

## EISENKONSTRUKTIONEN DES 19. JAHRHUNDERTS IN GROSSBRITANNIEN

Giselher Hartung

Ich beschäftige mich vor allem als Architekt mit diesem Thema, d.h. mich interessiert das Entstehen architektonischer Gestalten. Da Architektur auch die Aufgabe hat, Aspekten unserer Umgebung eine Ordnung zu geben, werden an Bauwerken die Kräfte ablesbar, die zur Zeit ihrer Entstehung wirksam waren. Norberg-Schulz schreibt dazu in "Logik der Baukunst": "...Architektur ist ein Symbolsystem. Sie unterscheidet sich von anderen Symbolsystemen dadurch, daß sie die technische Verwirklichung als einen Teil des Systems einschließt". Die Bedeutung, die z.B. Technik und Material innerhalb einer baulichen Gestalt zukommen, lassen sich dann besonders deutlich ablesen, wenn u. a. technische Voraussetzungen sich ändern; wenn die Probleme, die neu gelöst werden müssen, groß, die Möglichkeiten dagegen beschränkt sind.

Dies war während der ersten industriellen Revolution im Bereich des Hochbaues der Fall.

Ich möchte an einigen Beispielen zeigen, wie neue Bauaufgaben - oder solche, mit neuer Bedeutung - und die Entwicklung der Eisenkonstruktion sich wechselseitig bedingen, wie sich aus diesem engen Zusammenhang neue bauliche Gestalten entwickeln.

Das Eisen war hierbei die Voraussetzung. Es hat - wenn es seinen unterschiedlichen Materialeigenschaften entsprechend verwendet wurde - typenbildend gewirkt. Die Konstruktionen aber, angestoßen durch neue Bauaufgaben, gaben dem Bauen erst die neuen Grundlagen, auf denen unsere heutige Architektur steht. In den neuen oder neu bewerteten Bauaufgaben des 19. Jhs., die der monumentalen Architektur zugerechnet wurden und für die vor allem Architekten zuständig waren: Nationaldenkmäler, öffentliche Museen und Bibliotheken, Theater, wurde der Konflikt zwischen den Formen der Eisenkonstruktionen und den überlieferten Formauffassungen deutlich. Die neuen Bauaufgaben, die vor allem das Entstehen einer eigenständigen Eisenkonstruktion vorantrieben: Brücken, Bahnhöfe, Ausstellungsbauten, Markthallen, Warenhäuser, Industriebauten brachten dagegen eine mit der neuen Bautechnik übereinstimmende Formensprache hervor. Hans Sedlmayr bescheinigt diesen Bauten in seinem Buch: "Verlust der Mitte": "...sie überträfen moderne Bauten durch das harmonische Gleichgewicht zwischen gegenwartsnaher Berücksichtigung des Zwecks und einer menschlichen Würde ihrer Haltung, die später nicht wieder erreicht worden ist".

Die mit den neuen Bauaufgaben verbundenen funktionellen Forderungen waren: stützenlose Überdachung großer Freiräume; Leichtigkeit und Transparenz der äußeren Raumabschlüsse; Veränderbarkeit der Grundrisse in Geschoßbauten. Konstruktionen aus traditionellen Materialien: Stein und Holz waren nicht für optimale Lösungen geeignet. Dies war nur mit Eisen möglich. Alle wesentlichen Verbesserungen des Eisenhüttenwesens seit Beginn des 18. Jhs. gehen von England aus und sind eng verknüpft mit der Familie Darby und den Erz- und Kohlegruben Coalbrookdales. Ihnen gelang 1709, spätestens ab 1735 Steinkohle in Koks umzuwandeln, um damit die immer knapper werdende Holzkohle zum Erschmelzen des Eisens zu ersetzen. Die vom Newcomen erfundene und 1712 erstmals in einem Bergwerk in Cornwall aufgestellte Dampfmaschine, die von Smeaton, Watt und Boulton in den folgenden Jahren weiter verbessert wurde, ermöglichte eine kostengünstige Förderung von Kohle auch aus tieferen Stollen.

Damit waren Voraussetzungen für die enorme Steigerung der Kohle und der Gußeisenproduktion gegeben.

Die Produktion und Verarbeitung von Schmiedeeisen in großen Mengen gelang erst mit dem Puddelverfahren durch Henry Cort, 1784, und der Möglichkeit, aus Schmiedeeisen Profile zu walzen, um 1820. Der Straßenbau und das Kanalsystem, mit dessen Bau in Großbritannien 1761 nach französischem Vorbild begonnen wurde - es umfaßte 1830 3.000 Meilen Kanäle - schafften die notwendige Infrastruktur zur Verteilung von Eisen und Kohle.

England ist seit dem Frieden von Paris 1763, in dem ihm die nordamerikanischen Kolonien zugesprochen wurden, für den Kontinent zur kunst- und kulturbestimmenden Nation geworden. Dies bleibt bis ins frühe 19. Jh. so. Die historische Wirkung des während dieser Epoche in Großbritannien entstandenen Eisenbaus reicht bis in unsere Gegenwart (Wiederentdeckung der Passagen, glasgedeckte öffentliche Räume, das Centre Pompidou). Die konstruktiven Grundlagen für die Entwicklung selbständiger Eisenkonstruktionen wurden in einer ersten Phase etwa zwischen 1760-1830 geschaffen. Zu der ersten Phase der Eisenkonstruktionen gehören Ingenieure wie: John Smeaton, Thomas Telford, Samuel Brown,

George Stephenson,

Architekten wie: John Nash, John Soane und Hüttenmänner wie: Abraham Darby und John Wilkinson.

Diese Phase ist gekennzeichnet vom Austausch der traditionellen Materialien Stein und Holz durch Gußeisen.

Vor 1770 waren die Wände von Gebäuden aus Holzständern mit Ausfachungen oder massivem Mauerwerk, Decken und Dach aus hölzernen Balken, Bindern oder steinernen Gewölben. Zur Dachdeckung dienten als Wetterschutz Stroh, Schiefer, Ziegel, Blei. Die Konstruktionen konnten vor allem Druckkräften widerstehen. Die Eisenkonstruktionen brachten grundsätzlich andere Möglichkeiten.

Brückenkonstruktionen sind die spektakulären Marksteine in der Verwendung des Eisens. Nach dem gescheiterten Versuch von Gouffon und Monpetit, 1755 eine gußeiserne Brücke über die Rhone bei Lyon zu schlagen, gossen und errichteten Abraham Darby der 3. und John Wilkinson nach einem Entwurf des Architekten Thomas Farnolls Pritchard 1777-1779 die Brücke in Coalbrookdale; Spannweite: 30,5 m.

Damit hatten die Darbys Gußeisen als Konstruktionsmaterial eingeführt. Die Verwendung halbkreisförmiger Bogen mit oberliegender Fahrbahn ist aus dem Steinbau abgeleitet. Die Art, wie die fünf nebeneinander liegenden Bogen untereinander und mit dem Widerlager verbunden sind, sowie die gesamte Erscheinung des Gerippes erinnern dagegen an eine Holzkonstruktion: Gußeisen als effizienterer Ersatz der traditionellen Baumaterialien. Das gußeiserne "Zimmermannswerk" erwies sich von Statik, Gießtechnik und der Montage her als sehr kompliziert und ungesichert, für größere Spannweiten schließlich als ungeeignet. Beispielhafte Konstruktionen für große Spannweiten in Gußeisen entwickelte Thomas Telford mit seinen Brücken bei Craigellachie über den Spey 1814, Spannweite 150 Fuß (45 m) und bei Tewkesbury, die Mythe-Brücke, 1823-26, Spannweite 170 Fuß, ca. 51 m. Die vier aus Teilen zusammengesetzten Bogenrippen der Brücke bei Craigellachie sind durch horizontale Aussteifungen untereinander zu Bogensegmenten verspannt. Interessant ist die Verbindung der diagonalen Streben in den Zwickeln (Spandrillen) mit dem Bogen und den Fahrbahnträgern nur durch Nuten und Zapfen.

1963-1964 mußte das Eisenwerk bis auf den Bogen unter Beibehaltung des ursprünglichen Erscheinungsbildes durch Stahlteile ersetzt werden. Die von Telford gefundene Lösung, die er auch mit geringen Abwandlungen für die Mythe-Bridge angewendet hat, war für spätere Brücken noch von Bedeutung. Beispiele: Straßenbrücke über den Spey bei Carron, 1863, von Mc Kinnon and Co., Spannweite 153 Fuß, ca. 45,6 m.

Die bisher besprochenen Brücken waren Straßenbrücken. Allein in Schottland wurden während dieser ersten Phase innerhalb von 25 Jahren unter

der Leitung von Thomas Telford 1200 Brücken gebaut. Dies weist auf die Bedeutung hin, die dem Transportwesen zugewachsen war. Analog zur Übersetzung des steinernen Bogens in Gußeisen, entstanden auch gußeisernerne Kuppeln. Der in ihrer Eleganz einmaligen Kuppel über der Halle aux Blés in Paris von Bélanger und Brunet, 1811-12, hat England nichts vergleichbares entgegenzusetzen. Das große Conservatory in Park von Syonhouse soll als Beispiel für eine frühe eiserne Kuppelkonstruktion stehen. Die auf einem tambourähnlichen Unterbau stehende Kuppel wird - unabhängig von den Fassadenmauern - über gestelzten Bögen von 12 Säulen getragen. Das Material aller Teile ist Gußeisen. Neben den gußeisernen Bögen und die gußeisernerne Kuppel treten zeitlich noch vor der Coalbrookdalebridge gußeisernerne Stützen und Balken. Die Stütze erschien zunächst nach klassischem Vorbild als runde Hohlssäule. Die erste in England verwendete gußeisernerne stand in der Kirche St. Anne, Liverpool, 1770-1772. Vorbild des eisernen Balkens ist die gußeisernerne Schiene. Ab 1780 werden gußeisernerne Stützen vor allem in den Textilfabriken verwendet, da sie höhere Festigkeit als Holz aufweisen und damit geringere Dimensionen ermöglichen. Schwere Maschinen konnten so in Stockwerken übereinander aufgestellt werden. Vor allem aber die Feuersicherheit drängte zur Verwendung von Gußeisen. Neben hohlen, runden werden auch massive, kreuzförmige Stützen verwendet.

Ich möchte Ihnen als Beispiel für eine solche Konstruktion nicht das erste, noch existierende gußeisernerne Skelett mit massivem Mauerwerk, die Flax-Mill in Shrewsbury - Ditherington von Bage, 1796-97 zeigen, sondern ein Lagerhaus in den Dockyards von Sheerness, das den Endpunkt dieser Bauweise darstellt. "Quadrangle Store" ist ganz aus nichtbrennbaren Materialien errichtet, also "fireproof". Türen, Fenster, die Dachkonstruktion sind ebenso aus Gußeisen wie Säulen und Deckenbalken. Typisch für Gußeisen sind die Schraub- und Steckverbindungen, sowie der Querschnitt der Deckenbalken. Da Gußeisen Zugkräfte in viel geringerem Maße als Druckkräfte aufnehmen kann, muß die Zugzone gegenüber dem Obergurt verbreitert werden. Die Trägerquerschnitte entsprechen auf den Kopf gestellten "T".

Während in Frankreich bereits in dieser ersten Phase der Entwicklung der Eisenkonstruktionen Schmiedeeisen vor allem für biegebeanspruchte Konstruktionselemente verwendet wurde (Pariser Roste, 1785 von Ango; Dachkonstruktion über dem Treppenhaus im Louvre, 1779-81 von Soufflot; Deckenkonstruktion des Théâtre Français, 1786 von Victor Louis) verdrängte in Großbritannien Gußeisen bis in die 60er Jahre des 19. Jhs. Schmiedeeisen aus dem Skelettbau. Dabei waren die Materialeigenschaften von Schmiedeeisen auch in dieser frühen Phase in England sehr wohl bekannt. Es wurde ganz selbstverständlich in hölzernen Dachbindern als Hilfsmaterial eingesetzt, oder als Unterspannung zur Entlastung von hölzernen und gußeisernen Balken verwendet (z.B. Paxton-Rinne). Karl Friedrich Schinkel brachte von seiner Englandreise 1826 Skizzen eiserner Hängewerksdächer mit, die typische englische Binder zeigen. Die Konstruktionsglieder sind klar nach ihren Funktionen unterschieden. Die auf Druck beanspruchten Sparren und Streben haben Rechteckquerschnitte; Hängesäule und horizontaler Balken sind als Zugstangen ausgebildet. In dieser Konstruktion wird eine Tendenz spürbar, die wir besonders in der zweiten Phase zwischen 1830 und 1870 in vielen anderen Konstruktionen wiederfinden, und die eine Seite der Architektur im 19. Jh. zeigt: Reduzierung der konstruktiven Elemente auf ein Minimum. Leichtigkeit und Transparenz sind Gründe, warum diese Konstruktionen heute noch für Architekten von Interesse sind.

#### Aber:

Die gußeisernen Skelettkonstruktionen hatten sich bewährt, Profile und Stützen waren preiswert und in großer Zahl verfügbar. Auch Dachstühle ließen sich ganz aus Eisen konstruieren, wie wir gesehen haben. So bestand für die britische Eisenindustrie kein Anlaß, die Entwicklung schmiedeeiserner Konstruktionen voranzutreiben. "Why change"!? Nur so ist es zu erklären, wie noch 1851 bei einem gerade konstruktiv so epochemachenden Gebäude wie dem Kristallpalast, alle 7,30 m langen Gitterträger aus Gußeisen hergestellt werden konnten. Sutherland faßt diese unterschiedliche Entwicklung auf dem Kontinent - speziell in Frankreich - und den britischen Inseln zusammen, wenn er schreibt, daß Eisen in Frankreich mit Schmiedeeisen gleichgesetzt wird, in England dagegen mit Gußeisen. Die spektakulärsten Konstruktionen dieser frühen Phase sind sicherlich die Hängebrücken: Kettenbrücken, Gliederkettenbrücken, Drahtseilbrücken.

Für diese Bauaufgaben gab es nur ein Material: Schmiedeeisen, das dann am effizientesten eingesetzt ist, wenn es ausschließlich Zugkräfte zu übertragen hat. Schmiedeeisen stand in genügender Menge erst nach der Erfindung des Puddelverfahrens 1784 durch Henry Cort zur Verfügung. Die erste Kettenbrücke wurde 1741 bei Winch, Durham, über den Tees geschlagen. Der Brückenbelag lag direkt auf den straff gespannten Ketten, die gegen zu starke Schwankungen aus Last- oder Windbeanspruchung durch zusätzliche Ketten gesichert war. Die verschiedenen Systeme, die für Hängebrücken vorgeschlagen wurden, sind vor allem durch den Versuch bestimmt, dieses Problem in den Griff zu bekommen. Die älteste, als Straßenbrücke heute noch bestehende Hängebrücke in Großbritannien ist die Union Bridge bei Norham Ford, die am 26.7.1820 eröffnet wurde. Spannweite: 449 Fuß, ca. 134,70 m. Ing.: Samuel Brown. Die Ketten bestehen aus schmiedeeisernen Rundstäben mit Augen an beiden Enden. Die Union Bridge ist heute im Prinzip unverändert. Zur Entlastung der Ketten wurden lediglich zwei zusätzliche Stahlkabel angeordnet. Menai-Bridge ist die erste große Hängebrücke. Sie ist heute noch die wichtigste Straßenverbindung vom britischen Festland zur Insel Anglesey mit dem Hafen Holyhead als Ausgangspunkt der Überfahrt nach Irland. Thomas Telford entwarf sie von 1817-18. Baubeginn war 1819, Eröffnung am 30.1.1826. Sie hat eine Spannweite von 580 Fuß, ca. 180 m. Die Kettenglieder aus Flacheisen sind wesentliche Neuerungen gegenüber der Union Bridge. Sie sind 9 Fuß, ca. 2,70 m lang, 9,2 cm hoch und 2,5 cm stark. William Hazeldine aus Shrewsbury lieferte sie. Bis auf die Preiler wurde die gesamte Konstruktion 1939 erneuert. Bis dahin war es nicht gelungen, die von Telford nicht vorgesehene Längsaussteifung der Fahrbahn durch konstruktive Ergänzungen zu erreichen. Zudem war die alte Konstruktion der ständig zunehmenden Beanspruchung nicht mehr gewachsen. Bei der Erneuerung wurde das äußere Erscheinungsbild weitgehend erhalten. Neu gegenüber dem Telford-Entwurf sind der aussteifende Längsträger und die auskragenden Fußwege zu beiden Seiten der Fahrbahn. Vor allem wurden die ursprünglich 16 Ketten, die in Strängen zu je 4 übereinanderliegend angeordnet waren, auf 2 Stränge mit je 2 stählernen Ketten übereinander reduziert.

Die zur gleichen Zeit, 1822-26, von Telford erbaute Hängebrücke über den Conway übernimmt die Prinzipien der Menai-Bridge, hat aber eine Spannweite von nur 327 Fuß, ca. 89,10 m. Sie ist im Originalzustand erhalten und zeigt, wie die Ketten der Menai-Bridge ursprünglich angeordnet waren.

Dieser Überblick bis etwa zum Jahr 1830 sollte an einigen Beispielen exemplarisch die tastenden Versuche zeigen, die in Großbritannien notwendig waren, um Eisen seinen Eigenschaften entsprechend als Bogen,

Kuppel, Stütze, Balken, Dreiecksbinder und Hängekonstruktion einzusetzen. Diese Entwicklung verlief, wie z.B. bei den Fabrikbauten und Hängebrücken immer dann besonders schnell, konsequent und erfolgreich, wenn die Probleme groß und eindeutig waren, die Lösungen weitgehend unabhängig von tradierten Formvorstellungen aus den inneren Bedürfnissen der Aufgaben selbst entwickelt werden konnten.

In dieser Phase des Suchens und Entwickelns wurden die Grundlagen für neue architektonische Gestalten geschaffen, die sich in den folgenden Phasen von 1830 bis 1850 und einem zweiten Abschnitt bis 1870 endgültig herausbildeten. Alle bemerkenswerten konstruktiven Leistungen des 19. Jhs. gründeten dabei auf das Eisen. Die Neuerungen in der Verwendung von Holz, Stein und schließlich gegen Ende des Jahrhunderts von Beton zeigten nur wenig Auswirkung.

Kennzeichnend für diese zweite Phase sind die Entwicklung des eisernen Fachwerkes und des selbständigen Skelettbaus. Es entstanden Konstruktionen neuer Qualität. Diese Konstruktionen entwickelten sich im wesentlichen an Bauaufgaben der Eisenbahn:

1. Die Vorläufer der gußeisernen Balken waren Schienen - die ersten Schienen wurden bereits 1767 von den Darbys in Coalbrookdale gegossen.
2. Die ersten gewalzten Profile, die für den Hochbau von grundlegender Bedeutung waren - ca. 1820 -, waren wiederum Eisenbahnschienen. Gebrauchte Schienen wurden aus Kostengründen gerne direkt als Balken in den Textilfabriken verwendet.
3. An den für den Eisenbahnbau notwendigen Brücken bildeten sich wichtige Prinzipien des eisernen Fachwerkes heraus.
4. Mit Bahnhofshallen, Werkstätten, Lokschuppen stellten sich dem Hochbau selbst eine Reihe von Bauaufgaben.

Die Dampfmaschinen, 1712 von Newcomen als Pumpe entwickelt, die tiefe Schächte der Bergwerke von Wasser freihalten sollte, wurde durch Watts Verbesserungen zum Standort unabhängigen Antriebs für Arbeitsmaschinen. 1802 reichte Richard Trevithick sein Patent für "eine Dampfmaschine zum Ziehen von Wagen" ein. Am 13.2.1804 fährt die erste Dampflokomotive auf gußeisernen Platten. 1825 wird die erste, vor allem dem Güterverkehr vorbehaltene, öffentliche Eisenbahnstrecke von Stockton nach Darlington eröffnet. Mit der Eröffnung der Strecke Manchester-Liverpool beginnt 1830 auch der regelmäßige Personenverkehr. Eisenbahnlinien können sich nicht wie Straßen weitgehend dem Geländeverlauf anpassen, vor allem was Steigungen und Kurvenradien betreffen. Die für eine optimale Trassenführung daher in großer Zahl notwendig gewordenen Brücken bringen den Eisenkonstruktionen entscheidende Impulse für die Bewältigung von großen Spannweiten.

Das Walzen von Schmiedeeisen, 1820 zur Herstellung von Schienen entwickelt, hatte seit 1830 zur Massenproduktion von Winkel- und T-Profilen "am laufenden Band" geführt. Aus ihnen wurden alle denkbaren Formen von Trägern zusammengesetzt. Das epochemachende Beispiel einer Brücke aus solchen Trägern ist die Britannia-Eisenbahnbrücke über die Menai-Straits, 1846-1850, von Robert Stephenson, dem Sohn Georg Stephensons, unter der Assistenz von Fairbairn und Hodgkinson. Die Hauptspannweiten der Kastenträger betragen 460 Fuß, ca. 140 m. Die für lange Zeit längste Eisenbahnbrücke der Welt mußte 1970 nach einem Brand abgerissen werden.

Die zweite Kastenträgerbrücke gleichen Typs wurde von Stephenson zur gleichen Zeit mit einer Spannweite von 412 Fuß, ca. 124 m, über den Conway, unmittelbar neben der Kettengliederbrücke von Thomas Telford, errichtet. Diese zweite Brücke war 1848 vollendet, Testfall für die wesentlich größere Britannia-Brücke.

Dem Entwurf Stephensons gingen 1845 Testreihen von Fairbairn und

Hodgkinson voraus, um die Festigkeitseigenschaften von Guß- und Schmiedeeisen, sowie den optimalen Röhrenquerschnitt zu ermitteln. Damit flossen zum ersten Mal in Großbritannien wissenschaftlich gesicherte Erkenntnisse in eine Ingenieurkonstruktion ein - hundert Jahre nach dem in Paris 1747 bereits die Ecole des Ponts et Chaussées gegründet worden war. Cullmann kritisierte die späten Versuche britischer Ingenieure als unnötig und warf ihnen mangelnde theoretische Kenntnisse vor. Es käme ja doch nichts anderes raus, was nicht schon längst in jedem Lehrbuch der Mechanik zu finden sei. Ich meine, dies kennzeichnet deutlich die unterschiedlichen Vorgehensweisen britischer Ingenieure und ihrer Kollegen auf dem Kontinent.

Trotz fehlender theoretischer Kenntnisse konstruierte Robert Stephenson - wenn auch unbewußt - beim Bau der Britannia-Brücke den ersten Durchlaufträger, als er die vier hintereinander liegenden Röhren zu einer einzigen zusammennietete. Und die statischen Möglichkeiten des von ihm entwickelten Kastenträgers wurden erst 100 Jahre später im Brückenbau mit Erfolg wieder angewendet.

Entscheidend für die Entwicklung selbständiger, schmiedeeiserner Konstruktionen um 1850 war aber die Verwendung gewalzter Profile für eine Konstruktion von der Spannweite der Britannia-Brücke. Den nächsten Schritt im Brückenbau hin zum Fachwerkträger verhinderte Robert Stephenson in Großbritannien durch sein persönliches Votum. Erst auf der Weltausstellung 1862 in London, auf der ein Modell der Dirschauer Gitterträgerbrücke gezeigt wurde, erkannte man, daß mit diesem System die Kosten für die Britannia-Brücke hätten halbiert werden können. Die ersten, vor allem von den amerikanischen Ingenieuren Whipple, Howe und Pratt entwickelten Träger mit parallelem Ober- und Untergurt, stammen aus den 40er Jahren des 19. Jhs.. In Großbritannien waren - das zeigen die schmiedeeisernen Fachwerkträger des Kristallpalastes - zumindest seit 1850 - die Größe und der Verlauf der Kräfte in einem solchen Fachwerkträger bekannt und bestimmbar; unverständlich spät, wenn man an Palladios Darstellung eines deutschen Fachwerkes von 1570 denkt.

Eine andere, ingenieurtechnische Bauaufgabe im Zusammenhang mit der Ausbreitung der Eisenbahn, die der Entwicklung vom gußeisernen Bogen zum schmiedeeisernen Bogenbinder und vom hölzernen Hängewerk zum Fachwerk wesentliche Impulse gab, waren die Bahnhofshallen. Georg Stephenson, dessen Dampflokomotive "Rocket" auf der Strecke Manchester - Liverpool eingesetzt war, baute in Liverpool 1830 mit J. Forster den ersten Bahnhof: Crown Street Station. Er bestand aus einem parallel zu den Schienen errichteten Gebäude, das Wartesäle, Fahrkartenvorverkauf, Büro- und Wohnräume enthielt. Der Bahnsteig war überdacht mit einem hölzernen Hängewerk, Spannweite 9,10 m. Die ersten Bahnsteigüberdachungen in England bis in die 40er Jahre des 19. Jhs. blieben solche hölzernen Hängewerke: Neben dem Dach der Crown Street Station die Dächer der Bahnhöfe Lime Street I, Liverpool, 1836; Nine Elms, London, 1837-1838. Danach ersetzten eiserne Hängewerke, meist in Form des "englischen Binders" die schweren hölzernen Konstruktionen: Euston Street Station, London, 1835-1839; Curzon Street Station, Birmingham, 1839; Grijunct Station, Derby, 1839. Die effizienteste Form des Dreieckbinders entwickelten auf dem Kontinent Wiegmann und Polonceau zwischen 1836 und 1839. Während für die französischen Bahnsteighallen vor allem diese Form des Binders Verwendung fand, bevorzugten britische Ingenieure für ihre Hallen bogenförmige Binder. Die gewölbten Dächer ermöglichen zwar eine größere räumliche Vielfalt, sind aber unökonomischer als die knapperen und leichteren französischen Konstruktionen. Die Bogenformen kamen sicher den formalen, historisierenden Vorstellungen des 19. Jhs. ganz besonders entgegen.

Bogenbinder fanden in drei Grundtypen Verwendung:

1. Als Blechbinder,
2. als unterspannter Bogen,
3. als Fachwerkbogen.

Einen gewalzten Bogenbinder verwendete John Dobson zum ersten Mal für die Bahnhofshalle des Central Station, New Castle, 1846-55, Spannweite zwischen 17-20 m. Eine vergleichbare Anlage entsteht 1871 in York von Prosser, der auch in New Castle mitgearbeitet hatte. Farbigkeit, vergrößerte Glasflächen und Ornamentierung der Binder ergeben das vergleichsweise elegantere, leichtere Erscheinungsbild gegenüber der Halle von New Castle. Kings Cross Station, London, 1851-52 von Lewis Cubitt, überrascht vor allem durch seine ganz von den beiden Hallen geprägte Fassade. Die ursprünglich hölzernen, nach dem Emy-System aus verbolzten Brettern geformten, halbkreisförmigen Binder wurden 1870 durch schmiedeeiserne Binder ersetzt, ohne dadurch das Erscheinungsbild zu verändern. Weitere eindrucksvolle Beispiele für die Verwendung dieser hölzernen Ingenieurkonstruktionen sind die zentrale Halle des Smithfield Marktes, London, 1867-68 von Horace Jones, und des Royal Scottish Museums, Edinburgh, von Matheson. Auch Paxton hatte im Crystal Palace bogenförmige Bretterbinder benutzt.

Eine der eindrucksvollsten Bahnhofshallen überhaupt, die mit gewalzten Blechbindern überwölbt wurde, konstruierte Isambard Kingdom Brunel für Paddington Station II, 1852-54, in London. Brunel hatte im Büro seines Vaters bereits am ersten Themsetunnel mitgearbeitet, war 1831 im Wettbewerb um die Clifton Hängebrücke vor Thomas Telford Sieger geworden - sie wurde erst 1859 nach seinem Tode fertiggestellt - hatte Robert Stephenson beim Bau der Britanniabrücke unterstützt, 1852 eine Eisenbahnbrücke bei Chepstow über den Wyefluß errichtet und den Entwurf der Brücke über den Tamar bei Saltash fertiggestellt. Zur Mitarbeit bei dieser Bahnsteighalle konnte er den Architekten Mathew Digby Wyatt gewinnen, dem die dekorative Ausschmückung übertragen wurde; außerdem Owen Jones, der die Farbigkeit des Crystal Palace ausgearbeitet hatte, für das leider verlorengegangene Farbkonzept. Zuständig für die Eisenkonstruktionen waren Fox und Henderson, die gerade die Errichtung des Crystal Palace erfolgreich abgeschlossen hatten. Das Mittelschiff der ursprünglich dreischiffigen Anlage hat eine Spannweite von rund 31 m, die beiden Seitenschiffe von je 21 m. Zwei Querschiffe, die stichkappenartig in die Längstonnen einschneiden, sind Teile der Längsaussteifung. Die Glaseindeckung macht die gewölbte Konstruktion ablesbar. 1916 wurde das vierte Schiff über der Droschkenvorfahrt hinzugefügt. Für die weiter anwachsenden Spannweiten waren Blechbinder nicht mehr geeignet.

Hierfür besser geeignet war der zweite Typ der Bogenkonstruktion, der unterspannte Bogen. In ihm wurden Prinzipien des dreieckigen Fachwerkbinders weiterentwickelt. Solche Bogen in Form von Sichelbindern wurden verwendet für das tonnenförmige Dach der Londonbridge Station aus dem Jahre 1844 und das Dach des Bethnal Green Museums, 1854-54 als Museum of Science and Arts von C.B. Young and Son in Kensington errichtet und 1871 nach Bethnal Green gebracht.

Fenchurch Street Station, 1853-54 London, von George Berkeley, Spannweite 32 m, weist in Form und Ausförmung einen Sichelbinder auf, der dem berühmten Binder der Lime Street Station II sehr nahe kommt. Ihn konstruierte der Dubliner Eisengießer Richard Turner 1847 mit der damals enormen Spannweite von 47 m. Turner hatte mit seinen Gewächshäusern in Belfast 1839, Dublin 1843, und vor allem dem Great Palmhouse in Kew Gardens, 1845-48, neben Josef Paxton mit seinem Gewächshaus in Chatsworth, 1836, und dem Crystalpalace, 1851, das Bauen mit Eisen und Glas grundlegend beeinflusst. "Ein großes Gewächshaus sollte sie sein, zugeschnitten auf die Bedürfnisse der Eisenbahn", so erläuterte

z.B. Brunel seine Vorstellungen zum Aussehen der in Planung befindlichen Bahnhofshallen von Paddington Station. Turners Gewächshäuser sind u.a. Beispiele des gleichberechtigten Nebeneinanders von Guß- und Schmiedeeisen in ihren unterschiedlichen Materialeigenschaften. Das vor allem auf Druck beanspruchbare und auf Grund seines Formfüllungsvermögens ohne großen Mehraufwand künstlerisch bearbeitbare Gußeisen wurde für Säulen oder dekorativ zu behandelnde Teile verwandt - das schmiedeeiserne gewalzte T-Profil oder der geschmiedete Rundstab dann, wenn Zug- oder Biegekräfte übertragen werden mußten. Turner schuf damit sinnvoll differenzierte, für den Betrachter - weil frei von Willkür - nachvollziehbare, einsehbare bauliche Gestalten. Die Gliederung der Konstruktion in Einzelelemente, die so ihren speziellen Aufgaben entsprechend geformt sein können, bringen den Gebäuden eine Maßstäblichkeit, die der der ausgestellten Pflanzen entsprechen.

Diese Auffassung vom konstruierenden Entwerfen zeigt auch die Bahnhofshalle von Victoria Station 1859-66, Spannweite ca. 40 m, für die Robert J. Hood den dritten Bogentyp verwendete: den Fachwerkbogen. Damit war für Bogen mit großen Spannweiten die günstigste Konstruktionsform gefunden; Voraussetzung für den Bau der monumentalen Bahnhofshallen im letzten Drittel des 19. Jhs.. Die Halle von St. Pancras, London, 1868 fertiggestellt von den Ingenieuren Peter William Barlow und E.N. Ordish, war mit einer Spannweite von 71,40 m die erste dieser monumentalen Hallen und blieb für lange Zeit auch die größte. Wie zuvor in den Gewächshäusern von Paxton und Turner, sind die Binder direkt auf den Hallenboden gesetzt und heben damit die Trennung von Wand und Decke auf. St. Enoch Station, Glasgow, von W. Blair und E.N. Ordish, 1875-76, vor zwei Jahren abgerissen, und Manchester Central Station, von L.H. Morrison, 1877-78, heute als Parkplatz genutzt und vom Verfall bedroht, sind direkte Nachfolger von St. Pancras.

Die Weiterentwicklung des Fachwerks ging ab Mitte der 60er Jahre mit der Einführung von Gelenkträgern und Gelenkbogen für Brückenkonstruktionen und weitgespannte Hallen vom Kontinent aus. Gleiches gilt für die Weiterentwicklung der frühen gußeisernen Kuppelkonstruktionen hin zur statisch räumlich wirkenden Fachwerkkuppel (z.B. Schwedler Kuppel). In Großbritannien bleibt das System der guß- oder schmiedeeisernen Rippenkuppeln formbestimmend. Es entstehen in Verbindung mit repräsentativen Bauten, die auf viel Licht oder auf Licht von oben angewiesen sind, wie z.B. Wintergärten, Passagen, Börsen, Bibliotheken usw., sehr reizvolle Konstruktionen: Z.B. Kibble Palace, Glasgow, 1873; John Kibble Barton Arcade, Manchester, 1871-73; Corn Exchange, Leeds, 1860-63, von Cuthbert Brodreck; Royal Exchange, London 1880, Charles Barry.

An den Schluß dieses Überblickes, der die Herausbildung typischer Eisenkonstruktionen zeigen sollte, möchte ich den "Boat-Store" in Sheerness, 1858-1860, von G.T. Greene, stellen. Unbestritten ist der Crystal Palace von Paxton mit Fox und Henderson als Unternehmern - alle Konstruktionszeichnungen wurden in 7 Wochen von Charles Fox ausgearbeitet - der erste, rechtwinklige, selbständige Eisenskelettbau und hat außerordentlich stimulierend auf die Ausbreitung der Eisenkonstruktion gewirkt, was Konstruktion, Formensprache, Raumeindruck, Montage, Vorfertigung betreffen. Aber den Boat Store scheinen schon auf den ersten Blick mehr als nur 8 Jahre vom Crystal Palace zu trennen. Die Eisenskelettbauten, die bereits vor dem Crystal Palace und dem Boat Store zu selbständigen Konstruktionen entwickelt wurden, hatten - zurückgehend auf die Iron Bridge - den Bogen als konstruktives Element. Es entstanden die großen, lichtdurchfluteten Hallen.

Im Geschoßbau dauerte diese Entwicklung länger. Hier konnten die Vorzüge der Skelettbauweise erst dann voll genutzt werden, als die mas-

siven Umfassungsmauern konstruktiv nicht mehr z.B. zur Längs- und Queraussteifung notwendig waren. Dies konnte z.B. durch kreuzförmig angeordnete Windverbänder erreicht werden: Greene demonstrierte im Boat Store, daß es auch möglich war, das eiserne Gerüst allein durch biegesteife Verbindungen zwischen Trägern und Stützen zum Stehen zu bringen.

A.W. Skempton weist in seinem Vortrag "The Boat Store, 1851-60, and its Place in Structural History", London 1960, darauf hin, daß Greene aus der Konstruktion des Bethnal Greene Museums die entscheidenden Anregungen für seinen Boat Store gewonnen hat. Die Gründe, die G.T. Greene bewogen haben, für die Dockyards von Sheerness einen Eisenskelettbau vorzusehen, waren: Kürzere Bauzeit, geringere Lasten für die Fundamente - das ganze Dock mußte auf Pfählen gegründet werden - und bessere Belichtungsmöglichkeiten. Die ausgezeichnete Detaillierung, so beurteilt A.W. Skempton Greene's Bauwerk in seinem o.a. Vortrag, brauchte den Vergleich mit den Details Mies van der Rohe für die Appartements am Lake Shore Drive in Chicago nicht zu scheuen.

Der Boat Store stellt einen Höhepunkt in der Entwicklung des mehrgeschossigen Skelettbaus in Großbritannien dar, an den die Stahlskelettkonstruktionen der Chicago School anknüpfen.