneidet beiderseits an zwei Tonnen von 29 m Länge und 49 m l. W. an, die nach den Giebelwänden zu abgewalmt sind. Die Binder sind Viereckbogen, wie sie nach dem Patent der Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg A.G. im Jahre 1908 an einem eigenen Verwaltungsgebäude der Zweiganstalt Gustavsburg, dann 1908 an zwei Bahnsteighallen in Metz, und 1909 an der 40,3 m weiten Luftschiffhalle in Köln angewandt worden sind³⁾. Bei symmetrischer Belastung geht die Drucklinie durch alle vier Gelenke des Binders, bei einseitiger Last nur durch drei derselben, indem sich das eine Gelenk auf der unbelasteten Seite selbsttätig schließt, also sich selbst ausschaltet. Als Hauptvorteile werden dem Viereckbogen nachgerühmt, daß die Drucklinie sich günstig an die Bogenform anpaßt, daß die Temperatur-Schwankungen und einseitigen Lasten nur geringen Einfluß ausüben, also die Material-Ausnutzung nicht beeinträchtigen und daß die Montage sich ohne große Gerüste bewirken läßt, weil die einzelnen Teilstücke der Bogenbinder in der Werkstatt fertig gestellt werden können⁴⁾. Immerhin läßt sich wohl bezweifeln, ob der theoretisch vorausgesetzte Gelenkschluß sich tatsächlich in der beabsichtigten Weise vollzieht.

An den Bindern und Haupttragepfetten der Frankfurter Ausstellungshalle sind aus schönheitlichen Rücksichten die Gurte durch Querstäbe und verhältnismäßig große Knotenbleche derart miteinander verbunden, daß die verbleibenden Öffnungen lediglich als achteckige Durchbrechungen einer Vollwand-Konstruktion erscheinen. Es bietet sich also ein ähnliches Bild, wie an den Bogenbindern der Galerien in Mailand, Genua (Abb. 207) und Neapel und wie an den von Vierendeel vorgeschlagenen Trägern.

Zuweilen werden Baulichkeiten verschiedener Art aneinander geschlossen, um hauptsächlich für Ausstellungs- und Pflanzenhäuser mannigfaltigeren Raumanforderungen zu entsprechen, also nicht einen großen gegliederten Raum, sondern eine Gruppe verschiedengestaltiger Räumlichkeiten zu schaffen. Dies geschieht z. B. im sog. Fischgrätensystem, das für den von der Rotunde bekrönten Industriepalast in Wien (1873) und für die neuen Pflanzenhallen des Palmgartens in Frankfurt angewandt wurde⁵⁾.

Ebenso entstand als Zusammenstellung interessanter Kuppeln, Zelt- und Trichterdächer 1883 das Gebäude für

die Hygiene-Ausstellung in Berlin¹⁾, wobei besonders sparsame Eisenabmessungen durch öfteres Zusammenfassen von gleichzeitig wirkenden Zug- und Druckkräften in einem und demselben Konstruktionsteil erzielt worden sind; ferner gehört hierher das Hauptgebäude der Berliner Gewerbe-Ausstellung (1896) mit einer Kuppel von 31 m Durchmesser, einer kleinen Kuppelhalle von 20 m und einem quadratischen Pavillon von 25 m Seite und 29 m Gesamthöhe.

Eine reiche Gruppe stellen die Schauhäuser des neuen botanischen Gartens in Dahlem²⁾ bei Berlin dar. Für diese war verlangt, daß das Innere frei von Stützen und Zugankern sein solle. Ferner war mit Rücksicht auf die bauliche Unterhaltung, da der Betrieb niemals unterbrochen werden darf, das tragende Eisengerüst außerhalb der Verglasung anzubringen, d. h. letztere mittels Holzsprossen an die Eisenkonstruktion anzuhängen. Außerdem durften keine schweren schattenbildenden Bauteile vorkommen. Um allen diesen Anforderungen zu genügen, wurde für das große Tropenhaus ein netzartig aufgelöstes eisernes Gitterwerk aus 6,18 m voneinander entfernten flachen, nicht kastenförmigen Dreieckbindern und wagerechten Gitterpfetten gewählt. Diagonale Verstrebungen sind nicht vorhanden. An jeder der beiden Schmalseiten ist die Halle mit einer halben Achteckkuppel geschlossen.

Die Eckbauten der in Rede stehenden Schauhaus-Anlage sind über quadratischen Grundriß mit 20 m weiten Flachkuppeln von etwas anderer Anordnung aber ebenfalls leichter und schattenfreier Bildung überspannt. Die Pfosten ihrer 6 m hohen Umfassungswände sind oben durch einen Ring zusammengehalten, unten 1,5 m tief in den Beton eingelassen und hier unsichtbar durch kräftige Gitterträger festgehalten.

Das zugehörige 14 m weite glockenartige Haus für tropische Wasserpflanzen ist ähnlich dem großen Tropenhaus gebildet. Die verbindenden Langhallen haben Satteldächer mit aufgesetzter Firstlüftung nebst Laufgalerie.

E. Sonstige Ausführungen.

Außer den Hauptgebieten der Hallen und Brücken gibt es noch eine ganze Anzahl sonstiger Baubedürfnisse, für deren Erfüllung Eisen in Betracht kommt.

So müssen vielfach Baulichkeiten in einsamer Gegend errichtet werden, wo menschliche Arbeitskräfte schwer zu erhalten sind und alle Möglichkeiten des Lebensunterhalts fehlen; oder man ist aus örtlichen Gründen gezwungen, sehr rasch unter Benutzung einer günstigen Witterungsperiode zu arbeiten. In solchen Fällen ist das Eisen vielfach der einzige brauchbare Baustoff, weil die sämtlichen Einzelteile vorher in der Werkstatt hergestellt und verpaßt werden können, und an Ort und Stelle nur rasch miteinander verbunden zu werden brauchen.

Man hat daher zur Errichtung von Leuchttürmen, dann bei Bauwerken in Kolonien und zu ähnlichen Zwecken vielfach zum Eisen gegriffen. So war schon 1879 auf der Insel

¹⁾ Foerster, Eisenkonstr. d. Ing.-Hochb., S. 520, Taf. XX. Allg. Bauzeitg. 1909, S. 12.

²⁾ Deutsche Bauzeitg. 1909, S. 283, 305, 357. Zentralbl. d. Bauverwalt. 1909, S. 354, 365. Der Baumeister, 7. Jg., S. 139.

³⁾ Der Eisenbau 1910, S. 150.

⁴⁾ Deutsche Bauzeitg. 1909, S. 62.

⁵⁾ Zentralbl. d. Bauverwalt. 1907, S. 283.

¹⁾ Zentralbl. d. Bauverwalt. 1883, S. 57, 121, 346. Deutsche Bauzeitg. 1883, S. 80.

²⁾ Zeitschr. f. Bauwesen 1909, S. 210, Atlas Bl. 27—29.

Pandang (Sumatra) ein 50 m hoher eiserner Leuchtturm¹⁾ errichtet worden, für den alle Teile fertig aus Europa herbeigeschafft wurden. Man wählte dazu Gußeisen, weil man bei diesem weniger als bei Schmiedeisen die Gefahr des Rostens befürchtete. Außerdem gab man den Konstruktionsteilen zum Ausgleich etwaiger Rostverschwächung etwas größere Stärke, als eigentlich nötig gewesen wäre.

In der Folge ging man bei derartigen Bauten zum Schmiedeisen über, u. a. für die Leuchttürme von Bogskär, Walsörne, Tankar, Yttergrund usw., welche auf sehr schwierigen Klippen unter äußerst widrigen Witterungsverhältnissen aufgeführt werden mußten²⁾. Gußeisen findet sich fortan nur noch ausnahmsweise, z. B. an dem 1910 vollendeten Arngast-Leuchtturm bei Wilhelmshaven³⁾.

Wieder aus anderen Beweggründen entstand der imposante eiserne Eiffelturm, das Wahrzeichen der Pariser Ausstellung von 1889 (Abb. 178). Eine praktische Bestimmung hatte er nicht zu erfüllen, sondern er sollte lediglich als großartige Reklame dienen und der Welt etwas Niedergewesenes bieten. In diesem Gedanken erhielt er die gewaltige Höhe von rund 300 m, die ein eigenartiges Seitstück zu der neuen 114,3 m großen Weite der gleichzeitigen Maschinenhalle bietet. Konstruktiv neue Gedanken bringt der Eiffelturm indessen nicht⁴⁾.

Neuere Ausführungen anderer Art sind das Schiffshebewerk bei Henrichenburg im Dortmund-Ems-Kanal (1899). und die großen Kran-Anlagen auf Schiffswerften und Bau-Anstalten⁵⁾ z. B. für die Germania-Werft und die Howaldtwerke in Kiel, für Bremerhaven u. a. m.

Dann wären Aufzugstürme zu nennen, die an Felswänden zu hochgelegenen Aussichtspunkten führen, wie in Schandau (47,5 m), auf Helgoland, am Bürgenstock⁶⁾ und an der Hammettschwand⁷⁾ in der Schweiz (150,85 m hoch). Eisenbahnen, Industrie, Handel und Bergbau brauchen Lokomotivschuppen, Kohlspeicher, Petroleumbehälter, Windmotortürme, Kohlen- und Erz-Entladevorrichtungen, Hochofen- und Schachtgerüste⁸⁾ u. a. m., alles Bauten, für die das Eisen unentbehrlich ist.

Für städtische Verwaltungen und größere industrielle Unternehmungen kommen eiserne Gasbehälter in Betracht, mögen diese nun mit den üblichen großen Führungsgerüsten versehen sein, oder mit der weniger bewährten Spiralführung, welche äußere Stützen entbehrlieh macht, wie in Goteshead am Tyne⁹⁾ und in Altona-Bahrenfeld. Auch bekronende Eisenkuppeln auf Steinbauten finden sich an Gasbehältern z. B. mit 64,5 m Weite in Reick-Dresden¹⁰⁾.

Für Wassertürme mit frei sichtbarem Behälter wird das

Gesamtbild hauptsächlich durch die Gestalt des letzteren bedingt¹⁾. Während Intze den Behälterboden nach Kegel und Kugel gestaltete (Abb. 180), und dabei die wagerechten Kräfte sich gegenseitig im Gleichgewicht halten ließ (1896 Berliner Gewerbe-Ausstellung, 1902 Grünewald bei München), suchte man weiterhin zur Vereinfachung den Boden frei von Ringen zu halten und ihn ohne Knick in die Wand überzuleiten. Danach wählte Barkhausen die Form des hängenden Tropfens mit Zylinderwand und Halbkugelboden z. B. auf der Zeche „Minister Stein“²⁾. Neuerdings hat Klönne die völlige Kugel-form eingeführt (Abb. 182, 184).

Durch ihre architektonische Ausgestaltung sind die neuen Wassertürme in Bremen (Abb. 183) und am Hauptbahnhof Metz bedeutsam, letzterer vor allem durch die eigenartige Zierverwendung sichtbarer Eisenteile. Ferner ist der 1911 als Ausstellungsobjekt der Oberschlesischen Industrie errichtete Wasserturm für Posen³⁾ hervorzuheben.

Ein Aussichtsturm in Gestalt eines eisernen Kreuzes, das aus einer von gußeisernen Säulen getragenen Schutzhalle herauswächst (40 m hoch), ist als Ersatz eines älteren gleichartigen Bauwerks auf der Josephshöhe bei Stolberg a. Harz⁴⁾ aufgeführt worden.

Als Wahrzeichen unserer Zeit sind die Funkentürme⁵⁾ anzusehen.

Nicht unerwähnt mögen die hohen amerikanischen Wolkenkratzer bleiben. Sie sind zwar insofern nicht als reine Eisenbauten zu betrachten, als das Eisen bei ihnen nur das tragende Gerippe bildet, welches eine umkleidende Hülle trägt, also nicht sichtbar in die Erscheinung tritt. Man weiß aber, daß die Ausführung solcher Bauwerke, die ja verhältnismäßig dünne Wände besitzen, ohne die Hilfe des Eisens nicht möglich wäre; denn bei Ausführung allein in Mauerwerk müßten die Pfeiler- und Wandstärken so erhebliche sein, daß sie den unteren Geschossen zu viel Raum wegnehmen würden. Man sieht also das Eisengefüge mittelbar, wie das Knochengestüt in einem lebenden Körper, und es müssen daher in diesem Sinne die Stahlkonstruktionen der amerikanischen Wolkenkratzer durchaus zu den modernen Errungenschaften der Eisenbauweise gerechnet werden⁶⁾.

Bei den Riesenhäusern in New-York und anderen amerikanischen Großstädten findet überdies der Kragträger wichtige Anwendung, indem er es ermöglicht, mit dem tiefgehenden Fundament so weit vom Nachbargrundstück abzuweichen, daß das Nachbarhaus nicht gefährdet wird⁷⁾. Oder er gestattet Vorsprünge wie am People's Gas Ligth & Coke Co. Building in Chicago, wo die 18 oberen Stockwerke über die 3 unteren Geschosse 1,35 m ausladen und zwar mittels kräftiger Fachwerkträger von Geschoßhöhe (4,5 m). Und wie hier ist der Kragträger indirekt auch an den vorgebauten Glasfronten vieler Warenhäuser zu bemerken⁸⁾. Endlich fühlt man die tragende Wirkung des Eisens bei großen

¹⁾ Vierendeel, Constr. arch., Taf. 45, 46.

²⁾ Allgem. Bauzeitg. 1892, S. 6, 10. Bl. c—12. Über den Leuchtturm auf den „Roches Douvres“ vergl. Regnaud, Trav. publ. de la France, 5. Bd., S. 68, Taf. 13.

³⁾ Deutsche Bauzeitg. 1910, S. 690.

⁴⁾ Über den Vorschlag aus dem Material des Kristallpalastes einen Turm von 305 m Höhe zu errichten s. The Builder 1852, S. 280. Handb. d. Arch., 4. Teil, 6. Halbbd., 4. Heft (1906), S. 574.

⁵⁾ Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1902, Tafel bei S. 1848.

⁶⁾ Scientific American, 23. July 1910, S. 71.

⁷⁾ Glasers Annalen 1910, S. 37.

⁸⁾ Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1900, S. 1540. Neudeutsche Bauzeitg. 1912, S. 510.

⁹⁾ The Engineer, Dez. 1909, S. 577.

¹⁰⁾ Armierter Beton 1909, S. 87, Fig. 11.

¹⁾ Fierster, Eisenkonstr. d. Ing.-Hochb., S. 816.

²⁾ Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1900, S. 1594, Abb. S. 1684.

³⁾ Zentralbl. d. Bauverwaltg. 1911, S. 409, Abb. S. Der Industriebau 1911, S. 224.

⁴⁾ Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1897, S. 429.

⁵⁾ Der Eisenbau 1911, S. 377.

⁶⁾ Eine Zusammenstellung der Höhen von Wolkenkratzern s. Daub, Die Vergangenheit des Hochbaues, S. 113.

⁷⁾ Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1896, S. 1491.

⁸⁾ Deutsche Bauhütte 1901, S. 49.

Hallen mit angehängter Decke aus Rabitz, Monier und dergl., wie sie uns z. B. in Berlin in dem eine freie Fläche

von $60 \times 34,10$ m aufweisenden Eispalast¹⁾ und dem 49,2 m weiten Hohenzollern-Sportpalast²⁾ entgegneten.

II.

Kritische Würdigung.

A. Allgemeines.

Nachdem wir in großen Zügen das allmähliche Aufblühen und die Entwicklung der Eisenbauweise betrachtet haben, kommen wir jetzt zu der reizvolleren Aufgabe einer kritischen Würdigung. Bei dieser kann allerdings das subjektive Element nicht ausgeschaltet werden, soweit wenigstens ein ästhetisches Urteil in Betracht kommt. Denn ein solches Urteil läßt sich nicht in allgemein gültige mathematische Formeln pressen, vielmehr muß man mit Hans Thoma erklären: „Die Kunst ist halt doch eine eigene Sache. Am Ende ist sie gar kein festzulegendes Prinzip, sondern eine Lebensäußerung, die an Persönlichkeiten gebunden ist, und nur durch Persönlichkeiten lebendig erhalten werden kann. Ihr Wesen beruht auf der Sinnenfreude. Die Sinne freuen sich an der Welt, und die Seele weiß, daß sie durch diese Gucklöcher mit der Welt in Verbindung steht. Sie baut sich, angeregt von der Innenwelt, eine innere Welt auf, die zur Betätigung kommen will, und deren Schöpfungen wir Kunst nennen.“¹⁾

Wir fragen uns nun: Dürfen eiserne Bauwerke Anspruch auf Kunst und Schönheit machen? Auf welche Voraussetzungen kann sich dies gründen? Und was verhindert bisher eine allseitige Anerkennung schönheitlicher Eigenschaften an unseren Eisenbauten?²⁾

Hierzu sei voraus bemerkt, daß für eine schönheitliche Beurteilung nur solche Eisengefüge in Betracht kommen können, die mit der Absicht künstlerischer Wirkung frei sichtbar liegen, oder aus deren Zweck und Wesen heraus eine künstlerische Gestaltung hätte erwachsen können oder müssen. Es sind daher Baulichkeiten, welche, wie die Kuppel der neuen Kirche auf dem Zentralfriedhof in Wien³⁾ oder wie die Kuppel in Leipzig (Abb. 189) als rein konstruktive Träger einer Verkleidungsfläche ebenso gut aus anderem Stoff, etwa aus Holz errichtet sein könnten, ohne daß dadurch der künstlerische Eindruck geändert würde, hier beiseite zu lassen.

Bei seinem ersten Auftreten bot sich das Eisen nur als Ersatzstoff von anscheinend gleichen Bearbeitungsbedingungen wie Stein oder Holz an, nur daß es als gewissermaßen künstlich verdichtete Zähigkeit und Festigkeit geringere Abmessungen erforderte. Bereitwillig wurde es von der Bautechnik aufgenommen und von dieser zur Herstellung

von Decken-, Dach- und Brückenkonstruktionen herangezogen. Allerdings brachten die ersten Arbeiten vielfach noch plumpe Konstruktionen mit tastenden Einzelheiten⁴⁾.

Nachdem der Anfang gemacht war, vollzog sich die weitere Einführung des Eisens so schnell, auch brachte sie so viel Neues, daß das nur an Holz und Stein herangebildete schönheitliche Empfinden vielfach nicht mitkommen konnte. Wir sehen also etwas Ähnliches wie in der Tonkunst und der Malerei, wo eine neue Schaffensweise oft erst nach langen Jahren in weiteren Kreisen Fühlung gewann. Man denke nur an Richard Wagner, Feuerbach und Böcklin.

Immerhin ist die Allgemeinheit jetzt so weit gekommen, daß sie nicht mehr alle Eisenbauten von vornherein als häßlich verurteilt, sondern daß sie bereits zwischen häßlichen und schönen Eisenbauten zu unterscheiden beginnt und damit letzteren eine künstlerische Daseinsberechtigung zuspricht.

Außerdem hat sich unser Schönheitsempfinden gegen früher auf breitere Grundlagen gestellt: Wenn uns der Eisenbahnzug stundenlang in jagender Eile durch immer wechselnde Gegenden führt, so kann das Auge naturgemäß sich nicht mehr in Ruhe der kleinen Idylle, der Burg, der Dorfkirche, der blütenbehangenen Mauer erfreuen, sondern es vermag nur die Hauptlinien einer Landschaft zu erfassen, die breite Ebene der Heide, den Horizont des Meeres und die welligen oder zackigen Umrisse des Gebirges. Andererseits fühlt sich ein Beschauer, der schon binnen wenigen Stunden in eine völlig andersartige Umgebung gebracht wird, ganz besonders zu Vergleichen angeregt. Er lernt auf die unterscheidenden Hauptmerkmale, auf große Umrisse und Formen achten und wird dadurch instandgesetzt, zum Gesamtcharakter, zum Aufbau des Geschauten durchzudringen⁵⁾. Dieser Zug zum Konstruktiven, zur verstandesmäßigen Befriedigung neben dem ästhetischen Lustgefühl⁶⁾ ist für unser Eisenzeitalter bezeichnend und tritt selbst in den Äußerungen des täglichen Lebens hervor: in einer Einschränkung des äußeren Aufputzes, in einer gewissen Breite und Schlichtheit der Kleidungsform, der Geräte, des Hausbaues.

Daß ein solcher Wandel in der ästhetischen Anschauung sich nur langsam vollziehen kann, ist nicht mehr als natürlich. Daß er sich insbesondere in der Stellungnahme zum Eisenbau nicht rascher zu erkennen gibt, hat seinen Grund darin, daß sich zunächst das statisch-konstruktive Gefühl der neuen Bauweise anzupassen hatte, d. h. daß Fachmann wie Laie erst ein Verständnis für die durch das Eisen eröff-

¹⁾ Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Vereins 1911, S. 769.

²⁾ Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1909, S. 1211. 1912, S. 1142. Deutsche Bauzeitg. 1908, S. 24. Zentralbl. d. Bauverwaltg. 1898, S. 42. Der Eisenbau 1911, S. 137; desgl. S. 373. Handb. d. Arch., 4. Teil, 2. Halbband, Heft 4. Neudeutsche Bauztg. 1912, S. 509. Technik u. Wirtschaft 1912, S. 593. Engin. Record 1901, Bd. 43, S. 97, 305. 1912, Bd. 66, S. 421, 447. The Builder 1901, S. 284. Wochenschr. d. Archit.- und Ing.-Ver. zu Berlin 1913, S. 46.

³⁾ Der Eisenbau 1910, S. 49.

⁴⁾ Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1909, S. 776. Schweiz. Bauzeitg. 1909, S. 316.

⁵⁾ Zentralbl. d. Bauverwaltg. 1911, S. 213, Abb. S. 214, 215.

⁶⁾ Rondelot, Kunst z. bauen, Taf. 153, 156.

⁷⁾ Kunstwart 1909, S. 358. Schweiz. Bauzeitg. 1909, S. 160

⁸⁾ Neudeutsche Bauzeitg. 1912, S. 806.