



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Stahltragwerke im Industriebau in der historischen Entwicklung

Bachelor Thesis – Fachbereich Bauingenieurwesen

Mathias Küster

Prof. Dr.-Ing. H.-U. Hoch
Prof. Dr.-Ing. G. Bolle

urn:nbn:de:gbv:519-thesis2010-0146-1

Inhaltsverzeichnis:

1. Stahltragwerke im Industriebau	4
1.1 Einleitung	4
1.2 Entwicklung der Stahltragwerke bis zum Kristallpalast	5
1.3 Der Kristallpalast in London	9
1.4 Die Maschinenhalle der Pariser Weltausstellung	16
1.5 Zeche Zollern 2/4	21
1.5.1 Die Maschinenhalle	22
1.5.2 Die Fördergerüste	27
1.6 Die Gewächshäuser im botanischen Garten in Berlin	29
1.7 Personenaufzug Bad Schandau	34
1.8 Die AEG – Turbinenhalle	37
1.9 Das Schiffshebewerk in Niederfinow	40
2. Der Wiegmann-Polonceau-Träger	50
2.1 Entstehung des Systems	51
2.2 statische Modellbildung und Berechnung des Polonceau-Trägers	53
2.3 Bauwerke mit dem Wiegmann-Polonceau System	54
3. Die Entwicklung der Stahltragwerke für Bahnhofshallen	58
3.1 Bahnhofshallen in Deutschland	62
4. Zusammenfassung	71
5. Literaturverzeichnis	72
6. Bilderverzeichnis	75

1. Stahltragwerke im Industriebau

1.1 Einleitung

„Mit der Einführung der Eisenbauweise wurde eine Umwälzung in der Bautechnik vollzogen. Die historischen Baumaterialien Stein und Holz mussten dem wichtigsten Werkstoff der Epoche der industriellen Revolution, dem Eisen, weichen.

Neuartige Produktionsweisen führten zu einer gewaltigen Ausweitung und einem enormen Anstieg der Produktion, verbunden mit qualitativ neuen Anforderungen an die Erstellung von Trag- und Hüllkonstruktionen der technologischen Ausrüstungen.

Gleiche Bedeutung erlangte die Schaffung von zuverlässigen und schnellen Transportwegen. Diese Aufgabenstellungen konnten durch die herkömmlichen Baustoffen Stein und Holz nicht mehr in vollem Umfang erfüllt werden.

Zu Beginn des 19. Jahrhunderts stand das Eisen in erster Linie als sprödes, vorzugsweise auf Druck beanspruchbares Baumaterial (Gusseisen) zur Verfügung. Die Bezeichnungswiese unterlag dabei im Laufe der Zeit einer Veränderung. Der Begriff Stahl im heutigen Sinne wurde erst im Jahre 1924 eingeführt. Bis dahin bezeichnete man das schmiedbare Eisen, das härtbar ist, als „Stahl“ (mit dem Zusatz der Herstellungsart: Schweiß-, Flusstahl) und das nicht härtbare als „Eisen“.

Die Eisenkonstruktionen blieben allerdings noch Einzelbeispiele, da die Eisenpreise relativ hoch und nur sehr wenige Ingenieure in der Lage waren, das Material ökonomisch zu zuverlässigen Konstruktionen zu verarbeiten.

Ein allgemeiner Aufschwung setzte zu Beginn der 40er Jahre des 19. Jahrhunderts ein. Das konstruktiv dem Gusseisen überlegene Schweißisen wurde aufgrund stark fallender Eisenpreise wirtschaftlich anwendbar.“ [1]

In dieser Arbeit wird die Entwicklung der Stahltragwerke im Industriebau dargestellt. Es werden ausschließlich Bauwerke im Hochbau und keine Brücken betrachtet. Der Zeitraum auf den sich diese Arbeit bezieht beginnt in der Mitte des 19. Jahrhunderts etwa gegen 1850 und endet etwa kurz vor dem Beginn des 2. Weltkrieges 1939. Die Entwicklung bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts wird kurz erläutert.

1.2 Entwicklung der Tragwerke bis zum Kristallpalast 1851

Man kann sagen, dass sich der Hallenbau aus dem Brückenbau entwickelt hat, da hier erstmals große Spannweiten mit dem Material Eisen überwunden wurden. Die erste aus Eisen konstruierte Brücke entstand 1777 in Coalbrookdale in England (Bild 1). Es war die



Bild 1: Ansicht Coalbrookdale Brücke [19]

erste Eisenkonstruktion, die nach außen hin sichtbar war. Eisen war, wie schon in dieser Arbeit erwähnt, noch spröde und konnte nur auf Druck beansprucht werden. Seit den 1790er Jahren fand Eisen in der englischen Textilindustrie Verwendung im Innenausbau von industriellen Produktionsstätten und Lagerhallen. Es wurden dort die Holzkonstruktionen ersetzt, um mehr Raum für die Maschinen zu gewinnen und andererseits die Feuergefahr zu senken. Die Fortschritte in der statischen Entwicklung des Brückenbaus wirkten sich auch auf den Hallen- bzw. Stahlskelettbau aus. Die Baumwollspinnerei in Salford von 1801 verdient besondere Aufmerksamkeit. Es war das erste Beispiel für einen Hochbau, der aus gleichen vorgefertigten Elementen hergestellt wurde. Das Bauwerk war ein siebengeschossiger rechteckiger Fabrikbau mit massiven Umfassungsmauern und hatte Außenabmessungen von 42,67 X 12,80 m. Alle Stockwerke waren durch zwei Säulenreihen in drei Schiffe geteilt. Leider war über dieses Bauwerk keinerlei Bildmaterial ausfindig zu machen.

Die älteste erhaltene Industriehalle in Deutschland ist die Gießhalle der Sayner Hütte von 1830 (Bild 2). Sie ist nach der Brücke in Coalbrookdale konstruiert. Die Gießhalle zählt zu den beeindruckendsten

Industriebauten Europas.

1828 wurde mit den Bauarbeiten an der Gießhalle begonnen. Das Bauwerk besteht aus einer dreischiffigen Basilika mit sechs Säulenjochen und es war

24 m lang und 29 m breit.



Bild 2: Vorderansicht der Gießhalle der Sayner Hütte [18]

Konstruiert war die Halle aus hohl gegossenen Pfeilern und Bögen, die alle aus der Produktion der Sayner Hütte stammten. Die Halle wurde 1844 noch einmal um drei Säulenjoche erweitert, wodurch eine Länge von 43,30 m erreicht wurde. Gusseiserne, zu Spitzbögen angeordnete Zierrippen schmücken die verglaste Frontseite. Im Inneren des Bauwerks sind verschiedene Turmdrehkräne mit Kugellagermechanismus noch erhalten.

Die anfänglichen gusseisernen Tragwerke in Bogenform wurden bald durch eine fachwerkartige Bauweise

ersetzt. Dabei herrschten Mischkonstruktionen aus Holz, Guss- und Schweißisen vor.

Berühmt waren die englischen Stationshallen mit ihren „Kings and Queens post roofs“ (Bild 3)

und der französische

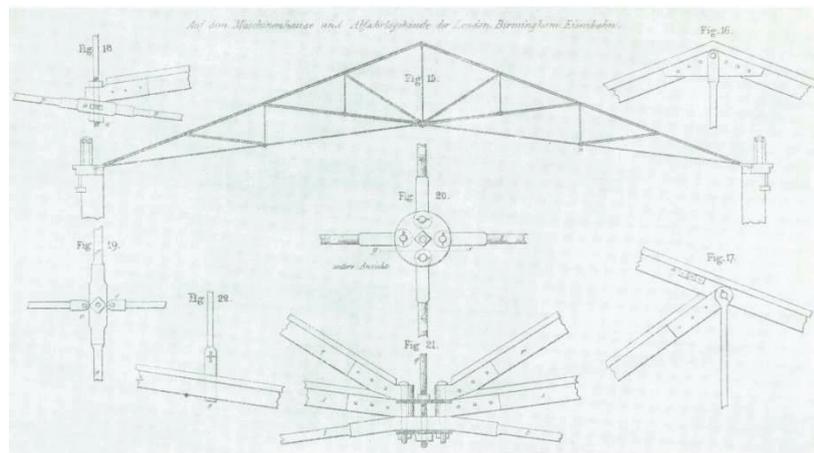


Bild 3: Englische Binderkonstruktion Kings and Queen post roof 1835 [20]

Polonceau Binder (Bild 4), auf den in dieser Arbeit noch genauer eingegangen wird.

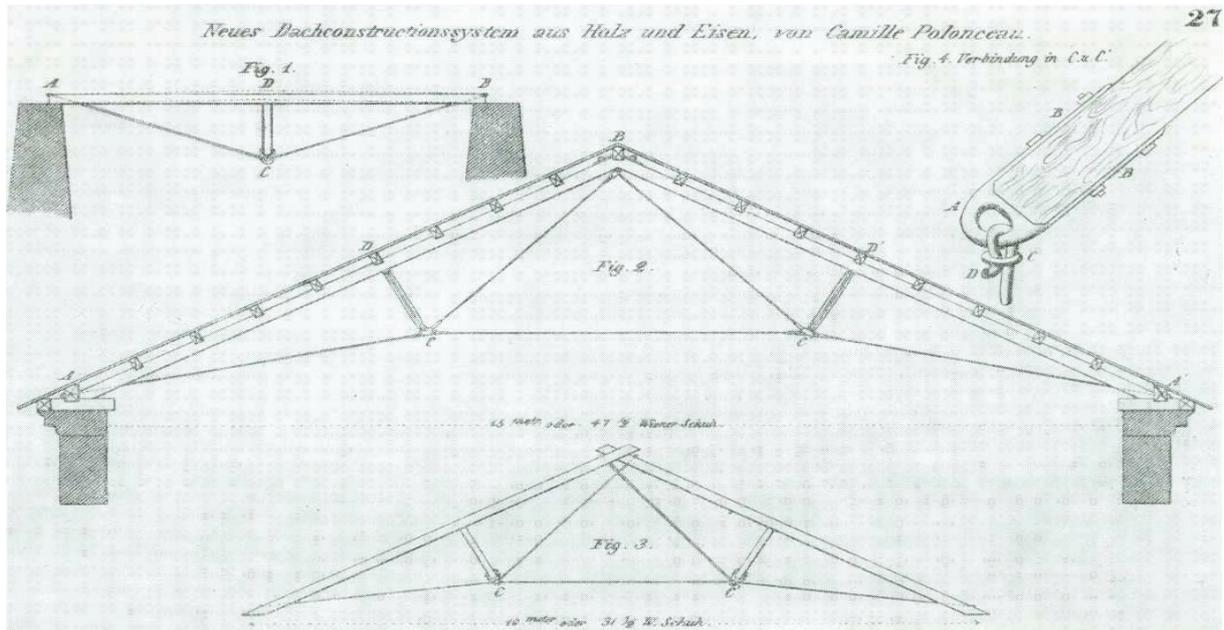


Bild 4: Einfachste Form des Polonceaubinders ca 1840 [20]

Eine besondere Kategorie des Eisenbaus bilden die Glashäuser. Aus ihnen entwickelten sich die Stahl-Glas-Konstruktionen der großen Industriehallen. Die Verwendung von Eisen als Rahmenkonstruktion für Glashäuser und Dächer setzte in England ab 1800 ein. Um 1820 entstanden in Paris die ersten mit Glas überdachten Passagen und in der Folge Bahnhöfe als Stahl-Glas-Bauten. Eisen Glaskonstruktionen erwiesen sich als statisch günstig für die neuen Bauaufgaben. Ein Beispiel hierfür ist das große Treibhaus in Chatsworth (Bild 5). Es wurde in

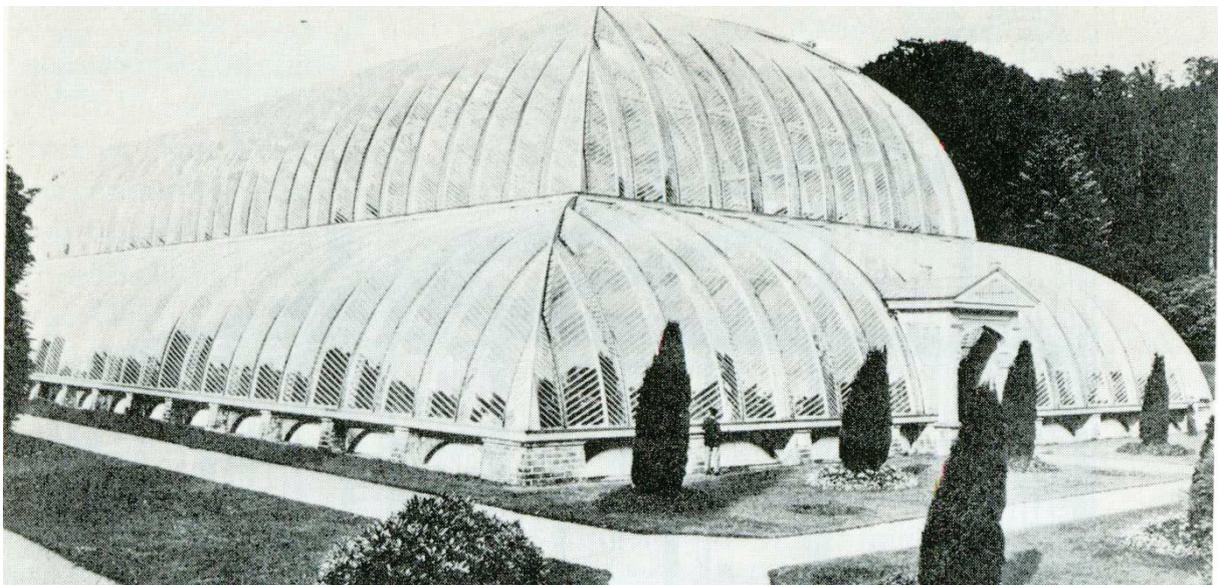


Bild 5: große Treibhaus in Chatsworth [1]

den Jahren 1836 – 1840 errichtet und bestand aus einem mittig überhöhten Halbkreisbogen und zwei seitlich anschließenden Viertelbögen. Die Auflager zwischen Rippen und Säulen waren als Knotenpunkte ausgeführt. Von hier kragten ins Innere des Raumes Konsolen aus, die eine umlaufende Galerie trugen, während an der Außenseite die viertelkreisförmigen Tragrippen ansetzten. Diese endeten dicht über dem Boden in einem Schwellholz auf Mauersockeln. Auf diesen Tragrippen lagen die Glasheds in Holzkonstruktion. Es wurde eine Fläche von 37 X 83 m überbaut bei einer Höhe von 20 m. Das entsprach den Dimensionen der größten Bahnhofshallen jener Zeit. Als nächste große Entwicklung war der Kristallpalast in London ein zukunftsweisendes Gebäude, welches im nächsten Kapitel genauer beschrieben wird. [1], [14], [15], [16], [17]

1.3 Der Kristallpalast in London

Der Kristallpalast in London war das größte Beispiel des Jahrhunderts für eine vorgefertigte und demontierbare Konstruktion. Er verdankt seine Entstehung der Weltausstellung in London 1851, wofür er als Ausstellungsgebäude errichtet worden war. Die zu jener Zeit größten Glasplatten hatten eine Länge von 1,22 m und bestimmten als kleinstes Standartelement schon den ersten Vorentwurf. Der Achsabstand der äußeren Stützen war durch das Achtfache des Breitenmaßes der Scheiben und das Vierfache ihrer Länge gegeben.

Die Ingenieurbaufirma Fox und Henderson bot das Material mit 150.000 Pfund an, wenn das Bauwerk stehen bleiben sollte. Wenn ihr das Material nach dem Abbruch zukäme, sollte es 79700 Pfund kosten. Das Vorprojekt zeigt eine fünfschiffige, in drei Höhen gestaffelte, rechteckige Halle mit basilikalem Querschnitt und flachen Dächern (Bild 6).

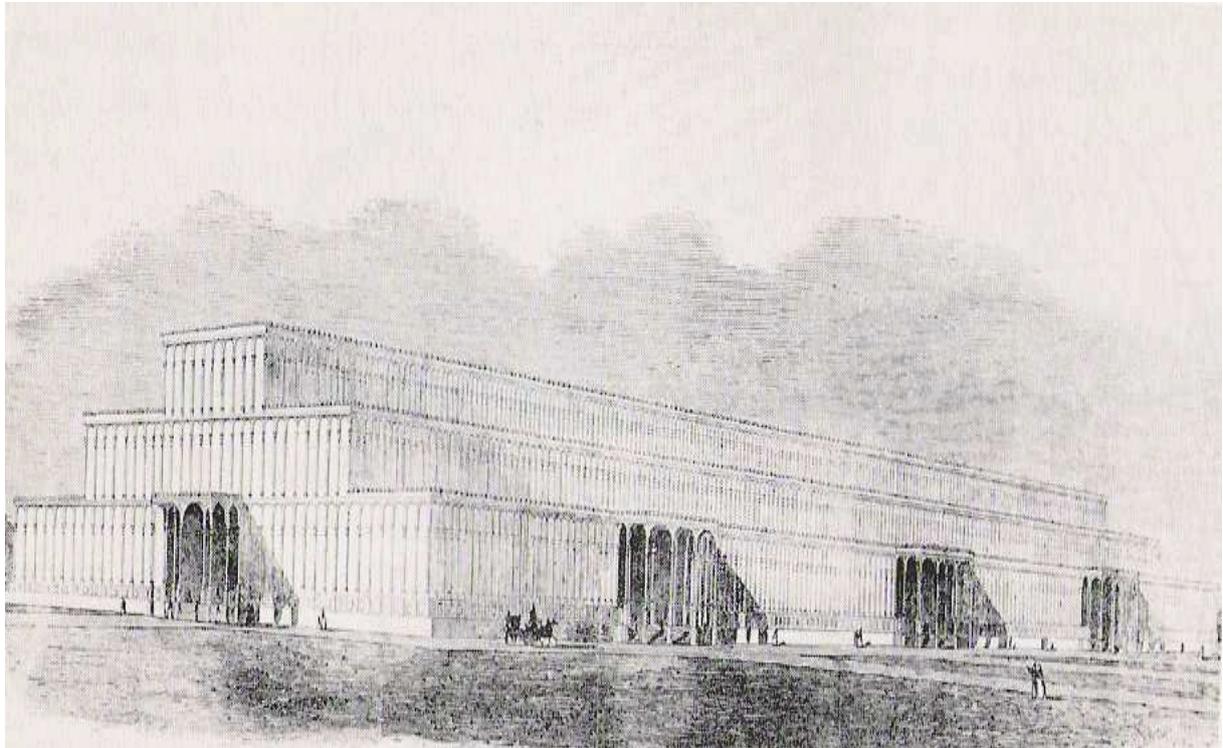


Bild 6: erster Entwurf für den Glaspalast 1850 [1]

Bei weiterer Durcharbeitung wurde diesem nur längsgerichteten Körper ein flachgedecktes Querschiff eingefügt. Dieses wurde schließlich noch durch eine Tonnenwölbung erhöht (Bild-7).

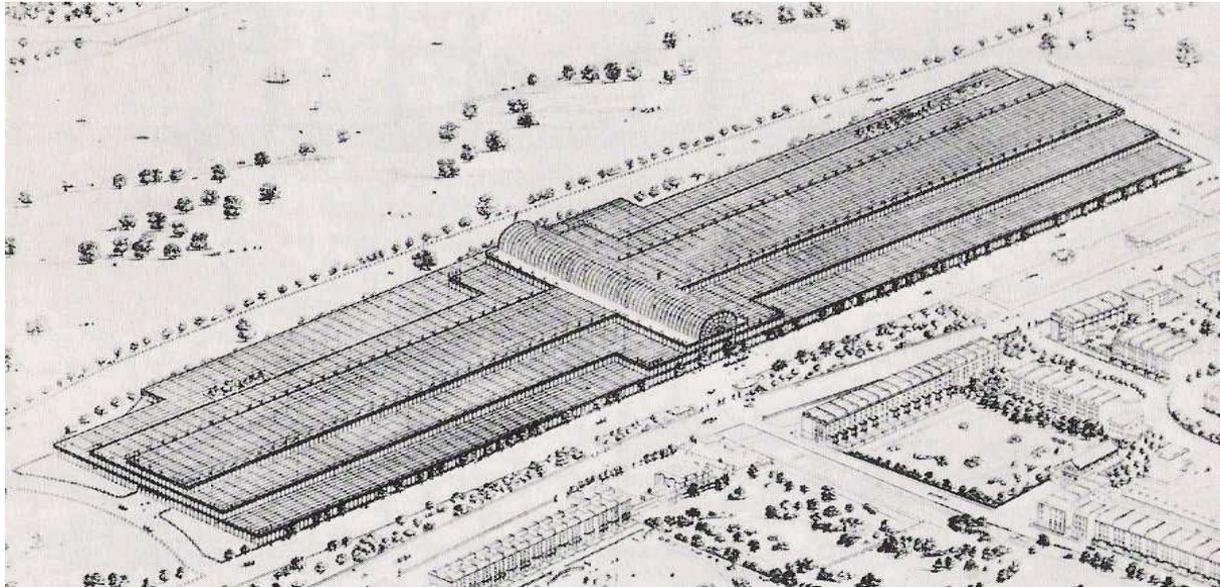


Bild 7: Endgültige Fassung des Glaspalastentwurfs [1]

Diese Erhöhung wurde wegen der geforderten Erhaltung einiger Ulmenbäume ausgeführt. Die gesamte Anlage überdeckte eine Fläche von 71896 Quadratmetern. Mit den Gallerien im ersten Obergeschoss wurden sogar rund 92000 Quadratmeter erreicht.

Die Bauarbeiten dauerten bei einer täglichen Arbeitsleistung von fast 18 Arbeitsstunden nur 17 Wochen. Es waren mehr als 2000 Arbeiter mit der Errichtung des Kristallpalastes beschäftigt. Durch Spezialisten ausgeführt, folgten die einzelnen Arbeitsgänge einem für das ganze Bauvorhaben geltenden Organisationsplan. 80 Mann setzten in einer Woche 18392 Glasplatten im Dach der Längsschiffe ein, 108 Platten verglaste ein Mann an einem einzigen Tag. Die Verglasungsarbeiten beschleunigte ein überdachter Verglasungswagen, der auf den Rinnenträgern direkt entlangfahren konnte (Bild 8).

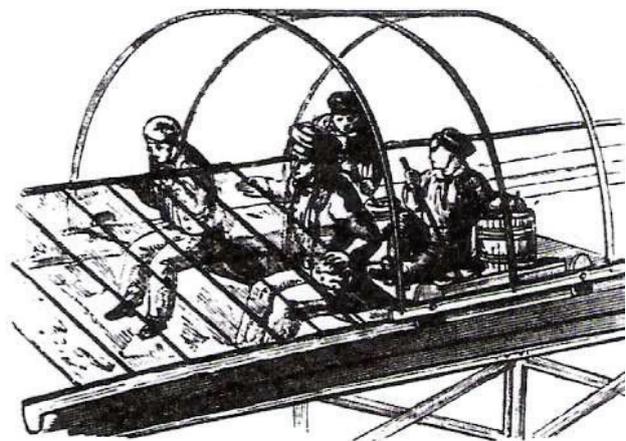


Bild 8: Verglasungswagen mit Radführung in den Rinnenbalken [2]

Gleichzeitig mit den verschiedensten Handwerkern, wie Schreibern, Glasern und Anstreichern, bauten Montagekolonnen die Binder und Bögen zusammen. Dass ein Gebäude dieser bisher nie da gewesenen Größe in so kurzer Zeit geplant und umgesetzt werden konnte, ist auf die industrielle Fertigung, elementiertes Bauen und den exakt durchgeplanten Bauablauf mit einem vernetzten Zeitplan zurückzuführen. Die Verfahrenstechnik lässt sich mit der modernen Fließbandfertigung von Maschinenerzeugnissen vergleichen.

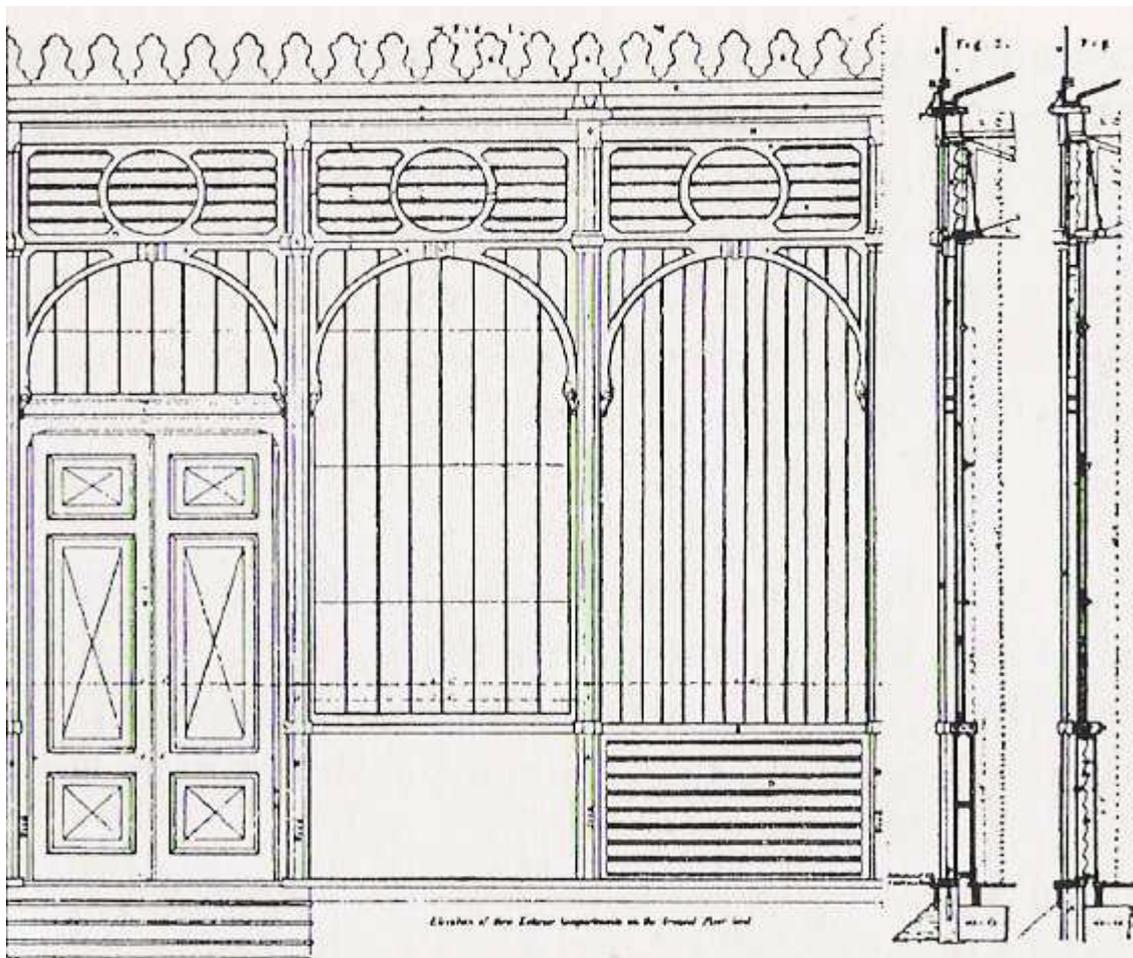


Bild 9: Standartelement der Glaspalastfassade [1]

Der gesamte Kristallpalast basiert auf einem Quadratischen Grundmodul von 24 Fuß, also 7,32 m, was sich wie schon erwähnt aus den Glasabmessungen jener Zeit ergab (Bild 9). Dieses Maß bildete im Kristallpalast ein modulares System mit drei verschiedenen Trägertypen von 7,32 m (24 Fuß) über 14,64 m (48 Fuß) bis 21,96 m (72 Fuß). Das hieraus gebildete dreistöckige Gebäude war 77 Felder (563 m) lang und im Erdgeschoss 17 Felder

(124 m) breit. Die Länge von 563 m entspricht genau 1851 Fuß, dem genauen Datum des Jahres. Das erste Obergeschoss sprang um 3 Felder je Seite zurück, war also 80 m breit, das zweite Obergeschoss wiederum um 3 Felder, was dort eine Breite von 37 m ergab. Das drei Felder (22 m) breite Querschiff lag wegen der zu überdeckenden Bäume etwas außermittig der Symmetrieachse (Bild 10). Alle Träger mit Ausnahme an der Durchdringung Längsschiff –

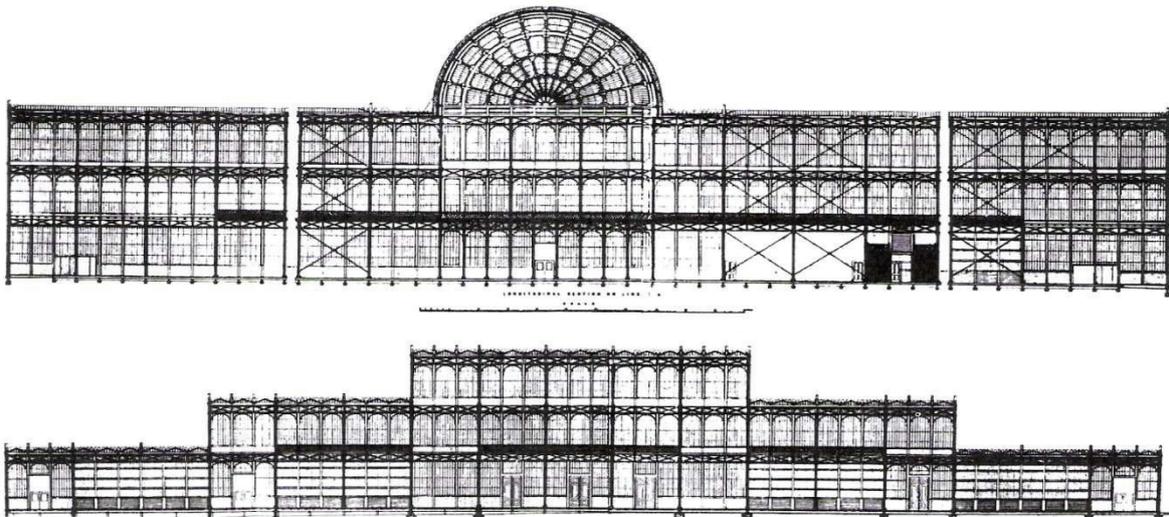


Bild 10: Längs- und Querschnitt des Glaspalastes [2]

Querschiff sind 3 Fuß (ca. 91 cm) hoch. Die freie Länge der Stützen zwischen den Trägern beträgt im Erdgeschoß 5,84 m, in den beiden anderen Geschossen 5,18 m. Damit ergibt sich eine Gesamthöhe des Gebäudes von etwa 19 m zuzüglich der Konstruktionshöhe des Daches. Das Tonnengewölbe des Querschiffes, deren Hauptträger im ursprünglichen Kristallpalast aus Holz gefertigt waren, überragt das flache Dach nochmals um 13 m.

Die Fundamente aus Betonblöcken waren mit einer gusseisernen Auflagerplatte mit integrierter Röhre zur Aufnahme der Stützen und Ableitung des Regenwassers versehen. Die etwa 1000 Stützen des Erdgeschosses wiesen alle denselben standardisierten Außendurchmesser auf, waren aber von der Wanddicke je nach Belastung abgestuft. Die Verbindungsstücke zwischen den Stützen waren gleichzeitig Auflager für die Träger Bild11, die durch einen einfachen Mechanismus eingehängt und mit Keilen kraftschlüssig verbunden werden konnten. Ebenso konnten dort bei Bedarf auch diagonale Aussteifungselemente

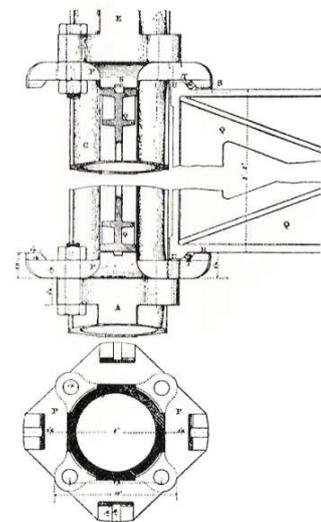


Bild 11: Detail der Bolzenverbindung am Anschluss von Stütze und Trägern [1]

befestigt werden. Die 91 cm hohen gusseisernen, doppelt ausgekreuzten Fachwerkträger waren ebenso nur in ihrer Wandstärke abgestuft, sie wogen etwa 500 kg und überspannten meist das Regemaß von 7,32 m (Bild 12). Alle wurden vor dem Einbau in einer hydraulischen Presse auf der Baustelle mit dem zweifachen der berechneten Maximallast belastet. Die Träger bildeten das Auflager für die mit einem schmiedeeisernen Zugstab

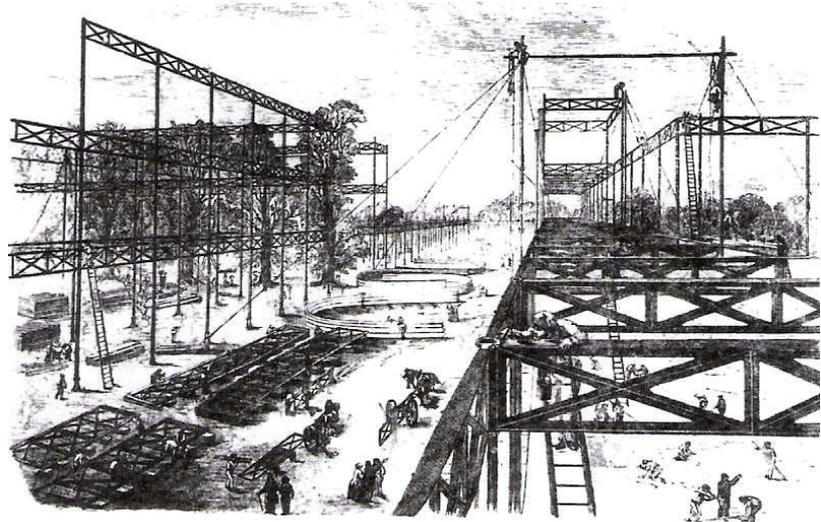


Bild 12: Bauplatz [2]

umspannten Rinnenträger aus Holz des sogenannten „Ridge and Furrow“ (Grat und Kehle) – Daches. Diese wurden mit der Unterspannung leicht überhöht, um die Entwässerung zu den Haupttrinnen hin sicherzustellen, die direkt auf den Fachwerkträgern auflagen. Von den Haupttrinnen wurde das Wasser in die hohlen Stützen abgeleitet. Es wurde das Niederschlagswasser dadurch abgeleitet sowie das Kondenswasser an der Unterseite der Scheiben. Sämtliche Konstruktionselemente und ihre Verbindungen waren so bemessen und vereinheitlicht, dass eine gerüstfreie Montage und die spätere Demontage möglich waren.

Ebenso einfach waren die Gestalt und das Prinzip der Treppenelemente (Bild 13), die mit den Geländern und Podestanschlüssen nahtlos in die Galeriebrüstungen übergingen. Die Gliederung durch Träger, Stützen und Säulen und die Diagonalen der

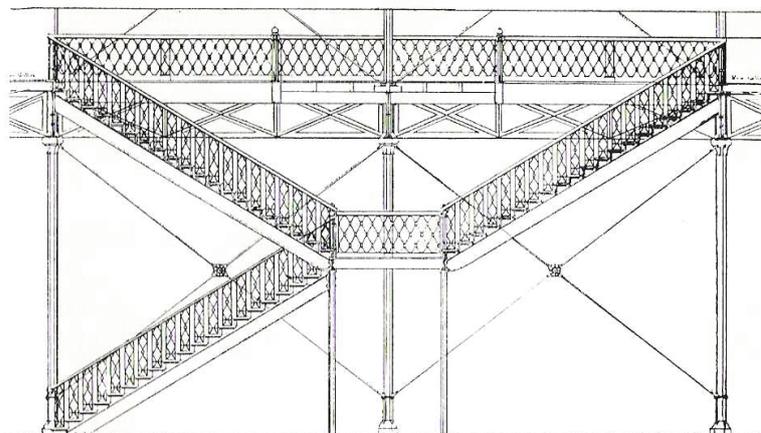


Bild 13: Treppendetail [1]

Zugstangen und Fachwerkträger gemäß dem statisch bedingten Kräfteverlauf ergibt gleichzeitig die Struktur des Baues und seine Ornamentik.

Das Querschiff wurde bereits auf dem Boden aus je zwei hölzernen Hauptbindern liegend mit Querpfeilern und Aussteifung montiert und dann an den bereits stehenden Stützen schräg über Winden hochgezogen und eingedeckt (Bild 14). Die Belüftung des Gebäudes basierte auf den Erfahrungen aus dem Gewächshausbau. In jedem Geschoss waren im oberen Teil Luftklappen angebracht, im Erdgeschoss waren diese in der 1,20 m hohen Brüstung integriert. Auch im Dach gab es Lüftungsklappen, insgesamt ergaben sich so etwa 3800 Quadratmeter Lüftungsöffnungen. Um die Hitze bei direkter Sonneneinstrahlung zu mildern, wurden an besonders kritischen Dachstellen Leinwände aufgelegt, die aus einem Wasserleitungssystem befeuchtet werden konnten. Wegen der Zwangsbeanspruchung

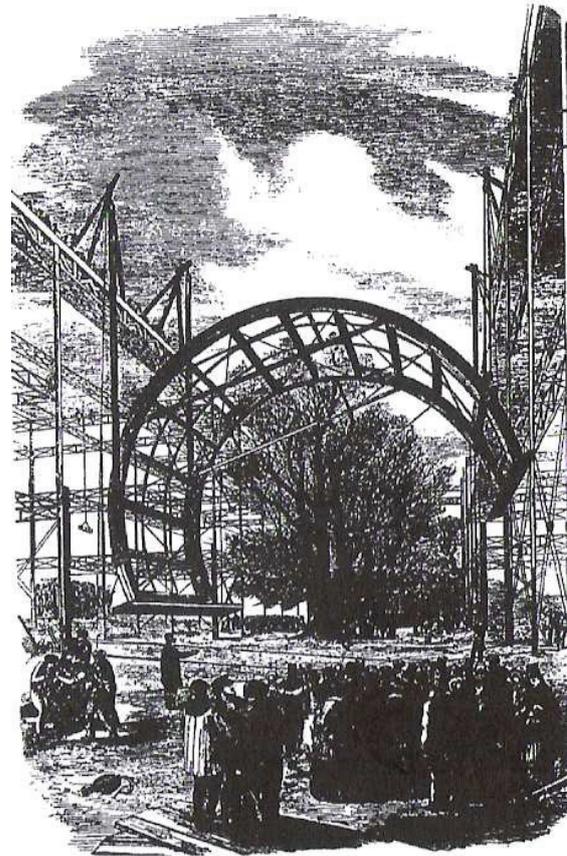


Bild 14: Montage des Querschiffes [3]

aus dem Werfen der Holzträger kam es bei dem dünnen Glas allerdings immer wieder zu Schäden und Undichtigkeiten. Die Typisierung der Elemente in Eisen und Glas für den gewaltigen Bau erlaubte kurzfristige Produktionsausstöße in bis dahin noch unbekanntem Umfang. Insgesamt wurden etwa 3500 t Gusseisen, 500 t Schmiedeeisen und etwa 20 000 m³ Holz eingebaut. Für die 83 200 m² Glasfläche wurden 270 000 Einzelscheiben von etwa 2 mm Dicke hergestellt. Dies entsprach 30 % der gesamten englischen Jahresproduktion.

Der umfassende Einsatz von standardisierten Teilen macht deutlich, wie stark die Konstruktion sich auf die industrielle Fertigung verließ. Vertikale Stützen, horizontale Binder und Glasscheiben sowie Zugstangen und Verbindungsknoten wurden in wenigen Varianten vorgefertigt und in großer Stückzahl geliefert.

Durch die Demontage und den teilweisen Wiederaufbau auf den Höhen von Sydenham 1852 fanden die Konstruktions- und Fertigungsprinzipien des Kristallpalastes eine letzte Bestätigung ihrer Eignung.

Mittlerweile hatte seine Gestalt einige entscheidende Änderungen erfahren, die vor allem darin bestanden, dass nun auch das Langhaus von einer Tonne überdeckt wurde, die niedriger gegen die des Querschiffes stieß (Bild 15). Ihr Gerüst bestand aus einer gekrümmten Gitterbinder-Konstruktion. Entscheidend war jedoch, dass es gelang, die Grundelemente des ersten Baues wieder zu verwenden und sie sowohl in der bisherigen Art, als auch in neuen Kombinationen zusammensetzen. Hierdurch erwies sich, wie zweckvoll alle Knotenpunkte konstruiert und wie präzise alle Teile gefertigt worden waren.

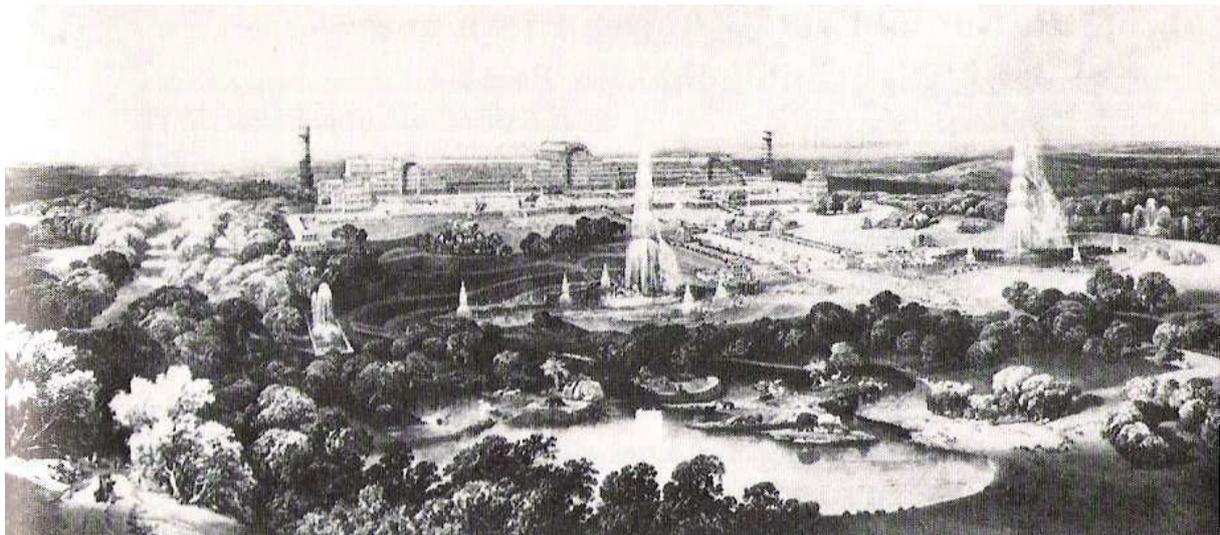


Bild 15: Der wiederaufgebaute Glaspalast bei Sydenham [1]

Die Konstruktion wies zwar einige Mängel auf. So sprangen wie bereits erwähnt zahlreiche Dachscheiben, weil das Holz der dünnen Rahmen sich verzog. Auch die starke Ausdehnung des eisernen Skeletts an heißen Sommertagen war nicht vorausgesehen worden. Doch der Kristallpalast zeigte sich den Belastungen gewachsen, nicht zuletzt durch die hölzerne Halbtonne des Querschiffs, die als Dehnungsfuge für die Dachkonstruktion wirkte. [1], [2], [3], [4], [5]

1.4 Die Maschinenhalle der Pariser Weltausstellung 1889

„Vergleicht man die Gebäude der Weltausstellungen von 1851 bis 1889 miteinander, so machen sie die stürmische technische – wissenschaftliche Entwicklung vom handwerklichen, auf Erfahrung basierenden Bauen zu wissenschaftlich fundierten Bauweisen in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts deutlich. Gemeinsam sind allen Hallen die Skelettbauweise und riesige zusammenhängende Ausstellungsflächen. Während aber z.B. beim Londoner Kristallpalast von 1851 die Gesamthallenbreite von 124 Metern nur mit Hilfe einer fünfschiffigen Konstruktion zu erreichen war, überspannte die Maschinenhalle ca. 110 Meter stützfrei (Bild 16). Der Werkstoff der tragenden Elemente des Kristallpalastes war eine

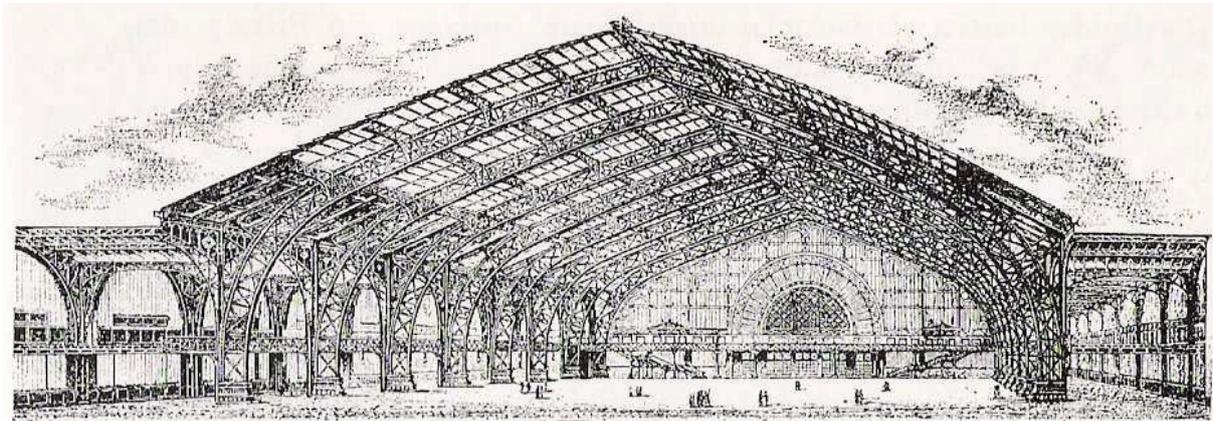


Bild 16: Blick in die Maschinenhalle [1]

Mischung von Gusseisen, Holz und Schmiedeeisen, der der Maschinenhalle ausschließlich Stahl. Die Verbindungstechnik änderte sich von einer überwiegend durch Schrauben oder Keile gesicherten Steck- und Klemmbauweise zum Warmnieten.

Und während 1851 die statischen Probleme nur bedingt intuitiv oder durch Großversuche gelöst werden konnten, wurden sie 1889 durch wissenschaftlich entwickelte Berechnungsmethoden in ausreichendem Maße erfasst.

Mit der Maschinenhalle von 1889 wurde sogleich in mancher Beziehung ein Höhe- und vorläufiger Endpunkt der Stahlhallenbauweise erreicht. Erstaunlich ist nur, dass bei den Ausstellungshallen von 1889 der Dreigelenkbogen in Frankreich offensichtlich zum ersten Mal bei Hochbauten in Erscheinung trat, während sich in Deutschland diese Bauart bei großen Hallen bereits lange durchgesetzt hatte.“ [6]

Die Maschinenhalle wurde 1888 nach einer Wettbewerbsausschreibung von dem Architekten Dutert in Zusammenarbeit mit den Ingenieuren Contamin, Pierron und Charton entwickelt. Das wichtigste an diesem Bauwerk ist die Leistung der Ingenieure, angefangen bei der Lösung der statischen Probleme bis hin zur Montage, die dem Architekten nur eine kleinere Rolle für den Bau des Gebäudes zukommen lässt.

Die Halle war Teil einer Gesamtanlage, welche das ganze Marsfeld bedeckte und vom Eiffelturm überragt wurde. Die Gestalt der Halle glich einem langgestreckten, im Gesamtkomplex quergelagerten Rechteck. Dieses besaß schmale Seitenschiffe, die wie Korridore wirkten und vom Hauptraum aus gesehen kaum in Erscheinung traten.

Der eigentliche Hallenkörper wurde aus gewaltigen, zweiteiligen Gitterträgern gebildet, die von den Längsseiten in fast gleichen Abständen aufstiegen und in ihren Firstpunkten verbolzt waren (Bild 17 und 21). Der Abstand der Träger betrug im Mittelbereich 26,40 m, in den Endfeldern 25,20 m und in allen übrigen Feldern 21,50 m. Die Spannweite

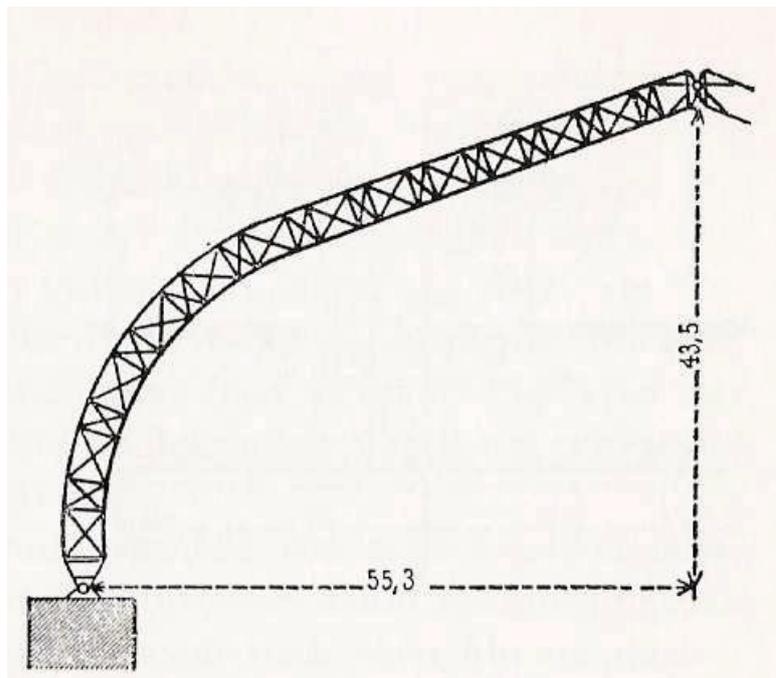


Bild 17: System der Binderkonstruktion der Maschinenhalle [1]

der Maschinenhalle war mit 110,6 m für die damalige Zeit fantastisch. Die Binder waren in einem Bogen geplant und hergestellt, der zunächst in einer engen Kurve und dann fast geradlinig zum Scheitel verlief (Bild 17 u 21). Er war wie schon erwähnt als Dreigelenkbogen ausgebildet. Die Längsversteifung wurde von leichteren Fachwerkträgern hergestellt, welche die Binder pfettenartig verbanden. Auf Ihnen waren die vollwandigen Stahlsparren angebracht, die die Dachhaut aus Glas und Wellblechplatten trugen. Die Auflager der Binder waren als Gelenke ausgebildet, ein Prinzip, das zuerst im Brückenbau bekannt war. [1], [6]

„Das Fußgelenk der Maschinenhalle bestand von unten nach oben gesehen aus folgenden Einzelteilen (Bild 18 und 19):

1. Unterlegplatte 70 mm dick, 1,85 m lang, 1,70 m breit, durch sechs Bolzen von je 60 mm Durchmesser im Fundamentmauerwerk verankert.

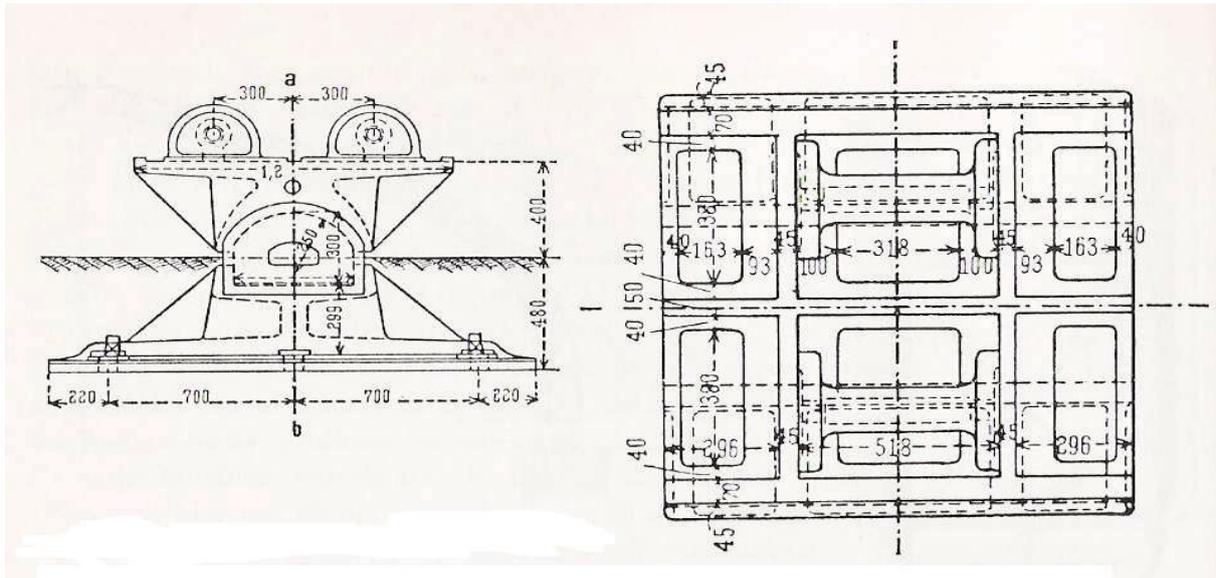


Bild 18: Konstruktive Einzelheiten des Gelenks [1]

2. Gussstück zur Aufnahme des eigentlichen Gelenks. Dieses mit der Unterlegplatte durch Stahlklammern verbundene Gussstück war 1,20 m lang, unten 1,30 m und oben 0,59 m breit, mit 50 bzw. 80 mm starken Rippen versehen.
3. Gelenkwalze aus Gusseisen die unten eine Ebene und oben eine zylindrische Begrenzung hatte. Sie war 1,34 m lang, hatte beiderseits vor Kopf 40 mm starke Vorsprünge, die das untere und obere gusseiserne Lager umfassten und eine Verschiebung senkrecht zur Binderebene verhüteten. Die Zylinderfläche hatte einen Durchmesser von 250 mm. Auf der ganzen Länge war das Gelenk mit einer 180 mm breiten und 90 mm hohen Höhlung versehen.

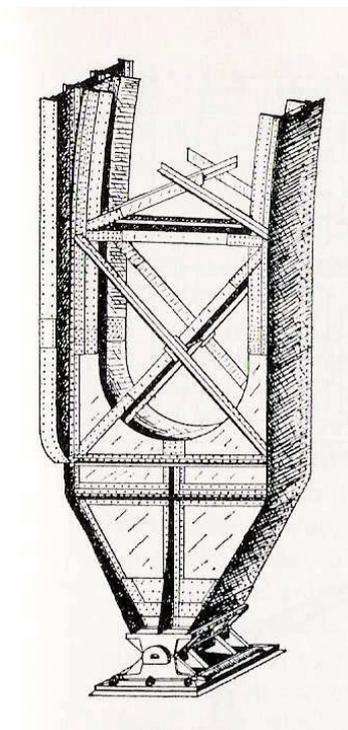


Bild 19: Detail des Walzenlagers [1]

4. Oberteil, das auf dem Gelenk drehbar ruhte und mit dem Binderfuß starr verbunden war. Auch dieses Teil war 1,20 m lang und der Hohlzylinder hatte den gleichen Durchmesser von 250 mm wie das Gelenk. Höhlung und Gelenkwalze berührten sich in einem Bogen von rund 130° , so dass die wirksame Druckübertragungsfläche etwa $0,68 \text{ m}^2$ betrug. Das obere Ende dieses Gusstückes diente zur Aufnahme des Binders, bildete ein Quadrat von 1,20 m Seitenlänge und hatte drei über die ganze Länge laufende Rillen von 70, 50 und 70 mm Breite. Darin waren Bleiplatten gelegt. Zwei massive halbzylindrische Gussteile von 520 mm Länge, die in voller Länge durchbohrt waren und 60 mm starke Bolzen aufnahmen, passten genau zwischen die Aussteifungsbleche der kastenförmigen Binderfüße. Diese Gussteile sollten die erforderliche gute Verbindung des Binders mit dem Gelenkoberteil sichern.“[1]

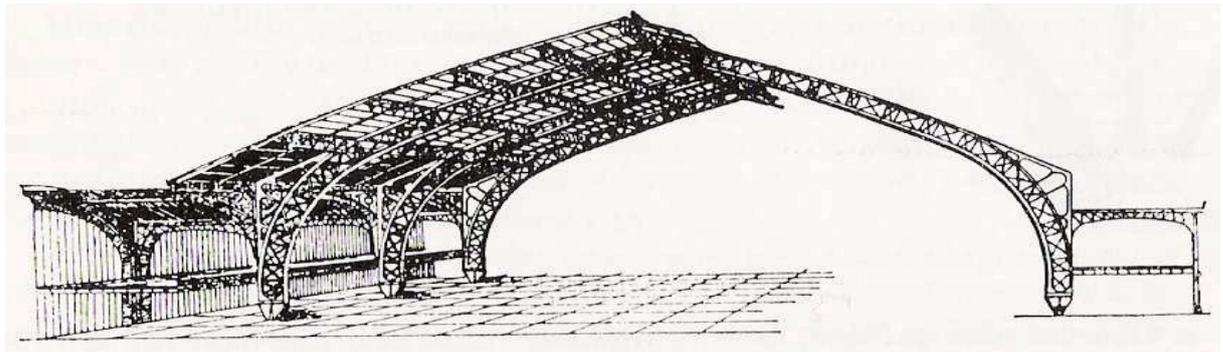


Bild 20: Konstruktionsschema der Maschinenhalle [1]

Die gewaltigen Dimensionen des überspannten Raums werden erst im Vergleich deutlich. Mit einer Länge von 422,49 m, einer Gesamtfläche von $48.324,9 \text{ m}^2$ und einer lichten Höhe von 46,67 m sind alle bis dahin möglichen Vorstellungen von einem stützenfrei überspannten Raum überboten. Aber nicht nur die gewaltigen Dimensionen waren neu, sondern vor allem die Proportionen, insbesondere das Verhältnis der Spannweite zur Höhe. Während das Verhältnis beim Kristallpalast 9:8 beträgt, liegt es bei der Maschinenhalle bei 10:4. Dadurch entstand ein Eindruck großer Weite, der noch gesteigert wurde durch die vollkommene Beleuchtung vom Dach her. Es waren nämlich 80 Prozent der Dachfläche mit Glasplatten bedeckt. Jede einzelne war 2 m lang und etwa 50mm dick. Der Rest der Dachhaut bestand wie schon erwähnt aus Wellblech. Die Glasplatten ergaben eine Gesamtfläche von 34.700 m^2 . Die Binder hatten zwar im Querschnitt ein Abmaß von $3,50 \times 0,75 \text{ m}$, jedoch traten sie bei den großen Spannweiten der Halle kaum in Erscheinung. Eher im Gegenteil, im

starken Gegenlicht nach oben hin schienen sie sich fast aufzulösen. Die Gesamtkonstruktion war statisch berechnet, so waren z.B. die Fundamente der 40 Fußgelenke für einen Auflagerdruck von 412.000 kg und einen Horizontalschub von 115.000 kg bemessen. Für den Hallenbau wurde ein bewegliches Gerüst verwendet, welches für den Transport von Eisengewichten mit bis zu 48.000 kg ausgelegt war. Das war eine Leistung die bis dahin undenkbar war. Erst durch dieses Gerüst konnte eine rationelle Montage erfolgen, da man große Teile auf der Erde vormontieren konnte. Diese wurden dann angehoben und an das entstehende Gebäude montiert. Bei der Maschinenhalle war der gewaltige Binder im Innenraum auch das beherrschende Bild der Fassade (Bild 21). Nach der Weltausstellung 1889 wurde die Maschinenhalle vorerst stehen gelassen. Sie wurde jedoch 1910 abgebrochen, was ein großer Verlust für die Welt der Baudenkmäler ist. Man kann diesen Verlust etwa gleichsetzen mit dem des Kristallpalastes in London. [1], [6]

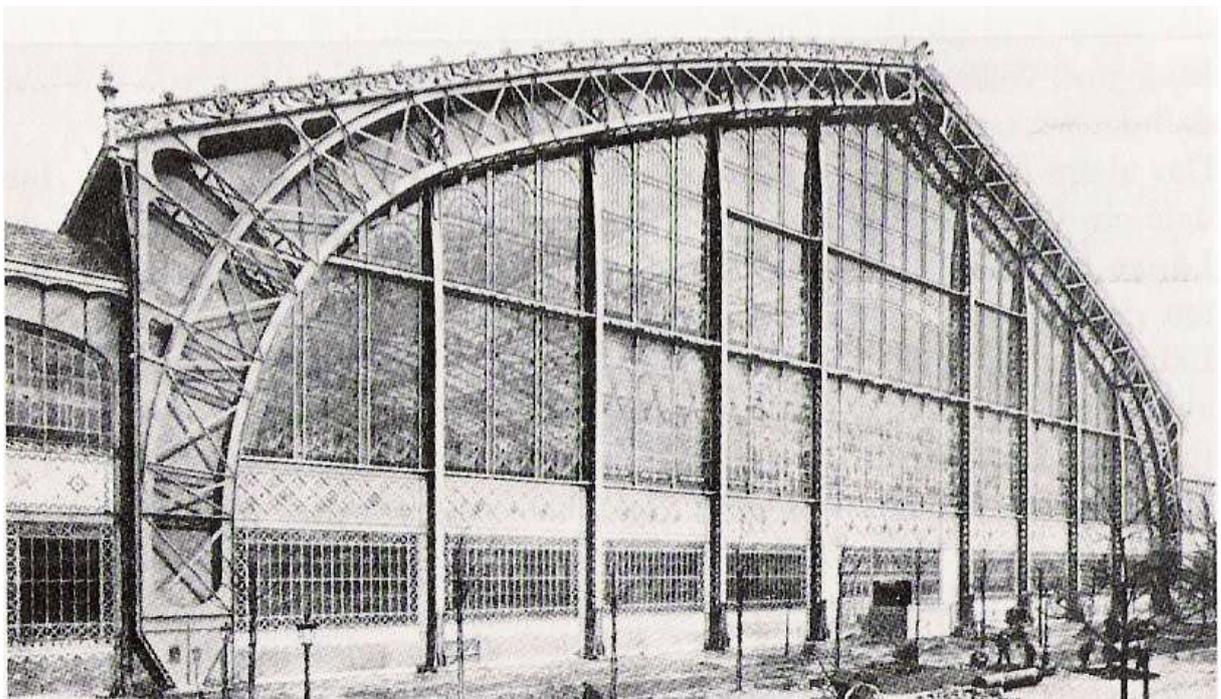
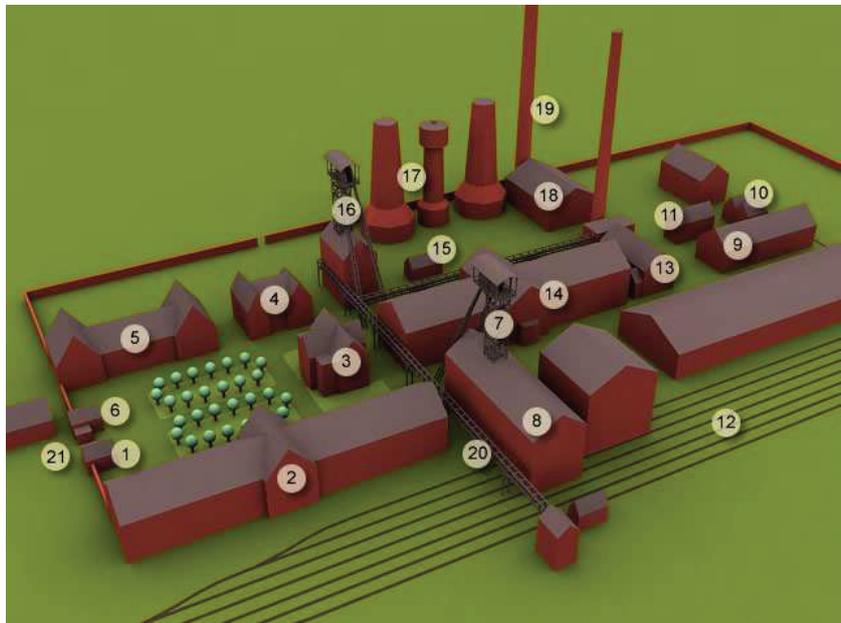


Bild 21: Außenansicht der Maschinenhalle [1]

1.5 Zeche Zollern 2/4

Im Jahre 1898 begann die Gelsenkirchener Bauwerks – AG mit den Bauarbeiten an der Zeche Zollern 2/4. Die Zeche nahm bereits 1903 den Betrieb auf. Bekannt wurde die damals neue Zeche aufgrund einer technischen Innovation. Die Gelsenkirchener Bergwerks – AG setzte hier eine der ersten elektrischen Fördermaschinen ein. Diese war speziell für diese Zeche entwickelt worden und erprobte hier erstmalig den konsequenten Einsatz der elektrischen Energie innerhalb des Zechenbetriebes. Unter diesen Voraussetzungen musste man auch den Gebäuden besondere Aufmerksamkeit widmen.

Die Gebäude des Zechenhofes wurden in zwei Bereiche unterschieden. Zum einem in dem die Förderung vorbereitenden Teil und zum anderen in den eigentlichen Bereich der Förderung und Verarbeitung. Während



die Zechenteile zur **Bild 22: Modellübersicht der Zeche Zollern [12]**

Vorbereitung der Förderung als massive Backsteinbauten ausgeführt wurden, verwendete man im Bereich der Förderung, wenn es möglich war, Stahlskelettbauten. Da in dieser Arbeit nur die Stahltragwerke betrachtet werden, wird auch nur auf diese Bauwerke eingegangen. In diesem Abschnitt der Arbeit werden die Maschinenhalle und die Fördergerüste beschrieben. Es sind die wesentlichen Stahltragwerke dieser Gesamtanlage (Bild 22). [14]

Erklärung zu Bild 1:

1. Markenstube; 2. Lohnhalle, Magazin, Waschkaue, Lampenstube; 3. Verwaltungsgebäude; 4. Pferdestall und Wagenremise; 5. Werkstattgebäude; 6. Verbandstube; 7. Schachtgerüst über Förderschacht II; 8. Schachthalle und Separation; 9. Ammoniakfabrik; 10. Pumpen- und Maschinenhaus; 11. Kokereiwerkstatt; 12. Bahngleise; 13. Kesselhaus I; 14. Maschinenhalle; 15. Toilettengebäude; 16. Schachtgerüst über Wetterschacht IV; 17. Kühltürme; 18. Kesselhaus II; 19. Kamine; 20. Transportband; 21. Haupttor

1.5.1 Die Maschinenhalle

Die Maschinenhalle entstand in enger Zusammenarbeit von Ingenieur und Architekt. Für die Konstruktion war der Leiter der Brückenbauabteilung der Gutehoffnungshütte in Sterkrade, Reinhold Krohn verantwortlich und die architektonische Gestaltung führte der Berliner Architekt Bruno Möhring. Möhring bestand auch darauf die Konstruktion offen zu zeigen.



Bild 23: Außenansicht der Maschinenhalle [13]

Die Halle ist ausgeführt als Stahlskelettbau mit einer Backsteinausfachung und besteht aus drei Teilen (Bild 23). Ein Teil ist der hervorgeschobene Mittelrisalit und die beiden anderen Teile bestehen aus zwei Seitenflügeln, also aus Langhaus und Querhaus, die sich in einem Kreuzdach durchdringen und im Inneren eine Vierung bilden. Die beiden Flügel, die sich zu beiden Seiten des Risalits anschließen, sind nicht völlig symmetrisch ausgebildet, da auf der vom Portal aus betrachteten linken Seite im Inneren die Fördermaschinen untergebracht sind. Dadurch sind auf der Eingangsseite dementsprechend die Schlitze der Seile zu sehen. Aus diesem Grund wurde diese Front nicht verglast, da die Fördermaschinisten, die in Richtung des Fördergerüsts blickten, sonst vom einfallenden Licht geblendet worden wären. Die Korbformen des Giebelfensters wurde ausgeführt, weil die Bogenform der bereits 1902 errichteten Transportbrücke mit in die Gestaltung der Halle eingehen sollte. Die Langhausfenster zu den beiden Seiten des Risalits schließen mit einem Flachbogen ab,

dessen Scheitelzone nach oben versetzt ist. Der Rundbogenstil hat in der Stahlskelettkonstruktion keine statische Funktion, eher eine dekorative (Bild 2).

Für das Stahlskelett bilden Riegel und Stiele rechteckige Gefache in ihrer einfachsten Form. Die Stützen der Dachbinder die von außen zu sehen sind, stellen ein übergeordnetes Fachwerksystem her, das die kleineren Gefache zusammenfasst. Zusätzliche Streben oder Andreaskreuze werden verwendet, wenn besondere Aussteifungen erforderlich sind. Es erweckt den Anschein als ob die gesamte Konstruktion auf einem Betonsockel ruht. Dieser ist jedoch statisch funktionslos, da die Stützen auf eigenen Beton- oder Ziegelfundamenten im Keller ruhen. Die Maschinen sind ebenfalls auf Fundamente im Hackenkeller gestellt, wodurch das Stahlskelett diese Lasten nicht abtragen muss.

Die Konstruktion des Hauptportals besteht aus einem Stichbogenträger, der zwischen zwei senkrechten Trägern gespannt ist. Diese Portalkonstruktion wurde aufgenommen und zur Ellipse geformt. Ursprünglich setzte das Vordach der Halle an dem Stichbogenträger an. Über dem Portal öffnet sich ein Korbbogenfenster, dessen Mittelstege im unteren Teil die Umrisse des Stichbogenträgers aufnehmen. Die zweifach durchschnittene Ellipse leitet sich unter anderem von einem zweifach geteilten Rundbogen her. Zu beiden Seiten des Eingangs sind die Riegel in der untersten Gefachreihe mit Eisenblechen und Stichbogen versehen. Auch die unteren Gefache der beiden Seitenwände des Risalits sind mit Bogenblechen verziert, in die hier je ein Fenster eingebaut ist. Durch diese Fenster werden die Räume für das Maschinenpersonal belichtet. Dabei formen die Metallstege ein netzförmiges Muster Bild24.



Bild 24: Außenansicht des Hauptportals [14]

Um den Korbboogen des Risalitfensters legte sich ursprünglich ein Metallrahmen mit Metallornamenten. Im Scheitel befand sich eine Rhombe, während zu den Seiten geschwungene Dreiecksformen entlang liefen. Über dem Portal der Halle wölbte sich ein fächerförmiges Vordach, das sehr steil aufragte und dadurch etwa ein Drittel der dahinter liegenden Glasfläche verdeckte. Das Vordach wurde von Kragträgern gestützt. Die beiden äußeren Träger schwangen vom Rand des Daches zu den inneren Stützen nach unten über die Treppenwangen zu einem Geländer aus. Die sichtbare Unterseite des Daches war zum äußeren Rand hin in Kassetten ausgeführt und nahm die Grundstruktur auf (Bild 25).

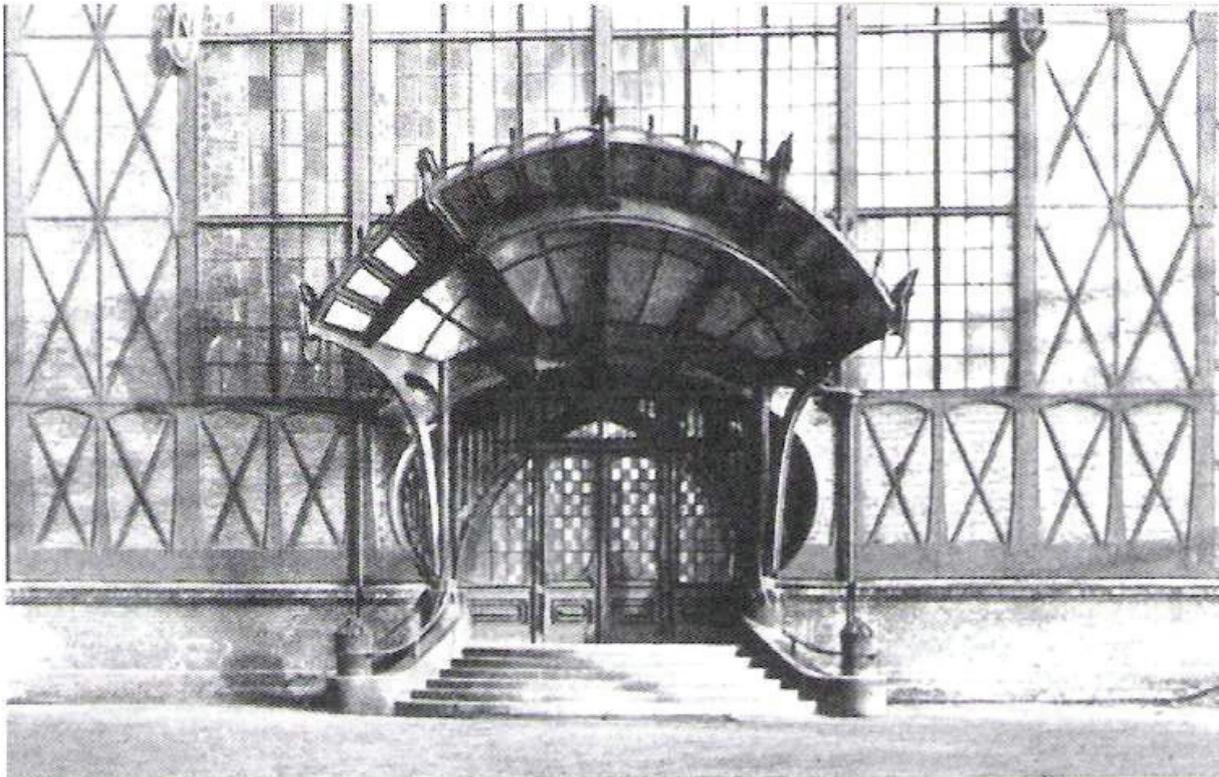


Bild 25: Ursprüngliche Ansicht des Hauptportals [11]

Die Statik der Maschinenhalle verantwortete Prof. Reinhold Krohn und die Konstruktion ist weitgehend an einem Pavillon angelehnt, den er für die Industrierausstellung 1902 in Düsseldorf errichtet hatte. Die auftretenden Lasten der Halle werden von einem Bauglied zum anderen in die Fundamente abgeleitet. An den Knotenpunkten liegen die Holzpfetten auf den Hallenbindern. Die Holzpfetten tragen die Dachhaut. Die Hallenbinder tragen die Lasten über Biegung zu den Stützen, die sie in die Fundamente leiten. Die Kranbahn wird ebenfalls von den Stützen getragen. Diese sind von der Höhe der Kranbahn abwärts in einem Fachwerk ausgeführt, um die Lasten von Kran und Dach aufzunehmen. Die Fundamente

wurden größtenteils aus Ziegeln ausgeführt, nur die zur Aufnahme der Windkräfte bestimmt waren, sind aus Beton. Fenster und Wände werden durch Wandstützen und Wandriegel gehalten. Verbände in den Wänden und im Dach steifen die gesamte Halle aus. Es wird angenommen, dass für das Dach der Halle die Untergurte der Dreiecksträger aus architektonischen Gründen geschwungen ausgeführt wurden, obwohl ein gerader Untergurt statisch günstiger gewesen wäre (Bild 27). In der Vierung wurden Diagonal- und Zwischenbinder verwendet (Bild 26).



Bild 26: Innenansicht der Maschinenhalle [15]

Der Seiteneingang der Maschinenhalle befindet sich gegenüber dem Verwaltungsgebäude. Auf dieser Seite der Halle dienen vier Gitterträger zur Aussteifung gegen den Winddruck, die wiederum mit Riegeln und Andreaskreuzen stabilisiert werden. Auf der Giebelseite sind die Pfetten der Dachkonstruktion zu erkennen. Im First wurden zwei Pfetten verwendet und je sieben in den Flächen.

Die Konstruktion, besonders die der Binder- und Stützweite entsprechen dem Standard der



Bild 27: Innenansicht Maschinenhalle [11]

Zeit. Das besondere an der Maschinenhalle ist jedoch die besondere architektonische Ausgestaltung und Hervorhebung einer funktionalen Ingenieurkonstruktion, wodurch sie in dieser Hinsicht im Ruhrbergbau einzigartig ist. Die Maschinenhalle auf Zollern ist der erste große Stahlskelett-Hallenbau auf einer deutschen Steinkohlezeche. [14]

1.5.2 Die Fördergerüste

Die Fördergerüste der Zeche Zollern 2/4 sind drei- bzw. zweibeinige Deutsche



Bild 28: Ansicht Schachtgerüst über Förderschacht II [16]

Strebengerüste. Zwei bis drei Beine bilden eine Strebe die die Seilscheibenlager entsprechend der Zugkräfte stützen. Das Gewicht von Streben und Seilscheiben wird vom Führungsgerüst, welches ein Kastengitterträger ist, aufgenommen. Eine hohe Knicksteifigkeit bei geringem Materialaufwand gewährleisten die Fischbauchform der Streben und ihr Kastenquerschnitt. Die Streben bestehen aus L – Profilen und aus Flachstählen. Sie sind miteinander vernietet. Ursprünglich wurden die Seilscheiben durch ein Wellblechdach vor Witterungseinflüssen geschützt,

außerdem hatten Metallkästen unter den Seilscheiben die Aufgabe Öl, bzw. bei einem Seilscheibenbruch die geborstenen Teile aufzufangen. Beide Gerüste wurden durch eine eiserne Transportbrücke verbunden.



Bild 29: Ansicht Schachtgerüst über Wetterschacht IV [16]

Die Gerüsthöhe ist von mehreren Faktoren abhängig. Einmal die Weiterverarbeitung der Kohle in der Sieberei und zum andern die Höhe der Fördergutträger und ihren vorgeschriebenen Sicherheitsabstand von den Seilscheiben. Aus den zu fördernden Wagen resultiert die Belastung. Sie setzt sich aus acht Wagen mit einer Nutzlast von je 775 kg zusammen. Das Gerüst und die Schachthalle sind nicht miteinander verbunden um eine Übertragung von Erschütterungen zu vermeiden. [14]

1.6 Die Gewächshäuser im botanischen Garten in Berlin

Im ersten Jahrzehnt des 20. Jahrhunderts wurden im botanischen Garten in Berlin 16 Schaugewächshäuser errichtet, von denen heute noch 15 vorhanden sind. Sie wurden am Südwesthang des Fichtenberges in Berlin-Dahlem angelegt. Die Beschaffenheit des gewählten Bauplatzes ermöglichte eine optimale Anordnung der Gewächshäuser. Vom großen Tropenhaus dominiert, bilden 14 dieser Bauwerke einen rechteckigen Komplex (Bild 30). Das große Tropenhaus und weitere der größeren Gewächshäuser liegen weiter hinten angeordnet, in der „zweiten Reihe“. Weiter vorne, direkt am Hauptweg, liegen die

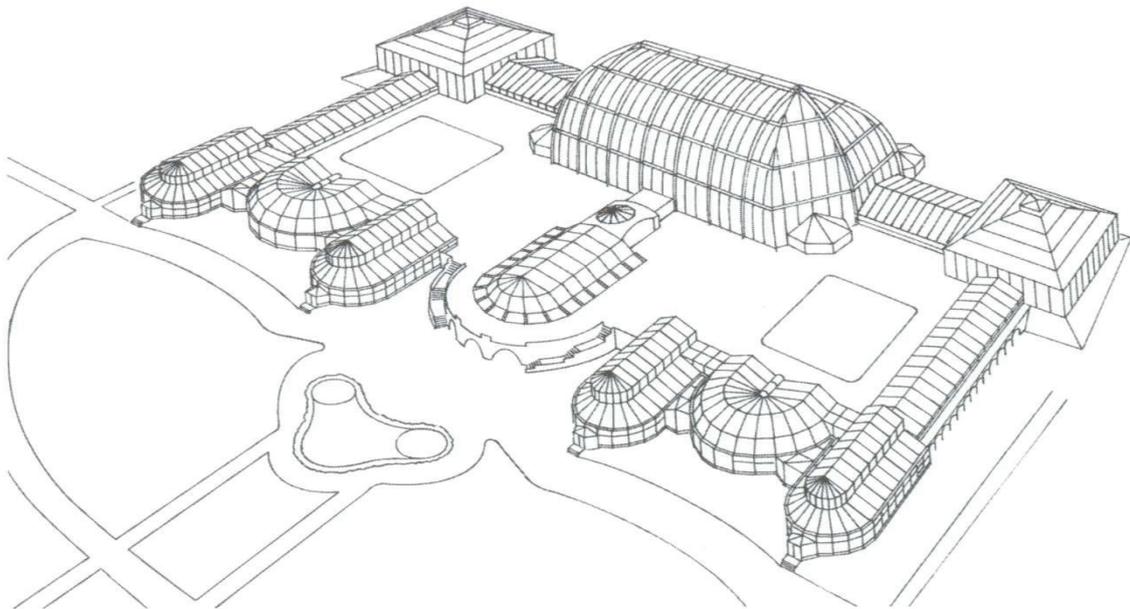


Bild 30: Perspektive der Schaugewächshäuser nach ihrem Umbau gegen Ende der 1980er Jahre [32]

flacheren Gewächshäuser, die durch die Hanglage etwa 3 m tiefer liegen. Dadurch wird der Sonneneinfall optimal genutzt und eine gegenseitige Verschattung ausgeschlossen. Bei allen Gewächshäusern wurde die damals neuartige Bauweise angewandt, bei der das stählerne Traggerüst komplett innerhalb (Subtropenhaus) oder außerhalb (großes Tropenhaus) des jeweiligen Gewächshauses liegt. Durch diese konstruktive Maßnahme konnte ein Wärmeverlust über die Tragwerke und die ungünstige Bildung von Tropfwasser an den Stahlträgern vermieden werden. Alle ursprünglich angelegten beheizten Schaugewächshäuser hatten eine Grundfläche von 8192 m². Dazu kamen nochmal Erdhäuser, die nicht beheizt waren, mit einer Grundfläche von 1500 m².

Das größte Gewächshaus war das große Tropenhaus (Bild 31). Es hat eine Länge von

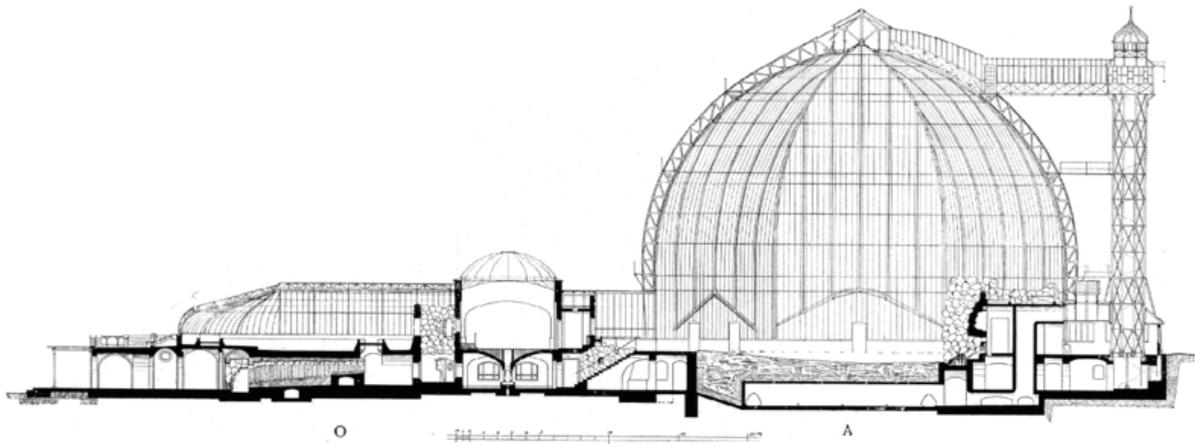


Bild 31: Querschnitt durch das Große Tropenhaus und das Haus für tropische Wasserpflanzen [24]

60,04 m, eine Breite von 29,34 m und eine Höhe von etwa 25 m. Trotz des mittlerweile über einhundert jährigen Bestehens ist es noch heute eines der größten Stahl-Glas-Konstruktionen der Welt und das bedeutendste Werk des Architekten Alfred Koerner. Für die Konstruktion und Statik dieses Bauwerks war Heinrich Müller-Breslau verantwortlich. Die Konstruktion besteht aus stählernen Dreigelenkbögen mit Querversteifungen, die außen angeordnet sind, während die gläserne Fassade innen eingehängt ist. Das Bauwerk wurde

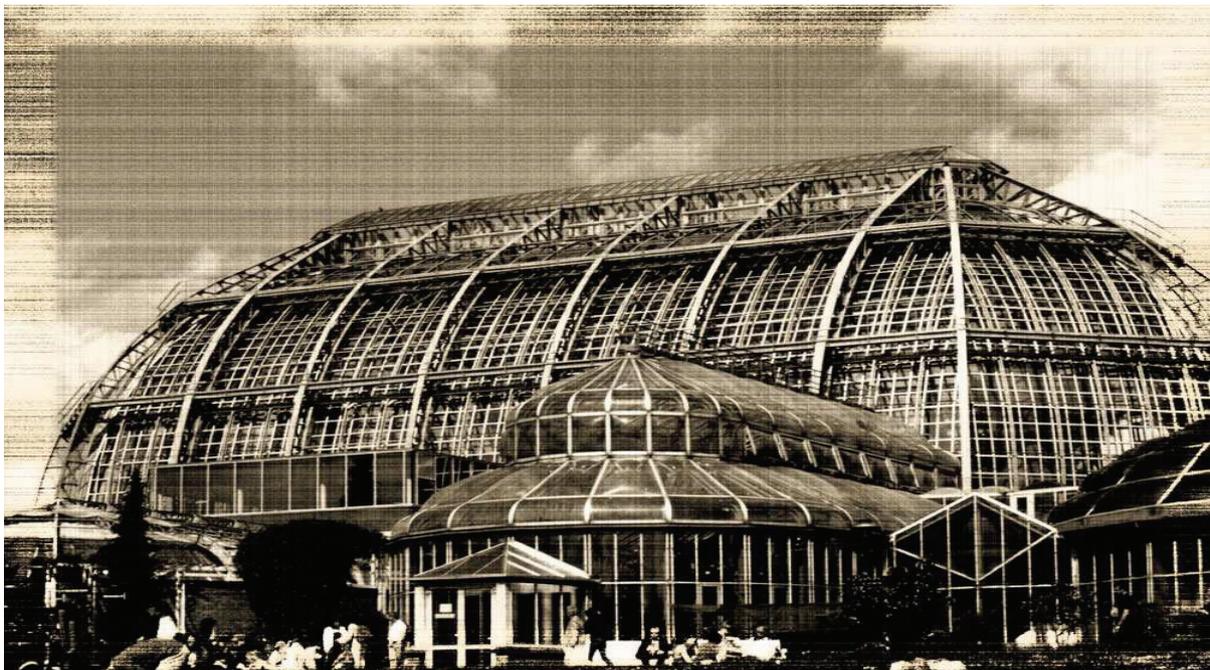


Bild 32: Ansicht des Großen Tropenhauses [33]

von 1905-1907 errichtet und umfasst eine Grundfläche von 1.728 m², wobei der Raum 36.200 m³ umfasst. In der Mitte des Hauses besitzt alleine das Mittelbeet eine Fläche von

1.000 m² und eine Erdtiefe von 3,50 m. Darunter befindet sich der Kellerraum mit den Heizkörpern. Zusätzlich befanden sich noch Heizrohre im Glasdach, die in drei Ringen geführt wurden. Sie fielen aber wegen ihrem geringen Durchmesser dem Betrachter nicht wesentlich ins Auge. Für die Wartungsarbeiten ist das große Tropenhaus mit drei Galerien versehen worden, die ringsum das Gebäude verlaufen. Diese Galerien kann man vom Glasturm auf der Rückseite des Gebäudes erreichen. Dadurch kann die Eisenkonstruktion von außen gewartet werden, ohne den gärtnerischen Betrieb zu stören. Die Stahlkonstruktionen der Gewächshäuser überstanden den zweiten Weltkrieg zwar, aber die meisten Scheiben überstanden die Detonationen nahe explodierender Sprengbomben im Herbst 1943 leider nicht.

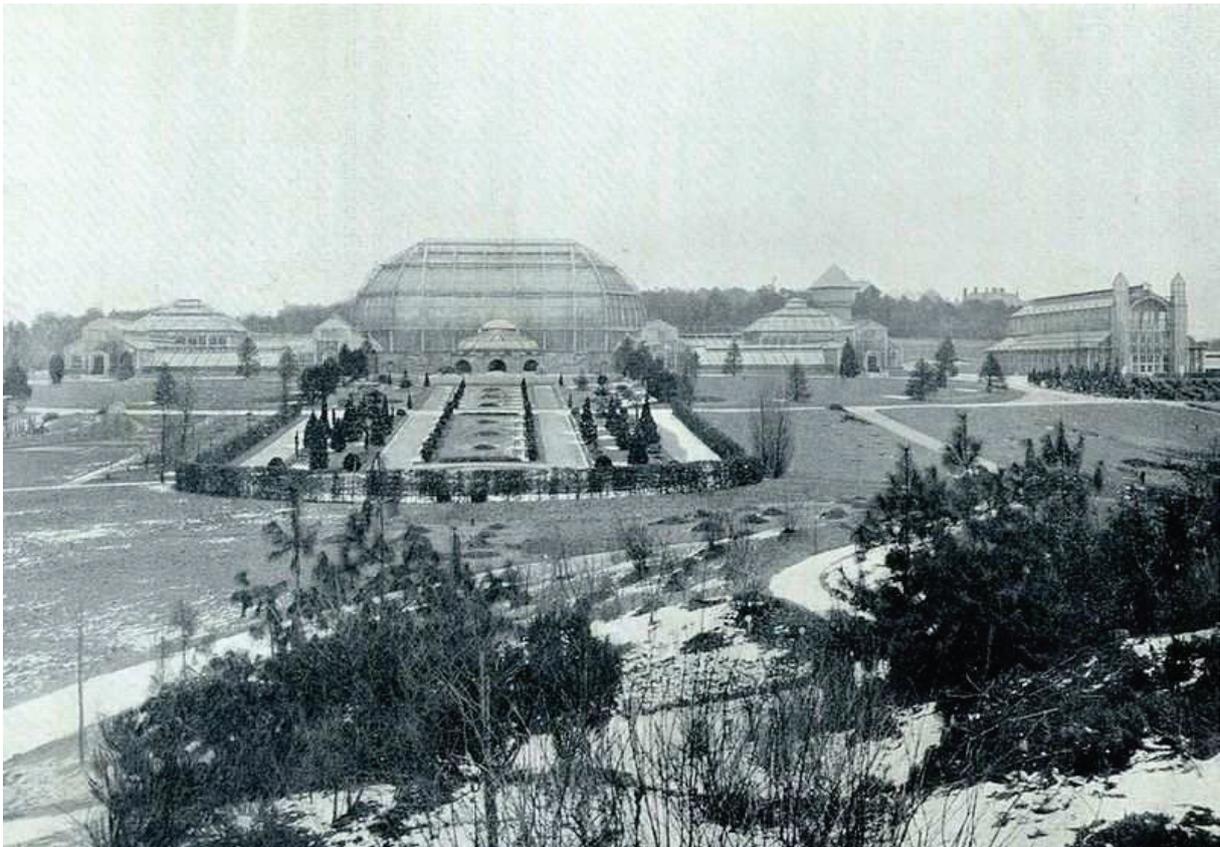


Bild 33: Ansicht der Pflanzenschauhäuser um 1905 [24]

Vor dem großen Tropenhaus erstreckte sich in der Mittelachse das Haus für tropische Wasserpflanzen, das sogenannte Haus O. Es hatte eine Länge von 10 m und eine Breite von 8 m. Da die Riesenseerosen schon im Alten botanischen Garten an exponierter Stelle angeordnet und ein Besuchermagnet waren, erhielten sie auch im neuen botanischen Garten im Zentrum der Gewächshäuser ihren Platz. Heute ist dieses Gebäude mit dem

Großen Tropenhaus verbunden, was jedoch erst in den Jahren 1966-1969 hergestellt wurde. Das Victoria Haus wurde von ursprünglich 214 m² auf 254 m² erweitert und das Sumpfpflanzenhaus mit 170 m² Grundfläche angebaut. Auch das Wasserbecken im Victoria-Haus wurde von 70,3 m² auf 113 m² vergrößert. Die gesamte Eingangssituation des Gewächshauskomplexes wurde auch gleichzeitig mit der Vergrößerung des Viktoria-Hauses neu gestaltet. Das Victoria-Haus bekam ein öffentlich zugängliches Untergeschoss wo zwei Wasserbecken und zwölf Aquarien untergebracht waren. Von diesem Untergeschoss kann man direkt ins große Tropenhaus und zu den beiderseits liegenden Gewächshäusern G und H gelangen. Nach diesen Umgestaltungsarbeiten wurde im Juni 1969 neu eröffnet.

Die Gewächshäuser C und M bilden die Eckpfeiler der Gebäude in der hinteren Reihe. Sie haben jeweils eine Quadratische Grundfläche von 393 m² und eine Firsthöhe von 11,50 m. Sie waren durch die flacheren

Gewächshäuser B und N, welche nur eine Höhe von 4,50 m und eine Grundfläche von 288 m² haben, mit dem Großen Tropenhaus verbunden. Die Verbindung von der

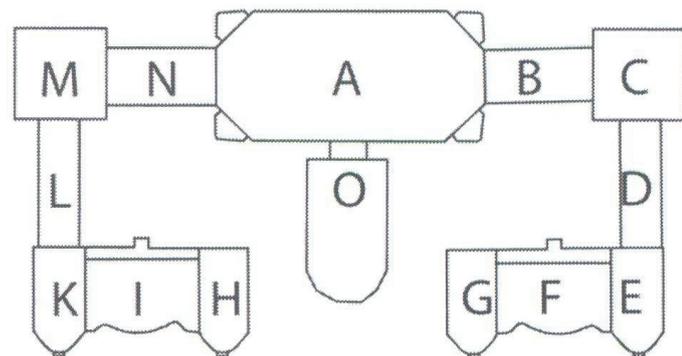


Bild 34: Lageplan mit Bezeichnung der einzelnen Gewächshäuser [32]

hinteren Gewächshausreihe zu der vorderen wird durch die noch flacheren Gewächshäuser D und L mit einer Höhe von 3,30 m und einer Grundfläche von 231 m² hergestellt.

Mit einer Firsthöhe von 9,30 m und einer Grundfläche von 154 m² wurden vier gleich große Gewächshäuser E, G, H und K in vorderster Front gebaut. Zwischen jeweils zwei dieser Gewächshäuser befanden sich die 4,50 m flachen Häuser F und I mit einer Grundfläche von jeweils 191 m². Leider wurden die Gewächshäuser in der vorderen Reihe alle zwischen 1979 und 1987 abgebrochen und durch Neubauten ersetzt. Die Fronten waren nun nicht mehr glatt, sondern gerundet. Als Gründe für diese Maßnahme werden baulicher Verfall und wachsender Raumbedarf genannt.

Weiterhin befindet sich auf der Anlage etwas abseits der anderen Gewächshäuser das Kalthaus für Subtropische Gewächse, auch Mittelmeerhaus genannt (Bild 35). Das Gebäude ist eine dreischiffige Anlage mit zwei Portaltürmen. Die Grundfläche dieses Bauwerks beträgt 878 m² und es hat eine Firsthöhe von 15,80 m. Das Dach wird von Fachwerkbindern getragen, die wiederum werden von schlanken, gusseisernen Säulen aufgenommen. Die Entfernung dieses Gewächshauses zu den anderen ergab sich technisch aus dem Abstand der notwendig war, um auch bei flachem Sonneneinfall im Winter eine Verschattung der anderen Bauten zu vermeiden.



Bild 35: Vorderansicht des „Mittelmeerhauses“ [32]

Das einzige Gewächshaus was nicht mehr existiert war das kleine Gewächshaus für koloniale Nutzpflanzen. Es lag etwas abseits der anderen Gewächshäuser im Kolonialgarten in der Nähe des Kesselhauses. Dieses Gebäude war von einfacher Gestalt. Es war 3,70 m hoch und hatte eine Grundfläche von 134 m². [23], [24], [25]

1.7 Personenaufzug Bad Schandau

Die Personenaufzugsanlage in Bad Schandau wurde im Jahre 1907 errichtet und gilt als erster elektrischer freistehender Personenaufzug. Das Tragwerk der Stahlskelettkonstruktion besteht aus einem 57 m hohen Aufzugsturm und einer 27 m langen bergseitigen Zugangsbrücke mit einer Λ -förmigen Zwischenstütze (Bild 36).



Bild 36: Ansicht Personenaufzug Bad Schandau [17]

Der freistehende elektrische Personenaufzug in Bad Schandau (sächsischen Schweiz) verbindet das Elbtal mit dem auf einem Hochplateau liegenden Stadtteil Ostrau. Da durch das Elbtal natürliche Grenzen für den Bau weiterer Anlagen

gesetzt waren, ließ der Hotelier, Stadtrat und Ehrenbürger Emil August Rudolf Sendig in den Jahren 1903-1904 auf dem am Elbtal angrenzenden Hochplateau „Ostrauer Scheibe“ eine Villenkolonie im Landhausstil bauen. Um dieses Gebiet zu erschließen ließ Sendig die Aufzugsanlage an der Bergstation errichten. Durch die topographischen Verhältnisse des Elbsandsteingebirges mit den steilen Hängen zur Elbe bot sich besonders der Bau eines Vertikalliftes anstelle einer Standseil- oder Zahnradbahn an.

Zur Planung und Ausführung der im Jugendstil gestalteten Aufzugsanlage wurden die Dresdner Firmen August Kühnenschurf & Söhne sowie Kelle & Hildebrand beauftragt. Die Aufzugsanlage wurde nach einjähriger Bauzeit im Jahre 1904 fertig gestellt und im April 1905 in Betrieb genommen. Die elektrisch betriebene Fördermaschine befindet sich in einem separaten Raum an der Talstation und die Umlenkrollen mit der Seilführung in der Turmspitze. Die Stahlskelettkonstruktion der Aufzugsanlage entspricht der damaligen feingliedrigen Bauweise. Der Turm ist 56,26 m hoch und hat vier im Quadrat angeordnete Eckstützen. Diese sind mit Kreuzstrebenfachwerken verbunden. Im unteren Feld wird der Zugang zur Aufzugskabine durch Portalrahmen ermöglicht. Die Stützenabstände betragen

am Fußpunkt 5,20 m und reduzieren sich nach oben hin auf 2,50 m. Die Stützenquerschnitte bestehen jeweils aus vier über die Höhe abgestuften Winkelprofilen, die über Binde- und Knotenbleche zu mehrteiligen Druckstäben miteinander verbunden sind. In einem vertikalen Abstand von 3,82 m wird der Turm in den unteren neuen Ebenen der Pfosten durch Horizontalverbände ausgesteift. Diese umschließen den „Aufzugsschacht“ der aus vier vertikal verlaufenden Winkelprofilen in den Ecken und horizontalen Einfassungen des Lichtraumprofils in den Verbandsebenen besteht. In der Höhe der Zugangsbrücke befindet sich eine Aussichtsplattform

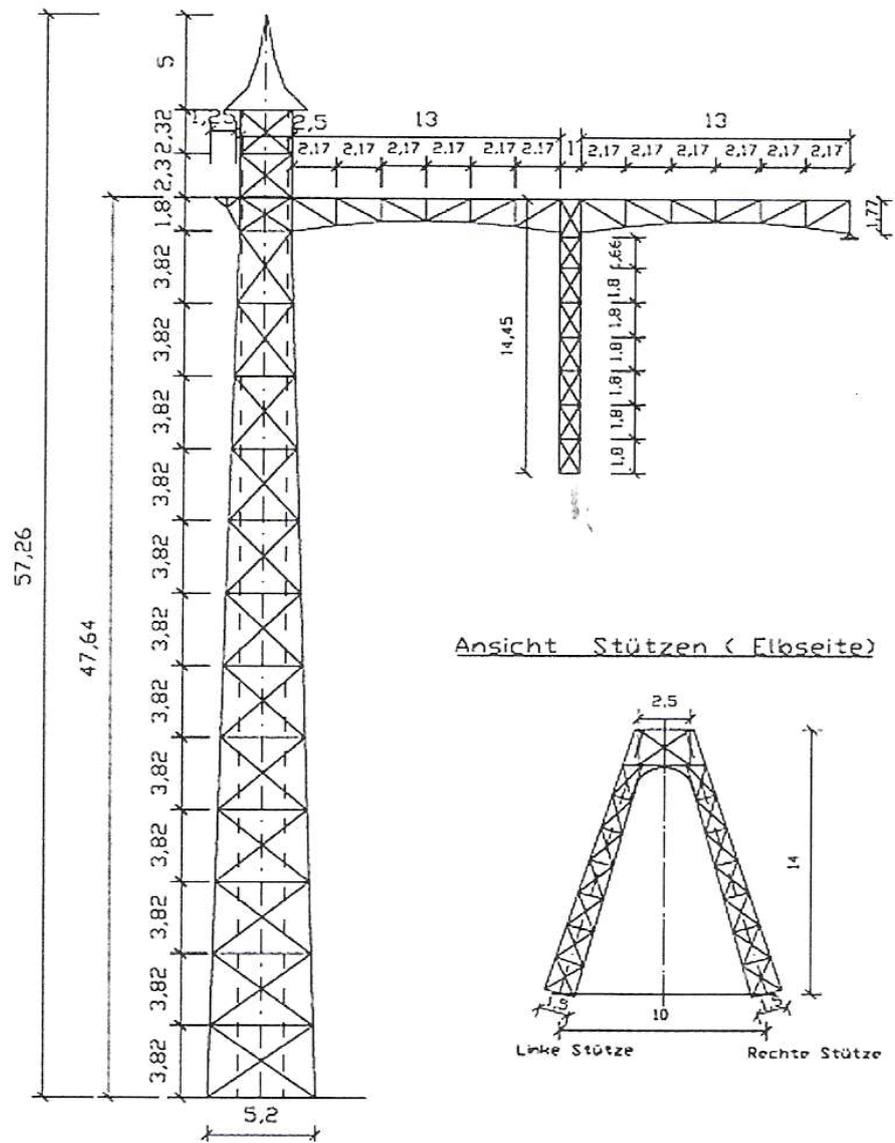


Bild 37: Zeichnung vom Personenaufzug [10]

die den Turm mit einer Breite von 1,25 m umfasst. Die Zugangsbrücke besitzt eine Gesamtlänge von 27 m und eine Breite von 2,50 m. Die zweifeldrige Fachwerkbrücke besteht aus zwei Hauptträgern mit Ständerfachwerken (Systemhöhe von 1,17 m bis 1,77 m), Querverbänden und einer in der Obergurtebene liegenden Gehwegkonstruktion. Der ursprünglich vorhandene Bohlenbelag wurde später durch eine orthotrop ausgesteifte Stahlplatte mit einem Asphaltbelag ersetzt. Die Untergurte der Fachwerkträger sind

bogenförmig nach oben gekrümmt und bestehen – wie die Füllstäbe – aus Winkelpaaren, die durch Niete und Schrauben in den Knotenblechen verbunden sind. Sie waren aber wegen der Vernachlässigung der Durchlaufwirkung zu schwach bemessen. Die Lagerung der Brücke erfolgt durch den Anschluss an den Aufzugsturm, ein Λ -förmiges Stützenpaar in der Mitte und als Widerlager im Fels. Die Λ -Stütze besteht aus zwei gegeneinander geneigten Gitterstäben. Sie ist 14 m hoch und hat eine Spreizung von 10 m zwischen den Fußpunkten. Die Eckwinkel der Gitterstäbe haben einen Abstand von 1,00 m x 1,50 m und werden mit Kreuzstrebenfachwerken verbunden, genauso wie der Turm. Die Gründung besteht aus zwei getrennten Betonfundamenten auf dem Fels (Bild 37).

Die Berechnung der Aufzugsanlage erfolgte damals an ebenen statischen Systemen für den Turm, die Zugangsbrücke und die Λ -Stütze (Mittelpfeiler) unter Berücksichtigung von Eigengewichts-, Nutz- und Windlasten. Die Brücke wurde als System aus zwei Einfeldträgern für vertikale Lasten ausgelegt. Zur Bestimmung der Windlasten auf die Λ -Stütze und das

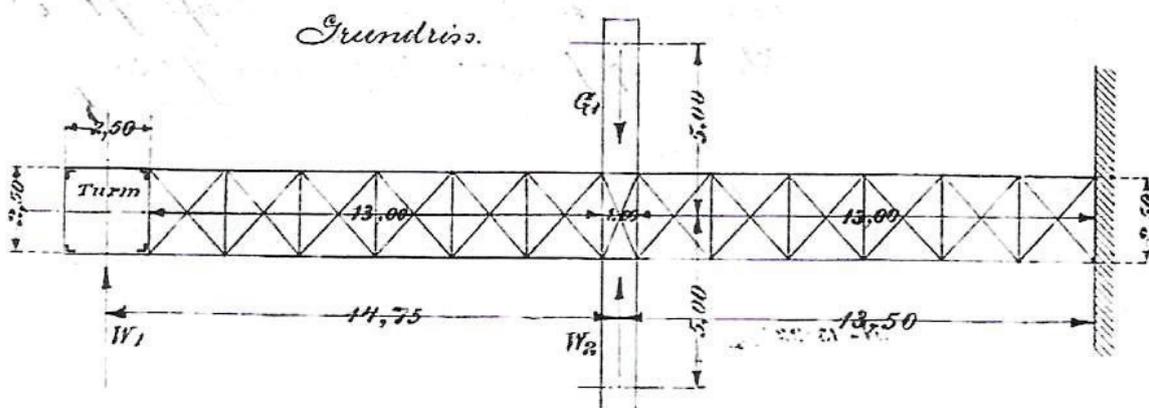


Bild 38: Skizze zur Berechnung der Windlast auf die Λ -Stütze [10]

Widerlager wurde die Brücke als Einfeldträger mit einem Kragarm betrachtet (Bild 38). Dabei wurde die Hälfte der Windlasten des Turms als Belastung auf das Ende des Kragarms angesetzt. Die mehrteiligen Druckstäbe (Stäbe mit zwei oder vier Winkelquerschnitten oder mit zwei U-Profilen) mit geringer Spreizung durch Binde- und Knotenbleche wurden als einteilige Stäbe bemessen. [13]

1.8 Die AEG – Turbinenhalle

Die AEG – Turbinenhalle wurde 1909 fertiggestellt und gilt allgemein als Werk des Architekten Peter Behrens, der 1907 -1914 Chefdesigner und Architekt bei der Firma AEG war. Das ist aber nicht ganz richtig. Im Jahre 1996 wurde unter der Leitung von Professor Wolfgang Schäche aus alten Bauakten belegt, dass die Bauzeichnungen von dem Bauingenieur Karl Bernhard signiert und abgezeichnet worden sind. Dies steht dafür, dass er den größten Anteil an der Planung trägt.

Karl Bernhard führte den Entwurf und die Berechnung der Halle durch und er wurde auch für die Bauleitung und Überwachung der technischen Vorschriften vorgestellt. Die Planungsarbeiten für die neue Halle dauerten vom

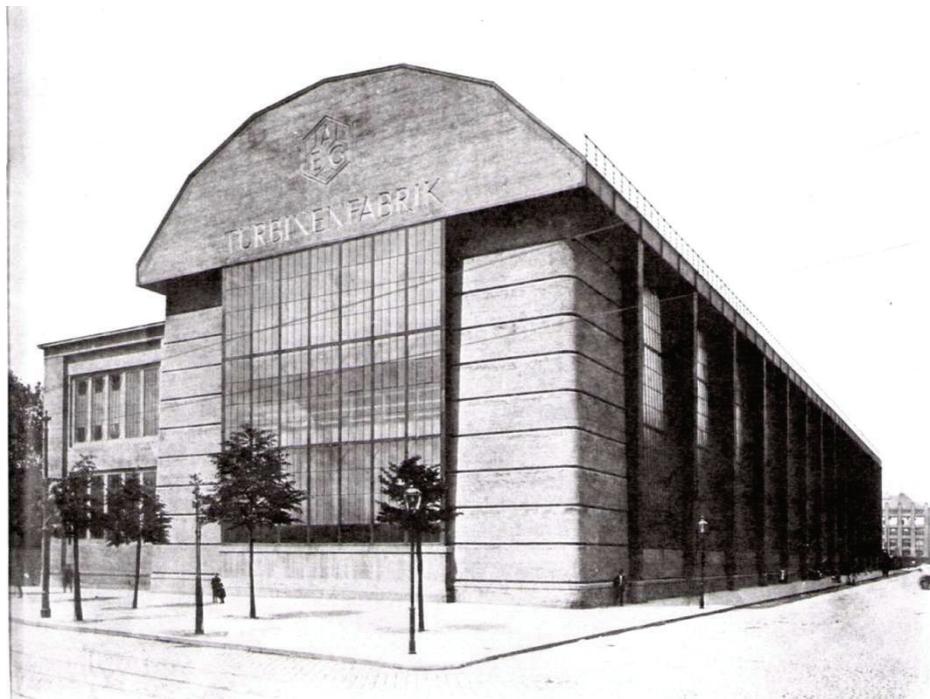


Bild 39: Frontansicht der Montagehalle der Turbinenfabrik [5]

Herbst 1908 bis zum Frühling 1909. Die Herstellung der Fundamente dauerten drei Monate und die Montage des Stahlbaus nahm weitere fünf Monate in Anspruch, so dass der erste Abschnitt der Turbinenhalle im Oktober 1909 fertiggestellt wurde. Der neuartige, helle, ordentliche und saubere Industriebau mit den ungewöhnlichen Fassaden, mit Kränen, die zusammen bis zu 100 Tonnen bewegen konnten, und mit einer Kellerdecke die für Lasten von 10 t/m² ausgelegt war, erregte großes Aufsehen.

Die Turbinenhalle war ein Eisen – Glas – Betonbau mit einer Länge von 123 m zur Seite der Berlichingenstraße hin, welche ursprünglich eigentlich auf 207 m konzipiert war und einer Breite von 40 m an der Huttenstraßenfront. Der Gesamtbau besteht aus einer Haupthalle mit 26,6 m Stützweite und aus einer zweistöckigen, unterkellerten Seitenhalle. Die Höhen der einzelnen Räume ergaben sich aus den Höhen des jeweiligen Krans. Diese Höhen waren aus Betriebsrücksichten festgelegt. Das Tragwerk der Halle ist durch 22 eiserne Binder

gebildet die in einem Abstand von 9,22 m eingebaut wurden. Dieser Binderabstand wurde mit Rücksicht auf die Einmündung der



Bild 40: Innenansicht der Turbinenhalle [61]

Eisenbahngleise in die Halle bestimmt. Die Binder waren als Dreigelenkbogen mit Zugband ausgebildet. Für die Seitenhallen wurden Zwischenbinder angeordnet und über der Haupthalle im Scheitel ist ein Oberlicht eingebaut, dass auch zur Belüftung dient.

Bei der architektonischen Umsetzung an der Turbinenhalle wurden gleich drei Lösungen zur Gestaltung der Fassaden umgesetzt. An der Längsseite zur Berlichingenstraße wurde alles Konstruktive besonders hervorgehoben. So wurde das konstruktiv ausreichende Eisenstabgitter durch vollwandige Binder ersetzt. Diese Binder wurden mächtig mit dem Betonsockel verzahnt und 30 cm nach außen über die Bauflucht gesetzt. Dies wurde offenbar aus ästhetischen Gründen entworfen und ausgeführt. Im Zusammenspiel mit den großen, geneigten und hinter den Bindern zurückgesetzten Fenstern wird dem Betrachter die konstruktive Funktion der einzelnen Bauglieder nahezu vorgeführt. An der Seitenfront der Nebenhalle wurde die Fassade anders gestaltet. An diesem hinter die Haupthalle gesetzten Seitenteil, mit der zum Fabrikhof gelegenen Front, sind zwischen den Eisenstützen

breite, eiserne Horizontalbänder und große Fenster zu sehen. Sie werden von einer blechverkleideten Ziegelausfachung abgeschlossen. Bestimmende Elemente der Giebelfront zur Huttenstraße sind der mächtige gebrochene Betongiebel, das bündig mit ihm abschließende Fenster und die durch horizontale Eisenbänder gegliederten Eckpylonen. Die Eckpylonen haben aber keine tragende Wirkung, wie es zunächst bei Betrachten den Anschein erwecken könnte. Jedermann sieht den Giebel als wuchtigen Betonbau an, zwei Eckpfeiler mit hohem Giebelfelde.

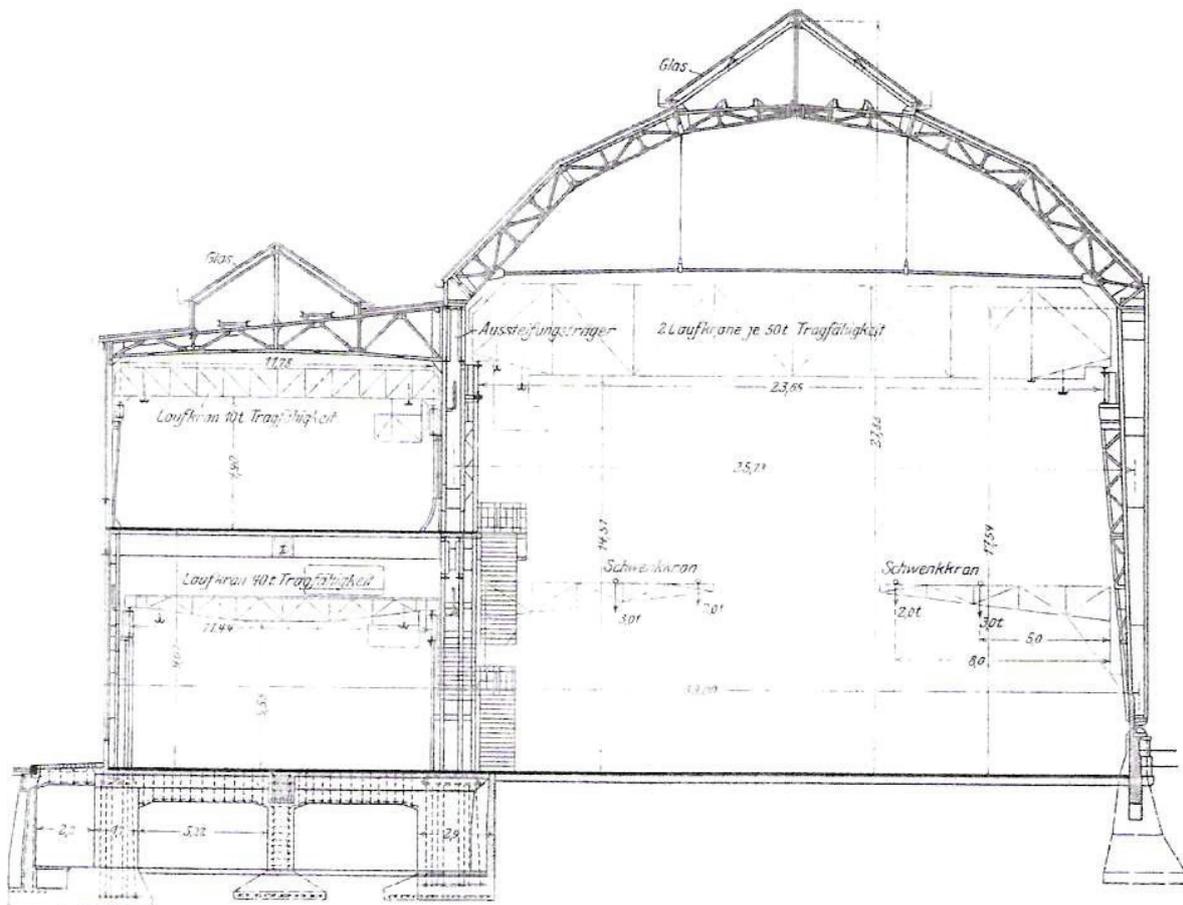


Bild 41: Konstruktionszeichnung der Turbinenhalle von Bernhard [6]

Die Turbinenhalle der AEG verhalf den Architekten dazu, sich nun auch auf dem Gebiet des Industriebaus zu betätigen. Des Weiteren war die Halle ein Versuch, die Gegensätze zwischen Ingenieur und Architekt aus dem Weg zu räumen. Dabei hat sich aber auch die Problematik ihrer Zusammenarbeit gezeigt. [7], [8]

1.9 Das Schiffshebwerk in Niederfinow

Im Frühjahr 1934 wurde das Schiffshebwerk Niederfinow im Land Brandenburg als eines der bedeutendsten Projekte der Reichswasserstraßenverwaltung zum Ausbau der Havel – Oder – Wasserstraße dem Schiffsverkehr übergeben. Nach 8 Jahren Bauzeit stand damit ein Bauwerk zur Verfügung, das die Leistungsfähigkeit des Oder – Havel –Kanals (Hohenzollernkanal) erheblich steigerte (Bild 42).

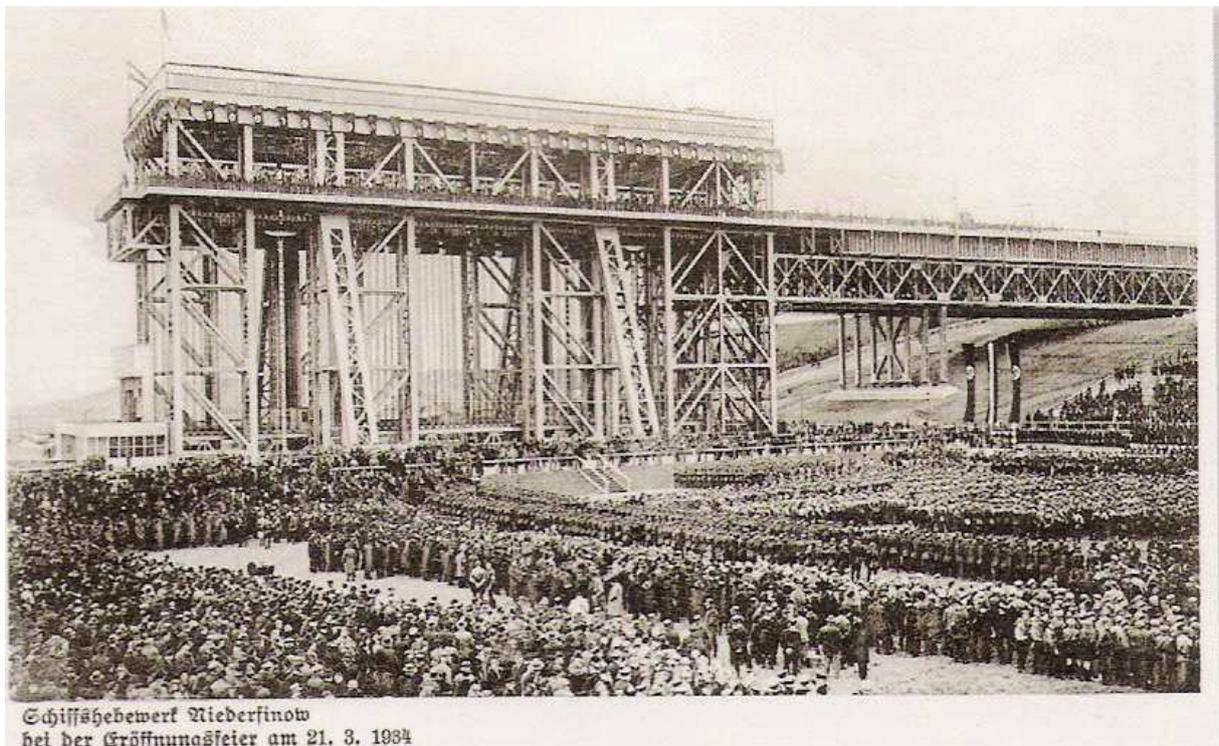


Bild 42: Postkarte von der Eröffnung [9]

Die Schiffe werden durch einen mit Wasser gefüllten Trog, der auf beiden Seiten durch Hubtore abgeschlossen wird, gehoben oder gesenkt (Bild 43). Er wiegt in gefülltem Zustand etwa 4300 t und das ohne Änderung bei ein- und ausfahrenden Schiffen. Es liegt daran, dass das ein- und ausfließende Wasser der jeweiligen Schiffstonnage entspricht. Um diese Last aufnehmen zu können war ein Tragwerk zu erstellen, das diesen Anforderungen gewachsen war.

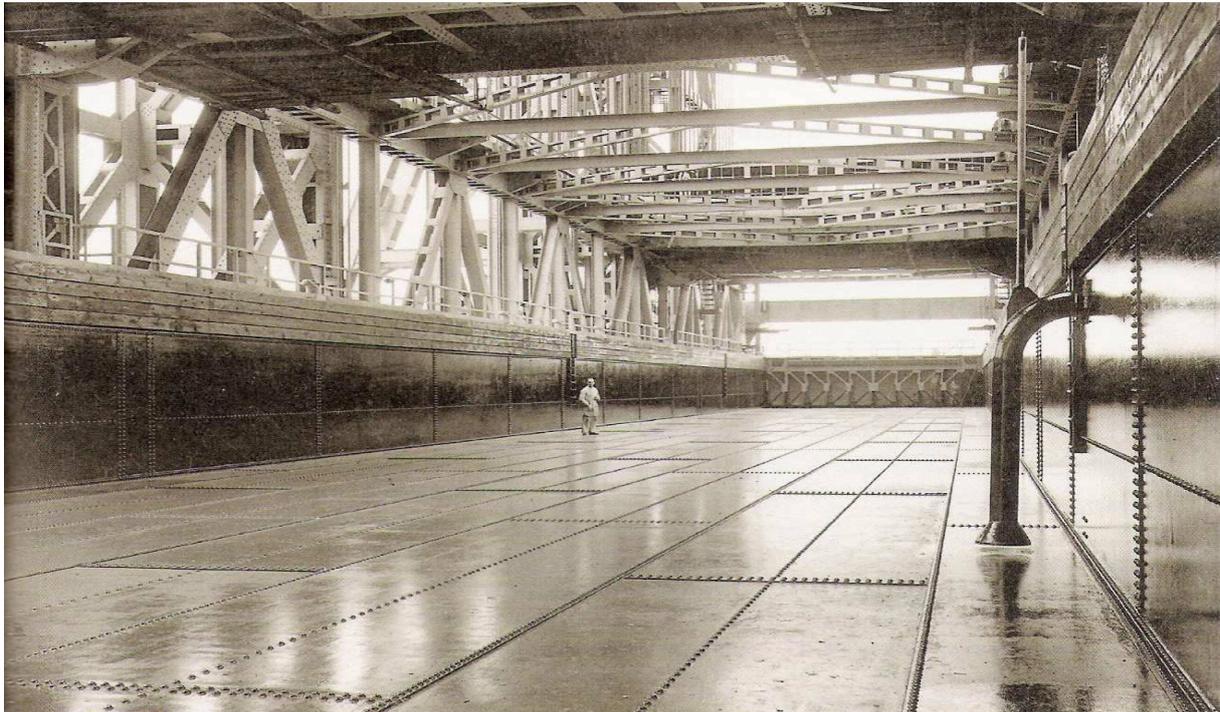


Bild 43: Der Trog [9]

Eigentlich handelt diese Arbeit von den Stahltragwerken, aber es wird bei diesem Bauwerk auch auf die Gründung eingegangen, da sich die Gegebenheiten auch auf das Tragwerk auswirken. Da der Baugrund nicht überall standfest genug war, spielte das eine Rolle zur Wahl des genauen Standortes des Hebewerkes. Als Ergebnis aus den drei Bodengutachten wurde das Hebewerk vom Hang abgerückt, wodurch eine längere Zuführungsbrücke mit einer gleichen

Gründungstiefe für die Fundamente wie für die Bodenplatte notwendig wurde (Bild 44). Die Bodenplatte aus Eisenbeton (111 m lang, 34 m breit, 8 m stark) und die wasserdichte

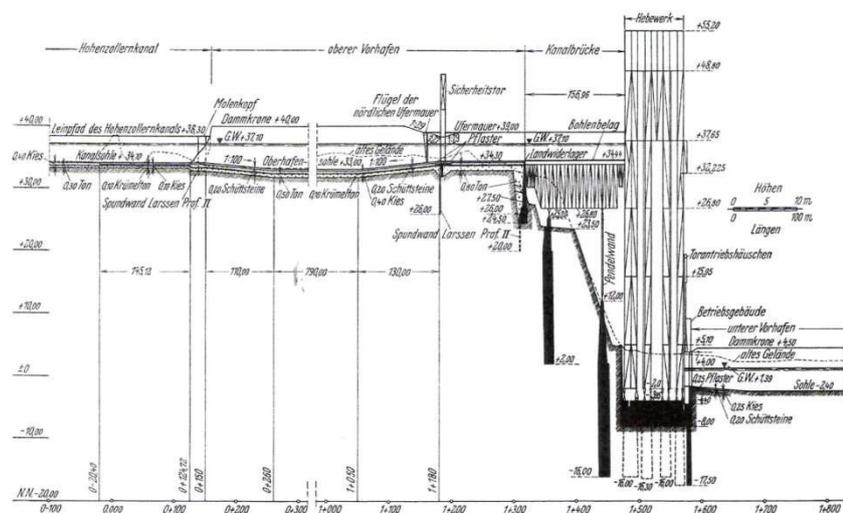


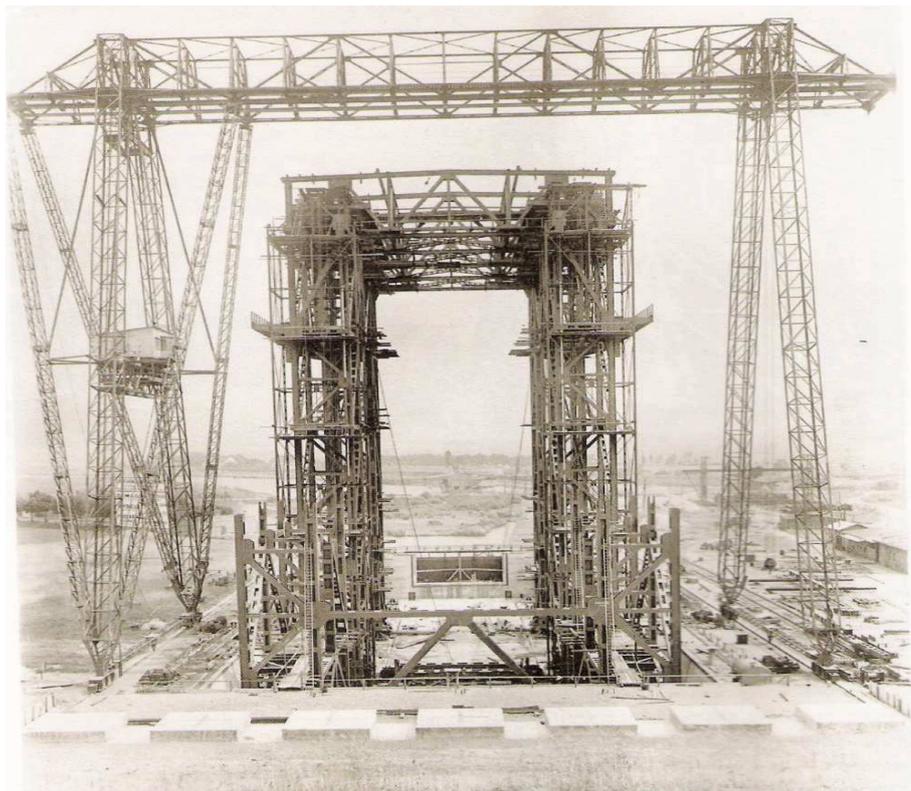
Bild 44: Längsschnitt mit Gründungspfählen [10]

Trogkammer (nutzbare Weite: 97,65 m Länge, 29,10 m Breite, 7,90 m Tiefe)

wurden auf 9 Senkkästen (Betonpfeiler) etwa 20 m unter dem Geländeniveau gegründet. Die 20 m setzen sich wie folgt zusammen: 8 m tiefe Trogwanne, 4 m starke Sohlplatte und 8 m hohe Senkkästen. Die Baugrube enthielt rund 150.000 m³ Bodenaushub.

Der Stahlbau wurde aus Erfahrungen im Brücken- und Maschinenbau realisiert. Das Gerüst des Schiffshebewerks besteht aus acht Zweigelenkrahmen. Die Zweigelenkrahmen sind durch Windverbände miteinander verbunden. Vier Zweigelenkrahmen bilden den seitlich abgestützten Mittelteil, der die Zahnstockleitern und die Mutterbackensäulen für den Drehriegel aufnimmt. Der Ost- und Westteil wird mit dem Mittelteil über durchlaufende Seilscheibenträger verbunden. Das aus Baustahl ST 37 (heute S 235 JRG2) hergestellte Gerüst war 94 m lang, 60 m hoch und 27 m breit. Es trägt die bewegte Last von etwa 8.580 t aus dem gefülltem Trog

und den Gegengewichten entspricht. Dieses Gerüst wurde nach Vorbereitungen im Winter 1931/32 innerhalb eines Jahres zwischen dem Frühjahr 1931 und dem Frühjahr 1932 mithilfe eines extra dafür errichteten Montagekrans



aufgestellt und montiert (Bild 45). Der kräftige Westteil trägt den auftretenden horizontalen Wasserdruck ab, der aus zwei Verbänden bestehende Mittelteil trägt die Zahnstangen und ist gegen seitliche Schwingungen durch vier Streben gesichert. Um zu verhindern, dass das Tor durch ein anprallendes Schiff heraus gestoßen werden kann, trägt der schmale Ostteil in Höhe der

obersten Trogstellung einen auskragenden, kräftigen Prellbalken. Dieser soll auch bei einer möglichen Havarie des oberen Gegenhalters den Trog gegen aufschwingen schützen. Die wuchtige Erscheinungsform des Bauwerks zeigt eine zweckmäßige, in sich funktionell geschlossene Gestaltung. Das Stahlgerüst besteht aus einem weitmaschigen Dreiecksfachwerk. Der Brückensteg wurde horizontal zum Hebewerksgerüst fortgeführt (Bild 42).

Im Zentrum der Maschinentechnik für die Trogfahrt stehen vier Antriebe aus je einer am Gerüst befestigten Zahnstange (Zahnstockleiter) über die gesamte Hubhöhe und je einem Antriebsritzel, welches am Trog installiert ist. Über eine Wellenringleitung sind die vier Antriebsmaschinen über dem Trog in den Maschinenhäusern verbunden. Die elektrischen Antriebe sind Gleichstromnebenschluss – Motoren und haben nur jeweils eine Leistung von 55 kW, was etwa 75 PS entspricht. Die Drehzahl der vier Fahrmotoren wird automatisch während der Trogfahrt vom Anfahren bis zum Anhalten geregelt und liegt bei 60 bis 700 U/min. Mit dem Antrieb ist ein Sicherheitssystem verbunden, in dem sich vier Schraubspindeln innerhalb einer zweifach geschlitzten Mutter (Mutterbackensäule) synchron zur Trogfahrt drehen (Bild 5). [9], [10], [11]

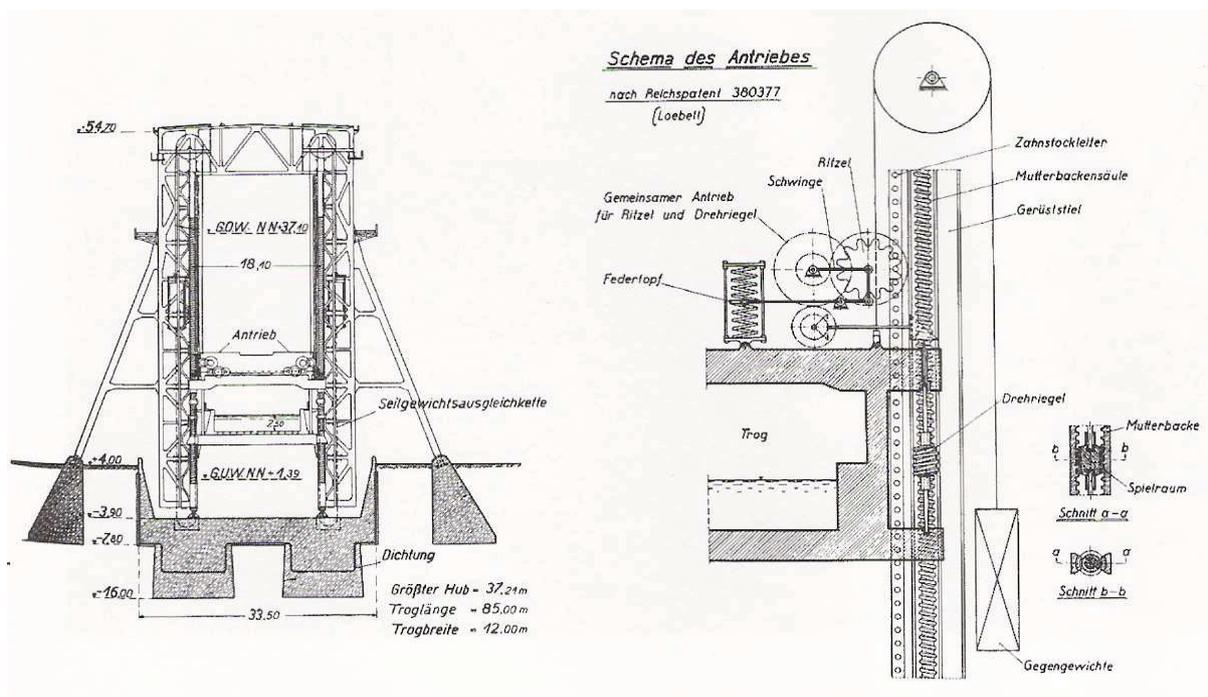


Bild 46: Querschnitt des Antriebs und des Sicherheitssystems [9]

Dieses System funktioniert folgender Weise: „Es ist möglich, mit der Triebstockverzahnung das Hebewerk zu betreiben, solange der Gleichgewichtszustand nicht wesentlich gestört wird. Wird dieser aber in erheblicher Weise gestört, dann erhalten der Trog oder die Gegengewichte ein Übergewicht, das bei gänzlichem Leerlauf des Troges zu Belastungen bis zu 650 t für jedes Ritzel führen würde. Für so große Störungskräfte können Zahnstangengetriebe in wirtschaftlichen Abmessungen nicht hergestellt werden. Solch große Kräfte sind nur durch Schraubenspindeln aufzunehmen. Infolgedessen ist es notwendig, dass neben diesem Zahnstangenantrieb noch Spindeln eingeschaltet werden, in der Zeichnung „Drehriegel“ genannt, die sich in langen geschlitzten Muttern (Mutterbackensäulen) bewegen. Diese verhindern ein Hochschnellen oder Herabfallen des Troges unter der Überlast der Gegengewichte oder des Troges, wenn die vier Ritzel des Zahnstangenantriebes unter einer zu großen Störungslast ausgewichen sind. Damit nun diese Ritzel unschädlich ausweichen können, werden ihre Lager durch vorgespannte Federn in einer bestimmten Lage gehalten. Die Vorspannung der Federn wird so eingestellt, dass die gewöhnlichen Bewegungswiderstände sie nicht überwinden können (Bild 46).“[9]

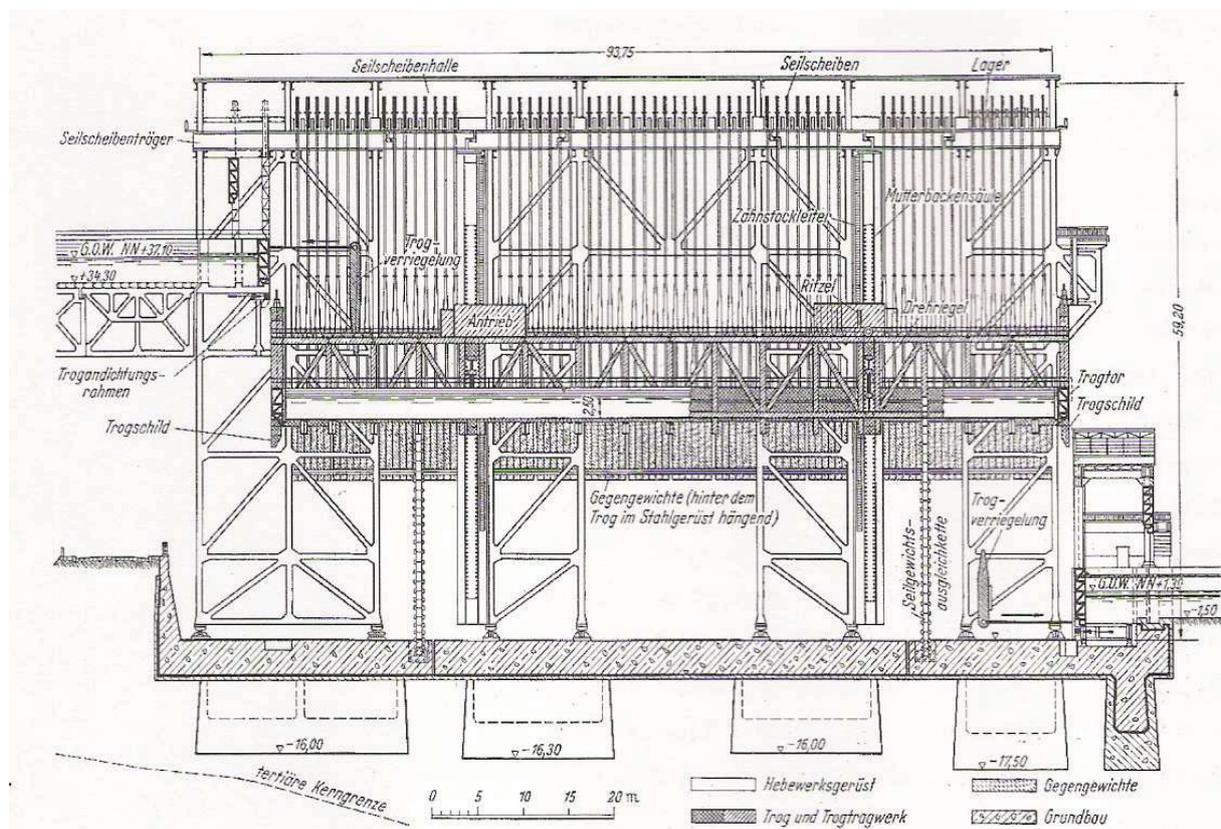


Bild 47: Längsschnitt [9]

Da im Schiffstrog zwischen den beiden Längsseiten des Stahlgerüsts Schiffe schwimmend gehoben und gesenkt werden, richtete sich die Bemessung nach dem seinerzeit größten Kanalschiff, dem 1000-t-Schiff. Alternativ dazu wurden vier Finow Kähne, ein Berliner Maßkahn und zwei Finow Kähne oder ein kleiner Eildampfer mit einem Berliner Maßkahn als Anhang angesetzt. Im Gegensatz zum Gerüst, bei dem ST 37 verwendet worden war, nahm man für den Trog den höherwertigen, gewichtsparenden Stahl ST 52 (heute S 355 J2G3). Dieser höherwertige Stahl wurde ebenso für die Tore und die Mutterbackenstücke verwendet. Der Trog der mit Wasser gefüllt etwa 4.290 t wiegt, wird von 192 Beton-Gegengewichten zu je 21 t und zusätzlichen Unterseilen ausgeglichen. Wie schon erwähnt ist es nach dem archimedischen Prinzip gleich ob sich ein Schiff im Trog befindet oder nicht. Die Gegengewichte und der Trog sind mit insgesamt 256 Seilen mit einem Durchmesser von 52 mm und einer Länge von 56,70 m verbunden. Dabei sind die Seile paarweise über zweirillige Seilscheiben (Bild 49) geführt. Es sind 64 Seile an die Führungsrahmen der Gegengewichte angeschlossen und diese haben eine jeweilige Traglast von 4 t. Des Weiteren sind 69 weniger stark ausgelegte Seile am Hebewerk eingesetzt, an den Trog-, Haltungs- und Hilfstoren, an den Stoßbalken, bei den Seiltreidelanlagen und den Treidellockomotiven, bei den Aufzügen, dem Dachkran und am Sicherheitstor.

Die Seilkonfiguration war das Ergebnis eingehender Vergleiche und Belastungsversuche, u.a. auf einer eigens entwickelten Biegemaschine. Die verschiedenen Seilversuche bezogen sich auf unterschiedliche Seilarten, auf Seilstärken, Seilsteifigkeit und Seilabnutzungen im Dauerbetrieb unter Last. Den Seiltöpfen galten eigene Versuchsreihen. Die Seile erhielten auf einer ebenfalls eigens entwickelten Maschine ihre bleibende Dehnung (Bild 48). Nach diesen

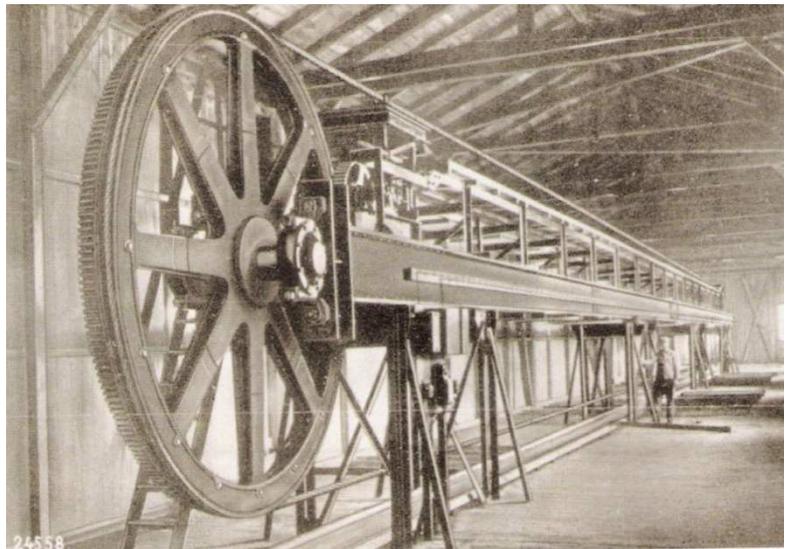


Bild 48: Seilreckmaschine mit 60 t Zugkraft [9]

ganzen Versuchen wurde die voraussichtliche Lebensdauer der ausgewählten Rundlitzen – Längsschlagseile der Firma Felten & Guillaume Carlwerk A.G. auf 30 Jahre festgelegt.

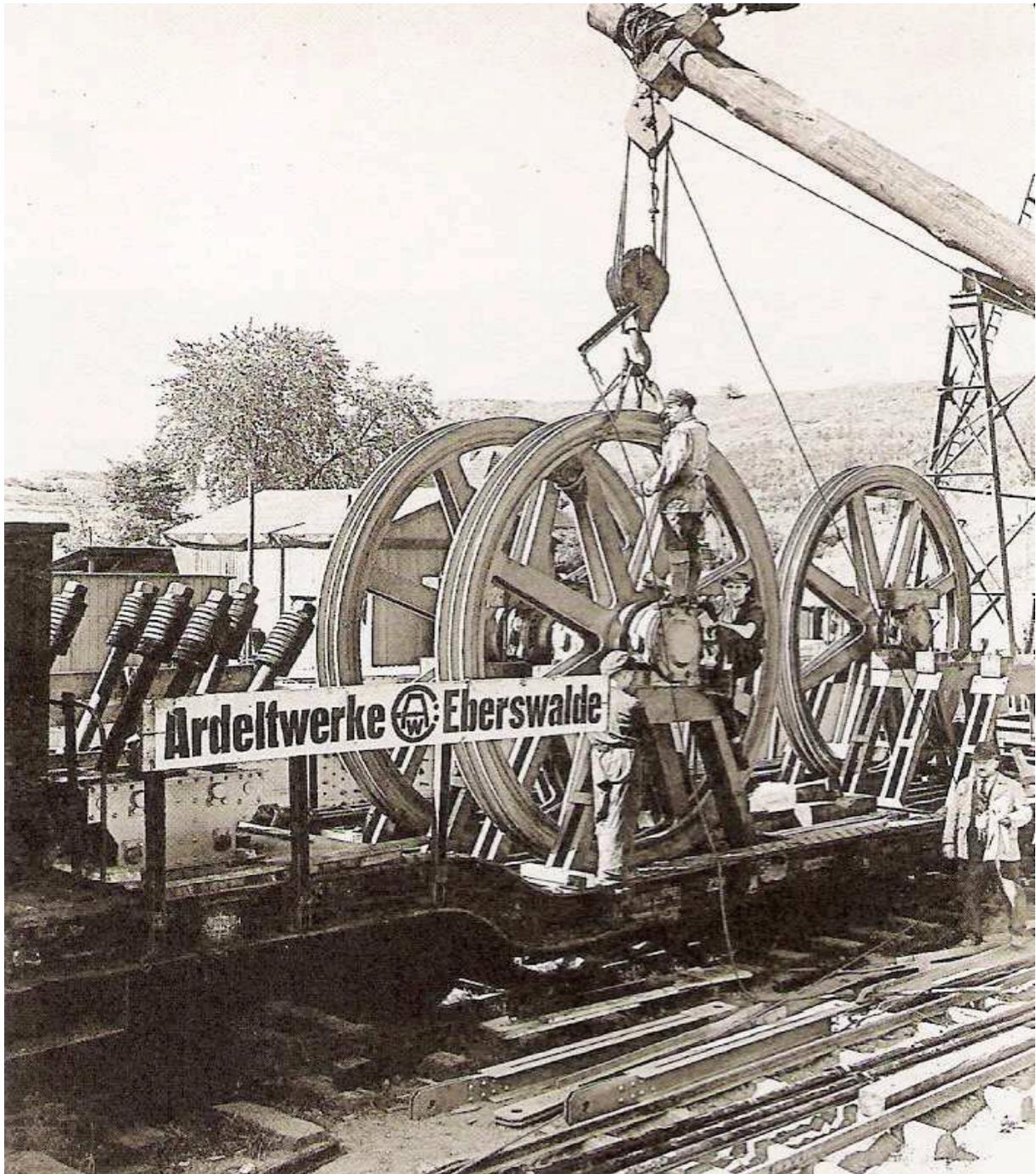


Bild 49: Vorbereitung der Seilscheiben zum Einbau [9]

Zum Ende der Beschreibung des Schiffshebewerkes Niederfinow wird nochmal auf die technischen Daten des Bauwerks eingegangen. Der Baubeginn war bereits 1927 und wenn man die ersten Probeabsenkungen des Grundwassers betrachtet bereits 1925. Die feierliche

Inbetriebnahme fand am 21. März 1934 statt, was eine reine Bauzeit von etwa 7 Jahren bedeutet. Dabei lagen die Gesamtkosten bei damaligen 27,5 Mio. Reichsmark. Die Gesamtabmessungen des Hebewerks betragen wie schon mal erläutert eine Länge von 94 m, eine Breite von 27 m und eine Höhe von 60 m. Das Gesamtgewicht des Stahlbaus für das Gerüst beträgt 6.500 t und der Stahlbedarf insgesamt lag bei 13.800 t. Die Abmessungen des Trogs liegen bei einer Länge von 85 m, einer Breite von 12 m und einer Wassertiefe von 2,50 m. Das Leergewicht des Trogs beträgt 965 t und 1.600 t mit Installationen. Einschließlich Installationen und Wasserfüllung werden daraus 4290 t wie bereits erwähnt. Die Trogbrücke hat dagegen ein Gesamtgewicht von 4.000 t und ist als Gerberträger auf vier Stützen mit je einem Gelenk in den beiden Außenöffnungen ausgeführt. Dabei beträgt das Troggewicht alleine lediglich 900 t. Das Trogtor ist 12,50 m breit und 3,50 m hoch. Es hat ein Gewicht von 23 t. [9], [10], [11]

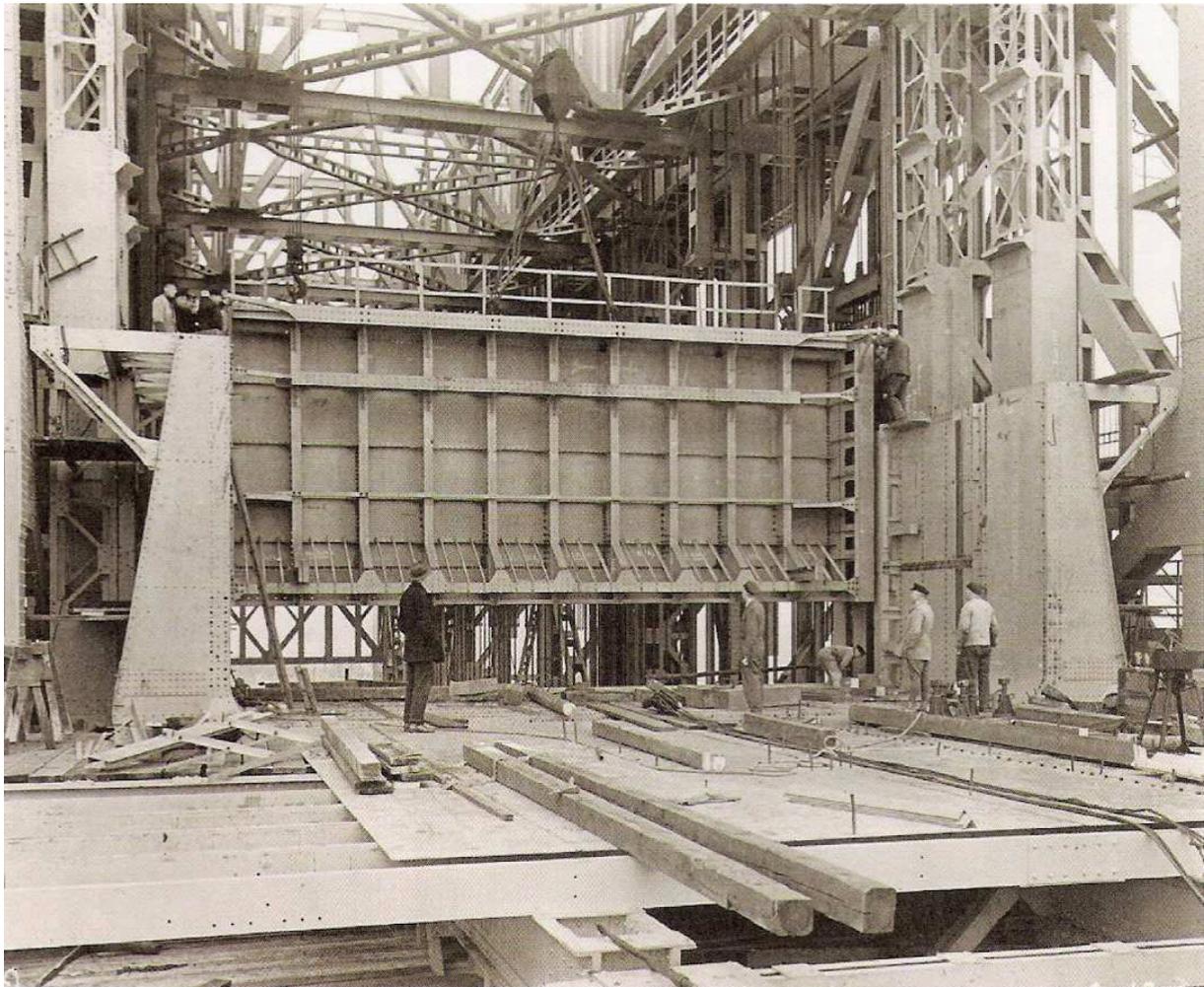


Bild 50: Fertigstellung des oberen Haltungstors [9]

„Historische Ingenieurbauwerke erzählen von der Genialität früherer Ingenieurgenerationen und spornen mit ihrem Beispiel zu neuen Leistungen an. Nur wer auf dem Besten vergangener Zeiten aufbaut, kann mit seiner Kreativität die Zukunft erfolgreich gestalten. Deshalb ehrt die Bundesingenieurkammer seit 2007 Ingenieurbauwerke die wichtig für die Entwicklung des deutschen Bauingenieurwesens waren, mit dem Titel: „Historisches Wahrzeichen der Ingenieurbaukunst“. Die betreffenden Bauwerke müssen sich in Deutschland befinden und älter als 50 Jahre sein. Mit der Auszeichnung eines Objekts ist die

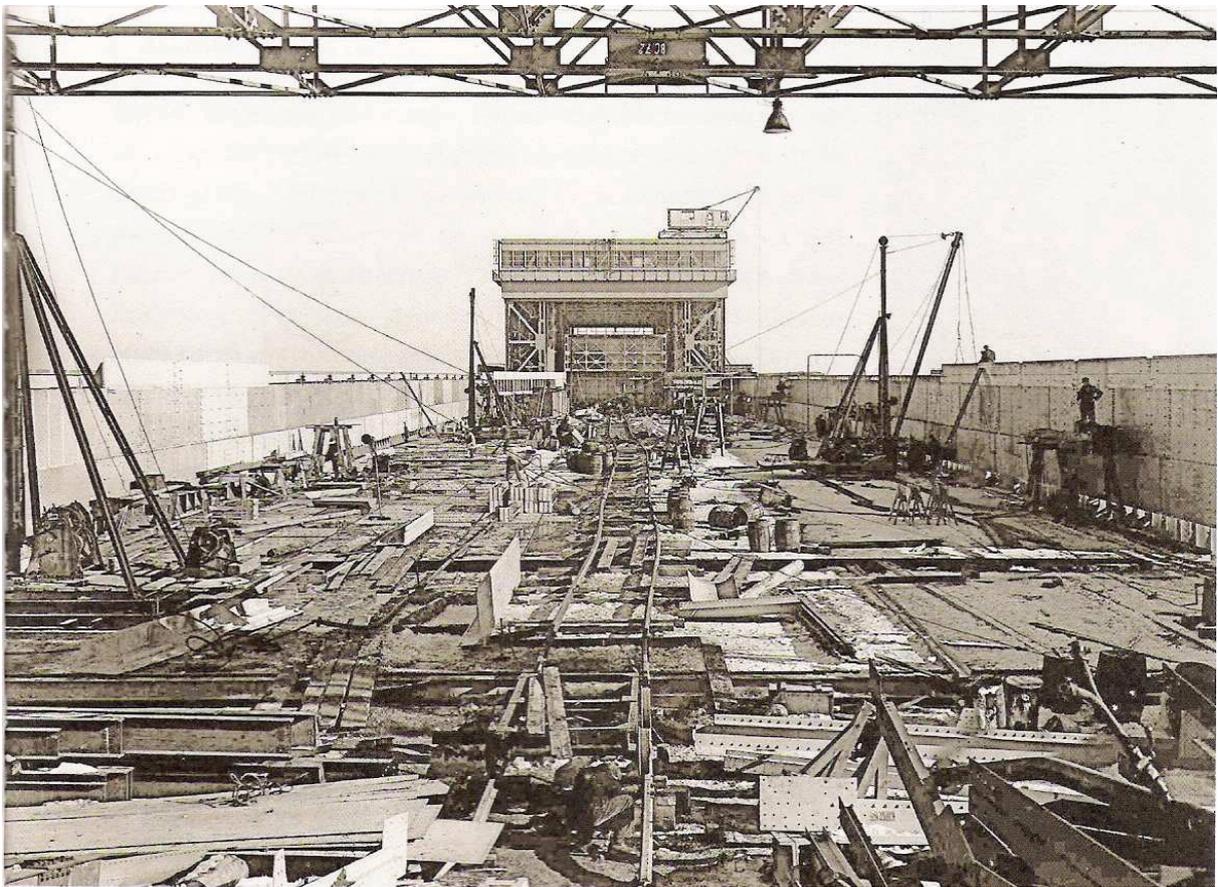


Bild 51: Blick vom Sicherheitstor über die Trogbrücke auf das Oberhaupt des Hebewerks [9]

feierliche Einweihung einer Tafel am Bauwerk verbunden. Begleitend zur Verleihung des Titels erscheint eine Publikation zu jedem ausgezeichneten Ingenieurbauwerk. Die Ehrung mit dem Titel „Historisches Wahrzeichen der Ingenieurbaukunst“ soll dazu beitragen, ein größeres Bewusstsein für Ingenieurbaukunst zu schaffen. Brücken, Türme und Tunnel bilden einen wesentlichen Bestandteil unserer Baukultur. Nicht zuletzt soll die Auszeichnung junge Menschen für den Ingenieurberuf begeistern. Am 5. Dezember 2007 wurde das alte Schiffshebewerk in Niederfinow als erstes Ingenieurbauwerk mit diesem Titel ausgezeichnet.

Das Schiffshebewerk ist nicht nach dem Muster einer eindimensionalen Erfolgsgeschichte zwischen Problem und Problemlösung entstanden. Seine Geschichte ist vielschichtig. Es war nicht die einzig mögliche technische Lösung für das gestellte Problem, aber so wie sie von den Ingenieuren entwickelt und umgesetzt wurde, ist das Hebewerk Niederfinow zu Recht ein historisches Wahrzeichen der Ingenieurbaukunst in Deutschland geworden. Seit der Inbetriebnahme arbeitete das Hebewerk bis heute nahezu störungsfrei. Gegenwärtige Planungen gehen davon aus, dass das alte Schiffshebewerk Niederfinow bis zum Jahr 2025 weiterarbeiten wird.“ [12]

2. Der Wiegmann-Polonceau-Träger

Zu den beliebtesten Tragsystemen im Eisenhochbau der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts zählte der Wiegmann-Polonceau-Träger. Die Entwicklung vom hölzernen Dachbinder über das Hängewerk bis hin zum unterspannten, vollkommen in Guss- und Schmiedeeisen gefügtem Tragwerk zeigt Bild 52. Dieses System wurde voneinander unabhängig von den Ingenieuren Wiegmann im Jahre 1836 und Polonceau im Jahre 1839 entwickelt.

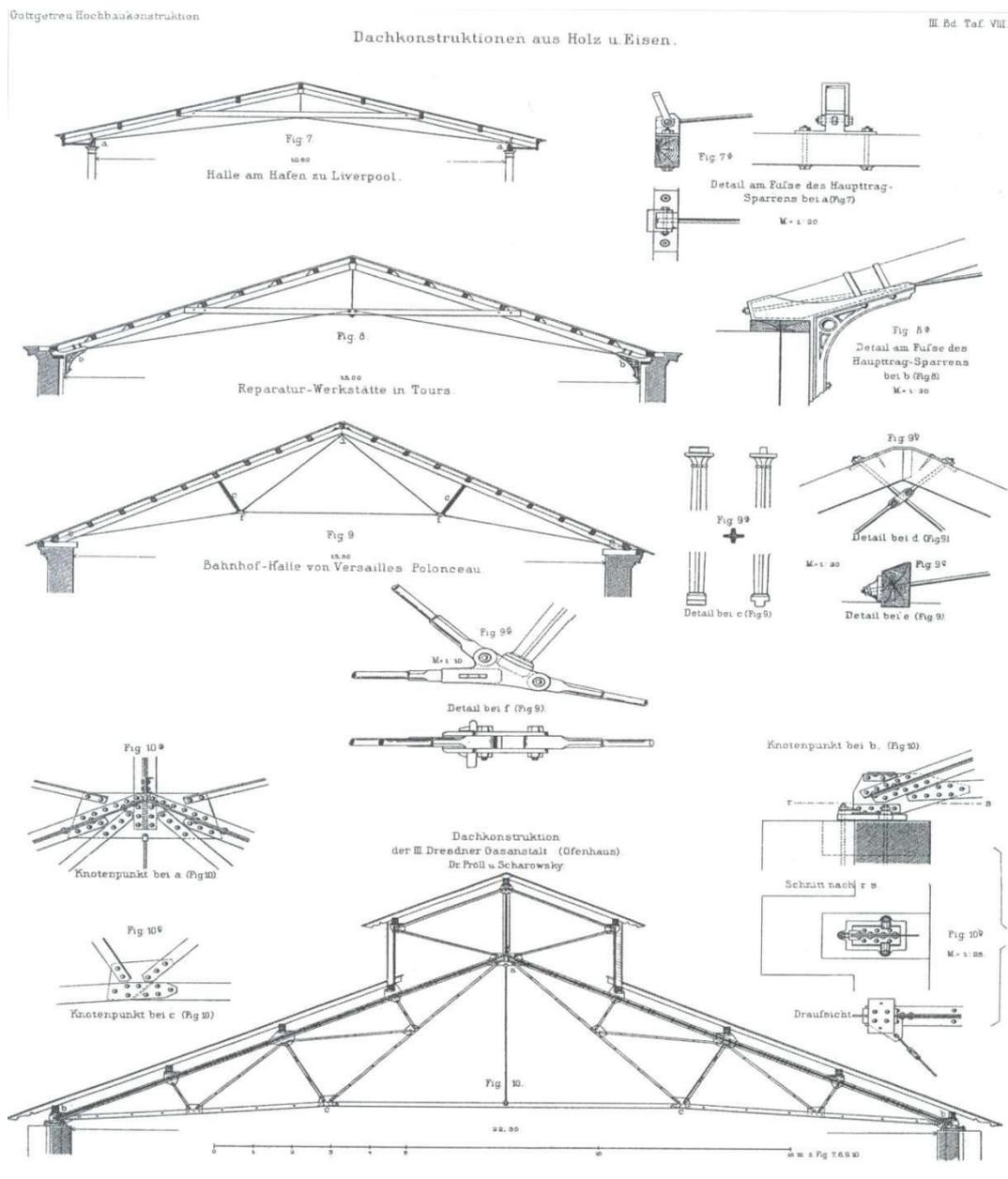


Bild 52: Dachkonstruktionen aus Holz und Eisen [21]

2.1 Entstehung des Systems

In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts setzte sich bei der Konstruktion von Stabtragwerken langsam die Erkenntnis durch, das Tragwerk aus einzelnen unverschieblichen Stabdreiecken zusammenzubauen. Die Idee eines „Dreiecksystems“ verbreitete sich, ohne dass damit gleichzeitig die Vorstellung einer gelenkigen Verbindung der Stäbe in den Knoten einhergegangen wäre, die wir heute mit dem Thema Dreiecksfachwerk verbinden. Diese Systeme lösten die traditionellen zimmermannsmäßigen Holzkonstruktionen (Sprengwerk, Hängewerk, „liegender Stuhl“) sehr schnell ab. Dies geschah deshalb, weil sich die Erkenntnis langsam durchsetzte, dass die traditionellen Systeme nur unter der Voraussetzung absolut unverschieblicher Auflager stabil sind.

Der Wiegmann-Polonceau-Träger ist ein typisches Beispiel für Konstruktionen nach dem „Dreieckssystem“ und er stellte sich als eine besonders attraktive Form des ebenen Stabwerks heraus. Das Prinzip dieses Trägersystems wurde 1839 jeweils fast zeitgleich von R. Wiegmann und C. Polonceau veröffentlicht. Eine deutsche Übersetzung des Aufsatzes von Polonceau in der Wiener Allgemeinen Bauzeitung 1840 machte diesen Träger auch gleich in Deutschland bekannt. Es handelt sich um einen geraden Balken mit einem Zwischenaufleger, das seinerseits durch eine Unterspannung in geknickter Linienführung gehalten wird. Eine Beschreibung Wiegmanns lautete wie folgt: „Dieses Spannwerk ist das Umgekehrte der gewöhnlichen Sprengwerke zwischen zwei verbundenen Punkten.“ Zwei solcher Balken als Sparren gegeneinander gestellt ergibt ein Sparrendach. Dessen Horizontalkräfte werden durch eine weitere Zugstange kurzgeschlossen.

Das Prinzip des Wiegmann-Polonceau-Trägers lag damals in der Luft, denn alles spricht dafür, dass die Arbeiten der beiden Namensgeber völlig unabhängig voneinander entstanden. Der unterspannte Balken als solcher war schon längere Zeit bekannt (Bild 53).

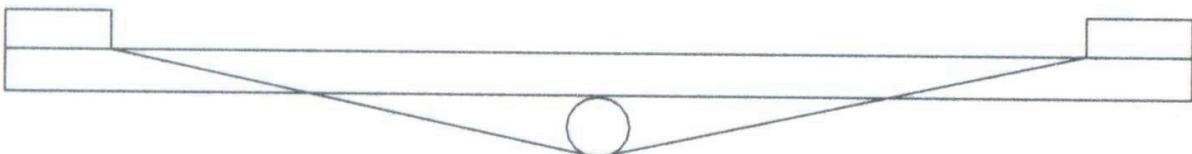


Bild 53: Prinzipskizze unterspannter Balken [21]

Dadurch bestand die Leistung der beiden Entwickler lediglich darin, zwei Balken als Sparren gegeneinander zu legen und zu einem Sparrendach mit Zugstange zu verbinden, wie bereits schon erläutert.

Die Vorteile des Wiegmann-Polonceau-Systems waren, dass keine komplizierten Walzenprofile benötigt wurden. Zu der damaligen Zeit waren solche Profile nämlich auf dem europäischen Markt noch Mangelware. Das System erlaubte den Einsatz der Werkstoffe Schmiedeeisen als Zugglieder, Gusseisen als Druckglieder und Holz als Sparren (Bild 54).

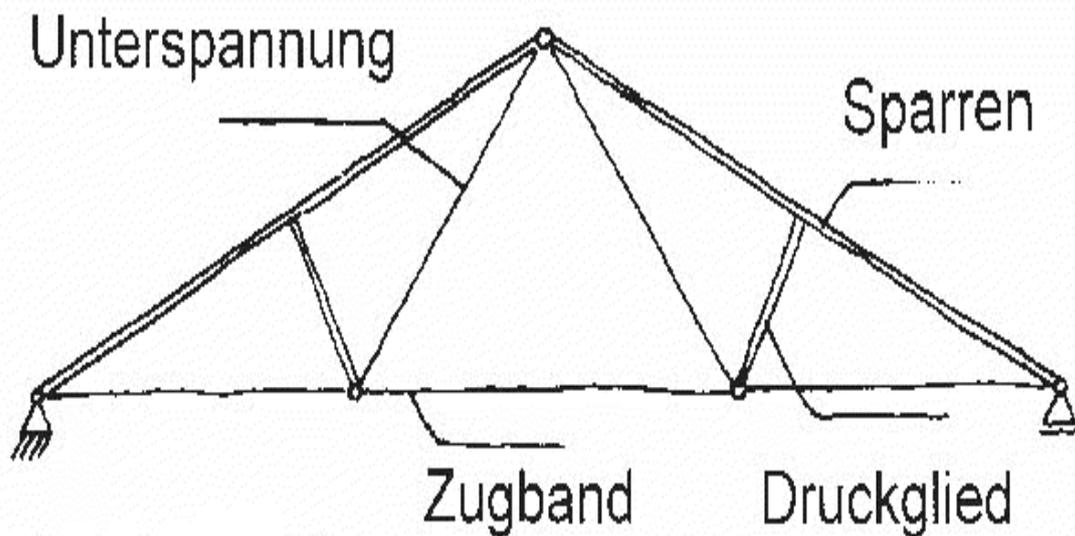


Bild 54: Prinzip eines Polonceau Trägers [23]

Während der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurden Wiegmann-Polonceau-Träger zu den beliebtesten Dachkonstruktionen im Eisenhochbau. Hierbei wurden die hölzernen Sparren bald ebenfalls durch Schmiedeeisen ersetzt (genietete oder gewalzte Profile).

2.2 Statische Modellbildung und Berechnung des Wiegmann-Polonceau-Daches

In der Bauingenieur-Literatur zum Eisenhochbau zum Ende der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts stellt die Statik des Wiegmann-Polonceau-Trägers ein immer wiederkehrendes Thema dar. Wenn bei einem Wiegmann-Polonceau-Dach der unterspannte Sparren über den abgespannten Zwischenstützen durchläuft, so handelt es sich danach um ein innerlich statisch unbestimmtes System. Alle in der Literatur des 19. Jahrhunderts dargestellten Wiegmann-Polonceau-Binder zeigen konstruktiv selbstverständlich die Ausbildung des Sparrens als Durchlaufträger. Kurz nach 1850 war die statische Berechnung eines solchen statisch unbestimmten Systems keineswegs Allgemeingut.

Verschiedene statisch unbestimmte Systeme wurden erstmals von Navier in Büchern analysiert wovon die erste deutsche Übersetzung allerdings erst 1851 erschien. Seine Werke waren zwar vorher in Deutschland schon bekannt, konnten aber nicht richtig entfaltet werden. Es erschien aber schon 1808 in Deutschland ein Buch „Statik der festen Körper“ von Eytelwein. Er war der erste der die korrekte Ermittlung der Auflagerkräfte eines Durchlaufträgers vorführte. Navier fügte dem noch die korrekte Bestimmung der Stütz- und Feldmomente und die Bruchbedingung hinzu. Diese Arbeiten beeinflussten die Modellbildung des Wiegmann-Polonceau-Trägers in starkem Maße. Dort hingegen blieb die Mitte des 19. Jahrhunderts entwickelte Theorie des statisch bestimmten Fachwerks für die Modellbildung zunächst ohne Einfluss.

Die erste korrekte publizierte statische Berechnung des Wiegmann-Polonceau-Trägers erschien 1854 in der deutschen Fachliteratur. Darin werden die Binder zur Berechnung in Sparren und Unterspannung zerlegt. Der Sparren wird als Durchlaufträger unter Gleichlast mit den Auflagerkräften idealisiert. Dadurch wird die Mittelstützung durch die Unterspannung als starr angenommen. Das war bei den damaligen äußerst sparsam gewählten Querschnitten für die Sparren eine ganz gute Näherung für die tatsächliche Tragwirkung. Die Auflagerkräfte der Sparren werden anschließend in die Unterspannung eingeleitet. In der horizontalen Zugstange wird die Kraft durch ein Momentengleichgewicht um den Firstpunkt bestimmt, die übrigen Stabkräfte aus dem Kräftegleichgewicht am Knoten der Unterspannungen.

Eine neue Betrachtungsweise des Wiegmann-Polonceau-Trägers kam im Jahre 1890 auf. Unter Vernachlässigung der Durchlaufwirkung des Sparrens wird das Wiegmann-Polonceau-Dach als statisch bestimmtes Fachwerk idealisiert. Zu dieser Zeit wurde es Standard diese Systeme als statisch bestimmtes Fachwerk zu modellieren.

2.3 Bauwerke mit dem Wiegmann-Polonceau-System

Der sogenannte Wiegmann-Polonceau-Träger kam in vielen bedeutenden Bauwerken auf der ganzen Welt zum Einsatz. Im Folgenden werden ein paar dieser Bauwerke in chronologischer Reihenfolge etwas genauer beschrieben, um auch ein paar anschauliche Beispiele zur Entwicklung dieses Systems vorzuzeigen.

Die Schrammenhalle in München war das erste größere Bauwerk in Deutschland, an dem der Wiegmann-Polonceau-

Träger eingesetzt wurde (Bild 55). Die Halle wurde in den Jahren 1851-1853 erbaut. Mit Schranne bezeichnete man damals den Getreidemarkt. Nach ersten Material- und Konstruktionsversuchen in der Münchener Maschinenfabrik Maffei

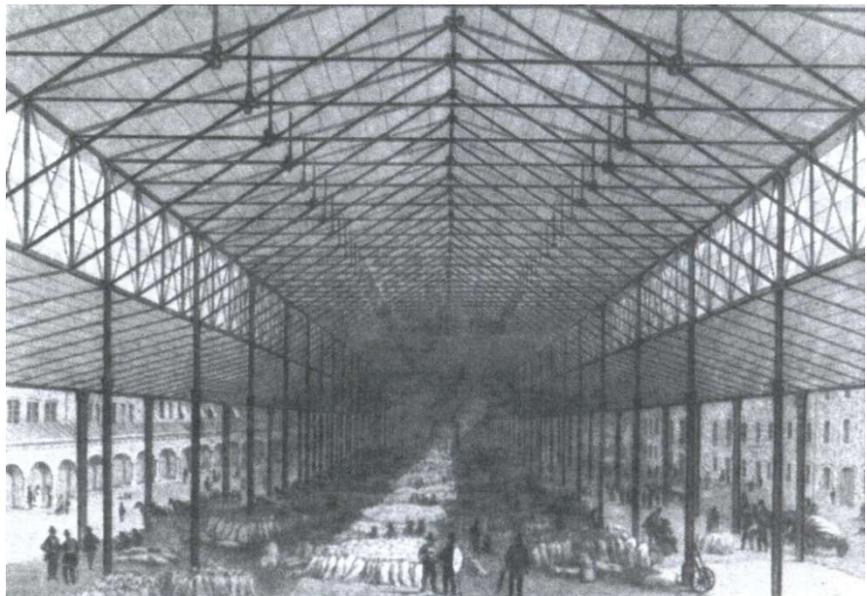


Bild 55: Innenansicht der Schrammenhalle um 1860 [22]

wurde das Tragwerk schließlich in enger Zusammenarbeit mit der Nürnberger Firma Theodor Cramer Klett hergestellt und aufgerichtet. Die ursprüngliche Schrammenhalle hatte eine Länge von 430 m. Die Konstruktion aus Glas- und Eisen galt damals als technisches Meisterwerk. 1914 und 1927 wurden Teile der Halle demontiert und 1932 wurde der Rest des Gebäudes bei einem Feuer zerstört.

Ein weiteres Beispiel für die Anwendung des Wiegmann-Polonceau-Trägers ist die Anlage der Weltausstellung

1869 in Paris (Bild 56). Die Gebäudestruktur hat die Form eines riesigen Ovals mit den Abmessungen von 490 X 386 m, wobei es in etwa einhundert

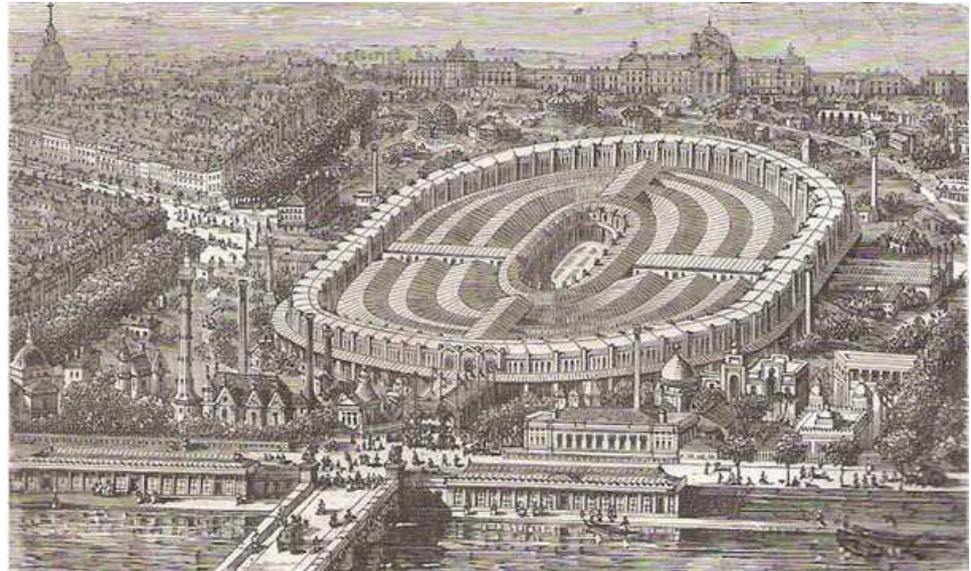


Bild 56: Ansicht der Anlage der Weltausstellung 1867 [24]

kleinere Pavillons unterteilt war. Am Bau dieses Gebäudes waren etwa 26.000 Arbeiter beteiligt. Es ist bei diesem Bauwerk aber lediglich ein Teil der Hallen mit dem entwickelten Wiegmann-Polonceau-System ausgeführt (Bild 57).

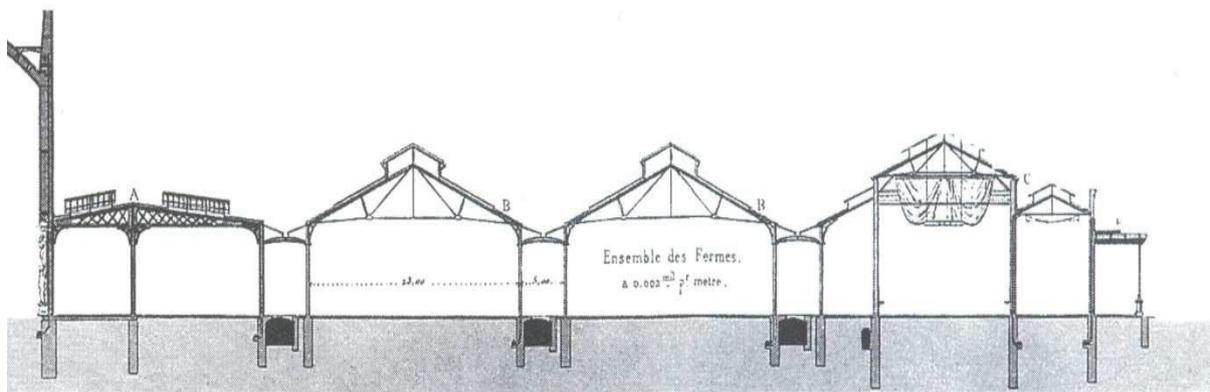


Bild 57: Querschnitt der Hallenstruktur [21]

Auch bei den Bahnhofshallen bewährte sich dieses nach Druck- und Zugkräften differenzierte Tragwerk. Der Pariser Bahnhof St. Lazare (Bild 58) wurde 1852-1854 errichtet, wobei die dabei verwendeten Wiegmann-Polonceau-Träger eine Spannweite von 40 m aufwiesen.

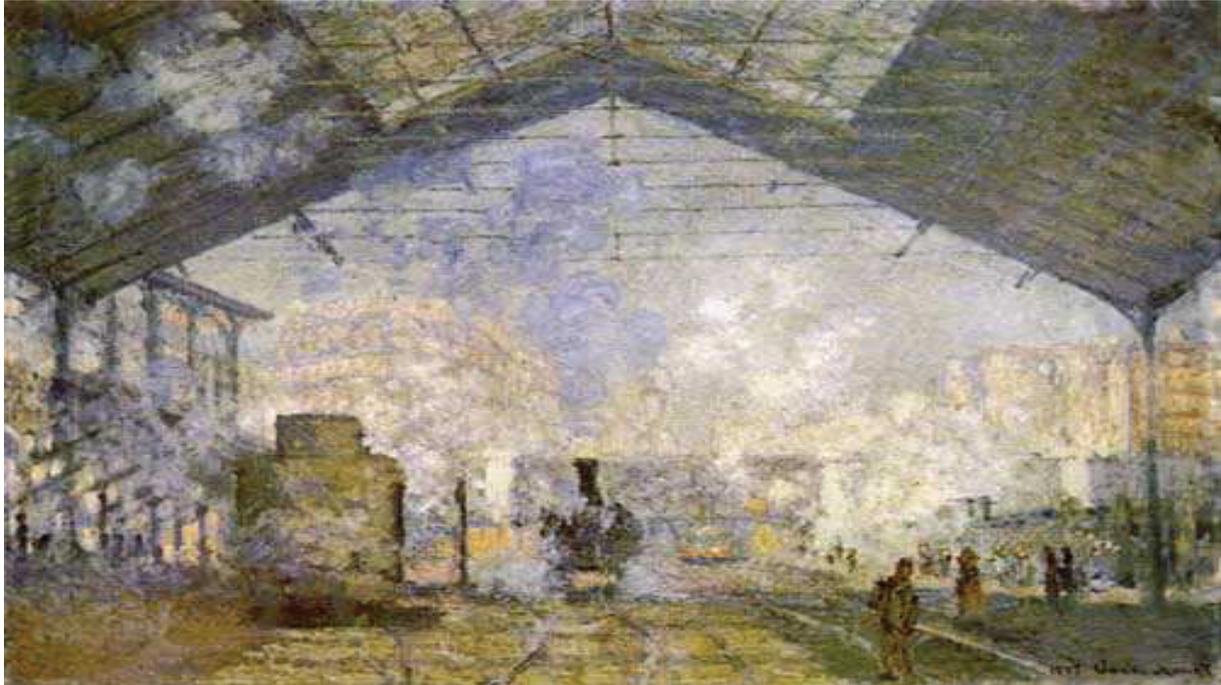


Bild 58: Innenansicht des Pariser Bahnhofs St. Lazare [25]

Bei der Großen Halle des Gare d'Austerlitz in Paris wurde das gleiche Prinzip angewandt als sie 1869 erbaut wurde (Bild 59). Allerdings veränderte sich hier die Geometrie der Halle. Die Spannweite betrug bei diesem Bauwerk 52,55 m und die Obergurte der Binder sind aus Gitterträgern hergestellt. Die Binder sind in einem Abstand von 10 m eingebaut. Sie sind zur Aussteifung in Längsrichtung biegesteif mit pfettenartigen Fachwerkträgern verbunden. Die Halle ist etwa 22 m hoch und 280 m lang. Die Bemühungen, eine Erhöhung der Spannweite und Tragfähigkeit bei gleichzeitiger Minimierung des Materials zu erreichen sind schon deutlich erkennbar.

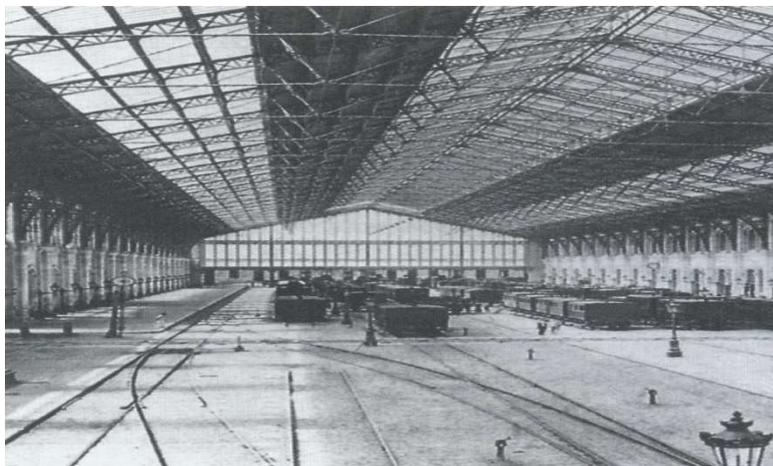


Bild 59: Innenansicht Gare d'Austerlitz Paris 1869 [21]

Der Träger hielt auch in vielen weiteren Bahnhofs- und Markthallen Einzug. So auch das

lichtdurchflutete Atrium
des 1893 fertiggestellten
Bradbury Buildings
(Bild 60). Dort ist das
Glasdach auf besonders
hohen und filigran
gestalteten Wiegmann-
Polonceau-Trägern

aufgebracht. Das
Tragskelett ist bei
diesem Gebäude



sichtbar eingestellt. Das **Bild 60: Ansicht Atrium mit Glasüberdachung [26]**

Material Eisen trägt auch bei der Ausformung der angebotenen Aufzugsanlagen und
Treppen den Eindruck des gesamten Raumes. [17], [18]

3. Die Entwicklung der Stahltragwerke für Bahnhofshallen

Wie die bisher erwähnten Bauwerke, erfuhren auch die Bahnhofsgebäude eine rasante Entwicklung. Während früher die Überdeckung großer Räume durch Raumteilung, d.h. durch Hallen mit Pfeilern und Säulen, gelöst wurde, stellte der Bahnhofsbau die neue Aufgabe der freien Raumüberdeckung. Die ersten Bahnhofsstrukturen wurden in zimmermannsmäßiger Bauweise aus Holz errichtet (Bild 61). In der Regel wurden vier Gleise und zwei Randbahnsteige stützfrei überdacht, woraus sich eine Stützweite von etwa 20 m ergab. Diese Stützweite konnte noch problemlos in Holzbauweise

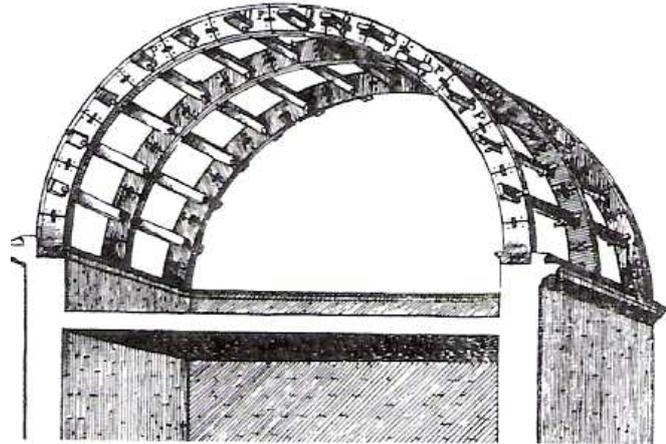


Bild 61: Bogenbinder in Holzbauweise [27]

bewältigt werden. Zu den ältesten Bahnhöfen in Deutschland zählen die in Dresden und Leipzig. Sie wurden beide im Jahre 1839 errichtet. Die Konstruktion dieser Bahnsteighallen bestand aus bogenförmigen Holzbindern. Noch heute existiert eine solche Konstruktion aus dem Jahre 1802 im Theater Bad Lauchstädt bei Halle. Bei der Errichtung dieser ersten Bahnhofshallen wurden noch keine Oberlichter verwendet, was sicherlich daran lag, dass es noch an Erfahrung mangelte. Ein weiterer Entwicklungsschritt waren die Mischkonstruktionen, bei denen unterspannte Träger aus Holz mit Guss- und Schmiedeeisen kombiniert wurden. Hier kam auch wieder der schon beschriebene Polonceau-Träger zum Einsatz. Es waren Spannweiten bis etwa 40 m möglich.

Als Vorläufer der großen Bahnhofshallen aus Eisen gilt der bereits beschriebene Kristallpalast in London mit seinen mächtigen Ausmaßen. Als erste eiserne Bahnhofshalle mit größerer Spannweite gilt die Lime-Street-Station II in Liverpool (Bild62). Dieser Bahnhof wurde bereits 1836 eröffnet aber auch schon 1846 das erste mal umgebaut, wobei das Bahnhofsgebäude eine völlig neue und veränderte Fassade erhielt. Diese bestand aus roten Lancashire-Ziegeln. Zu dieser Zeit wurde das meist architektonisch geprägte Bahnhofsgebäude von der technisch konstruierten Bahnhofshalle noch baulich getrennt. Die Bahnhofshalle war das

bemerkenswerteste an diesem Bahnhof. Sie war das Werk des Ingenieurs Richard Turner, welcher schon am Palmenhaus in Kew mitgearbeitet hatte. Siebzehn sichelförmige, schmiedeeiserne Binder mit einem Achsabstand von 6,54 m ruhten auf der einen Seite auf der Rückwand des Bahnhofsgebäudes und auf der anderen Seite auf gusseisernen dorischen Säulen mit einem Durchmesser von 0,68 m. Bei der Konstruktion der Binder wurde

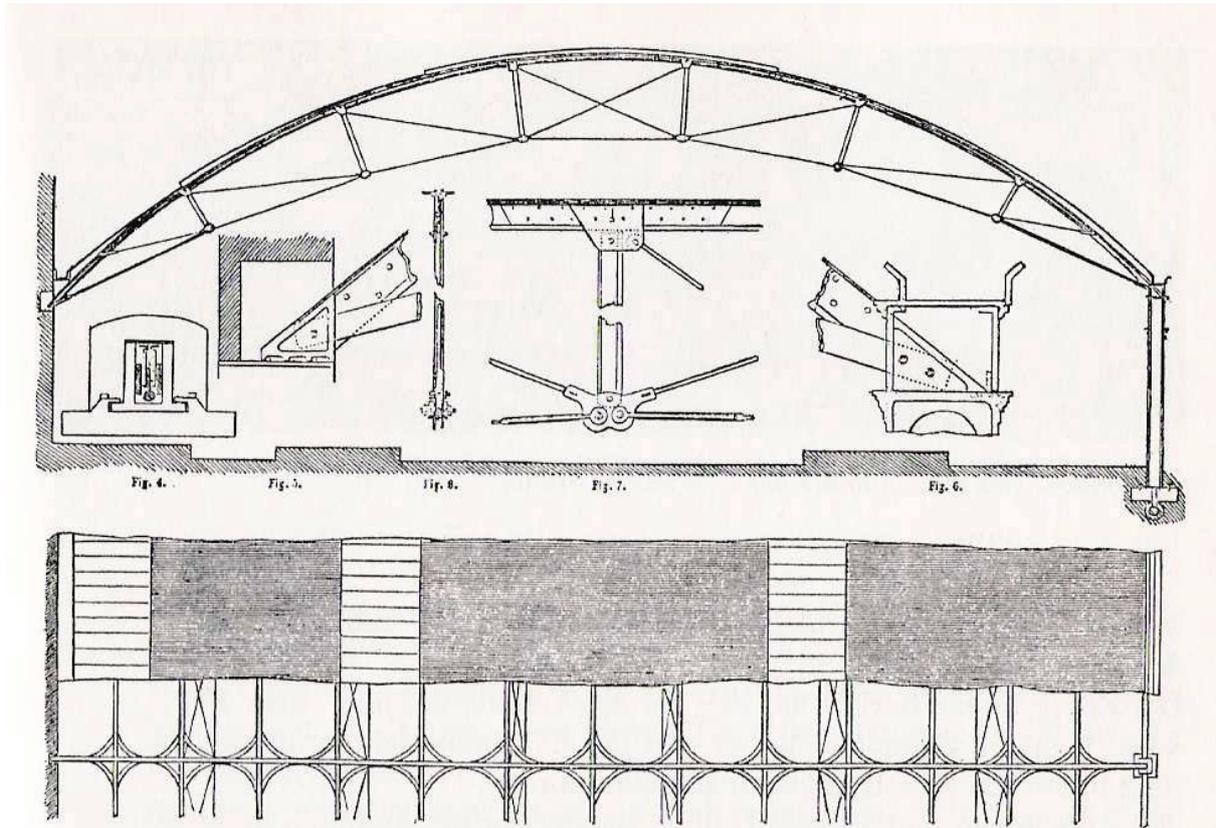


Bild 62: Liverpool Lime Street Station II Aufsicht und Details [1]

Schmiedeeisen verwendet, wobei etwa 700 t Eisen verarbeitet wurden. Die Binder waren durch vertikale Querstäbe ausgesteift und gehalten. In der Horizontalen wurde die Hallenkonstruktion durch Pfetten und Spannseile versteift. Das Dach war zum Teil mit Glas und zum anderen Teil mit Wellblechplatten eingedeckt. Die galvanisierten Wellblechplatten liefen über die volle Länge in Bahnen des Daches, wobei sie drei Streifen für die Verglasung frei ließen. Diese Verglasung war so angeordnet, dass die im Grundriss unsymmetrisch verlaufenden Bahnsteige gut ausgeleuchtet wurden. Die gewalzten Flachglasscheiben waren 3,80 m lang, wobei es das erste Mal war, dass Glas in solchen Dimensionen verwendet wurde. Die Halle wurde 1851, also im selben Jahr wie der Kristallpalast in London, fertig gestellt.

Anderthalb Jahrzehnte später konnte man in London mit der St.-Pancras-Station die Überwölbung eines Einraumes in gewaltigem Maßstab bestaunen (Bild 63). Während beim Bahnhof in Liverpool noch klar zwischen Decke und Wand, zwischen Überdeckung und seitlichem Raumabschluß unterschieden worden war, gingen bei der St.-Pancras-Station die

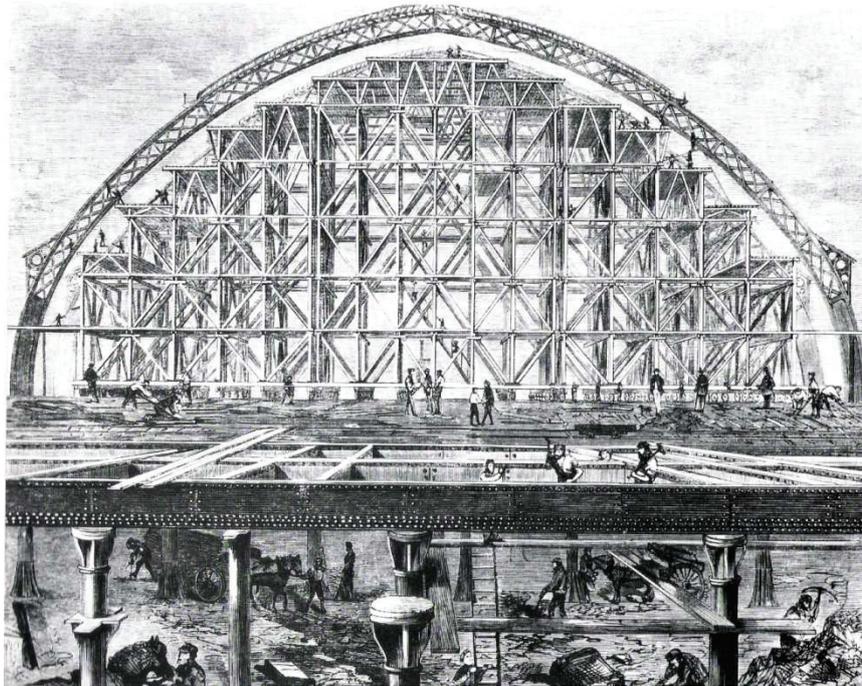


Bild 63: Innenansicht Bahnsteighalle der St. Pancras Station [29]

Binder bis zum Boden hinab. Dadurch ergab sich zusammen mit dem völlig veränderten Verhältnis von Breite zu Höhe ein neues Raumbild. Dieser Einraum sollte bis zum Ende des Jahrhunderts die größte aller Bahnhofshallen bleiben. Sie diente zahlreichen anderen Hallen als Vorbild, unter anderem auch dem Kölner Hauptbahnhof (1890-1892). Im Jahre 1866 begannen die Ingenieure Barlow und Ordish sowie der Architekt Scott mit dem Bau der Halle. Sie hatte eine Länge von 210 m und ihre Binder hatten eine lichte Weite von 73,20 m und eine Höhe von 30,50 m. Dicht am Widerlager erhob sich der Binderbogen mit einem Kreisbogen von 17,40 m Halbmesser (auf eine innere Bogengurtung bezogen). Er ging in etwa 11 m Höhe in einem Spitzbogen mit 48,80 m Halbmesser über. Der Binderabstand betrug 8,94 m und alle Binder hatten am Fuß eine Einspannung gegen den Bogenschub. Es handelte sich jedoch nicht um einen Zweigelenkträger, sondern um einen fest

eingespannten Binder. Zur Montage der Dachbinder diente ein auf Rollen bewegliches Transport- und Arbeitsgerüst (Bild 64). Die Gleise des Bahnhofs lagen 7 m über dem Geländeneiveau und wurden durch 720 gusseiserne Säulen getragen, die mit 49 Reihen schmiedeeiserner

Querträger und 15 Reihen Längsträger das Traggerippe für die Plattform des eigentlichen Bahnhofs bildete. Die Querträger waren mit Binderfüßen vernietet und bildeten so eine Verankerung gegen den Bogenschub. Der Konstrukteur Barlow gab



in einer Veröffentlichung

Bild 64: Fahrbares Montagegerüst beim Bau der St. Pancras Halle [29]

die Gründe für eine ungeteilte Überspannung von 73,20 m an. Wäre die Spannweite in zwei Hälften zerlegt worden, so hätten nach seiner Annahme nicht spitzbogige, bis zum Bahnsteig herunterreichende Binder, sondern flachbogige, in der Mitte auf Säulen ruhende Binder gewählt werden müssen. Diese flachbogigen Binder, fast nach der Kreislinie geformt, hätten aber einen so hoch liegenden Kämpfer verlangt, dass ihr Schub auf den Seitenmauern genauso groß gewesen wäre, wie der Horizontalschub des Spitzbogens von 73,20 m Spannweite, für dessen Ausführung man sich entschieden hatte. Da aber die Last des Bogens bei dieser Konstruktion bis unter die Bahnsteighöhe hinab geführt wurde (Bild 64), brauchten die Umfassungswände keine Verstärkung, und zwar um so weniger, als auch der Seitenschub, der bei Temperaturschwankungen auftreten würde, die Seitenmauern nicht treffen konnte. Auch hätte die Herstellung von Säulen mit ihren Fundamenten und der notwendigen Rinnen und Abfallrohre eine wesentliche Steigerung der Herstellungskosten bedeutet. Die Seitenflächen des Daches waren mit Schiefer und der 41 m breite Mittelteil mit Oberlichter gedeckt.

An den beiden Beispielen der Bahnhofshallen aus England ist gut ersichtlich, dass mit den bogenförmig gestalteten Trägern größere Spannweiten erreichbar waren, als mit Dreieck-Bindern. Die vielfältig gestalteten Träger waren zunächst nur mit zwei Gelenken an den Auflagern ausgebildet (Zweigelenk-Bogenbinder). Wie schon erwähnt, wurden Gitterbogen- und Sichelbogenträger dieser Art in englischen Bahnhofshallen verwandt. In Deutschland fand der Zweigelenk-Bogenträger wenig Verbreitung. Schon 1867 entwickelte Schwedler hier einen Dreigelenk-Gitterbogenträger, der ein weiteres Gelenk im Scheitelpunkt hatte. Dieser Träger wurde für den Küstriner Bahnhof in Berlin (Ostbahnhof) entwickelt.

3.1 Bahnhofshallen in Deutschland

Die Entwicklung von Eisen- und Stahlkonstruktionen für Bahnhofshallen in Deutschland lief zunächst aber etwas langsamer an als in England. Um die Entwicklung im Bahnhofshallenbau darzustellen, wird auf die Bauten in Deutschland eingegangen, da hier sehr anschaulich die Weiterentwicklung dargestellt werden kann. Die Anfänge, die zum Teil ähnlich mit den englischen sind, werden

noch einmal kurz dargestellt. Zum Beispiel stellt das Tragsystem des Thüringer Bahnhofs in Leipzig (Bild 65) einen typischen Gitterträger mit mehrfach sich kreuzenden Diagonalen dar. Der Bahnhof wurde 1856 – 1857 erbaut. Die



Bild 65: Thüringer Bahnhof in Leipzig 1862 Kopfseite mit Drehscheibe [29]

Gitterträger lagern seitlich auf Mauerwerkskonsolen auf und es wird eine Spannweite von 27,80 m stützfrei überbrückt. Die Bahnsteighalle hatte eine Länge von 96 m und eine Breite von 27,80 m, was der Spannweite des Gitterträgers entsprach. Es waren weiterhin 56 gusseiserne Oberlichter mit ½ Zoll dicken Scheiben verglast. Dieses Bauwerk wurde leider 1907 wegen der Errichtung des Leipziger Hauptbahnhofs abgebrochen.

Als nächste Entwicklung steht der Sichelbinder, der von dem deutlich zunehmenden Verständnis des Kraftflusses innerhalb eines Fachwerkes zeugt. Die 1867 – 1869 errichtete Südhalle des Schlesischen Bahnhofs in Berlin zeigt diesen Binder (Bild 66). Aufgrund des



Bild 66: Südhalle Schlesischer Bahnhof in Berlin [29]

Obergurtes, der stärker als der Untergurt gekrümmt ist, wird diese Trägerform als Sichelbinder bezeichnet. Die Stützweite bei dieser Halle beträgt 38,30 m, die Konstruktionshöhe in Feldmitte 5,50 m. Damit werden fünf Gleise und zwei Seitenbahnsteige überspannt. Weiter hat die Halle eine Länge von 207 m. An den gelenkigen Auflagern waren außer den Windlasten ausschließlich vertikale Lasten abzutragen, so dass die Auflagerung problemlos auf hohen gemauerten Wandpfeilern erfolgen konnte. Als vorteilhaft sollten sich die Großteiligkeit und die geringe Anzahl von besonders korrosionsgefährdeten Knotenpunkten erweisen.

Der unterspannte Zweigelenkbogen des Potsdamer Bahnhofs, erbaut 1868-1872 in Berlin, konnte wie der Sichelbinder seitlich auf massiven Wänden aufgelagert werden, da die aus

Bogentragwirkung resultierenden Horizontalkräfte über ein Zugband kurzgeschlossen wurden. Die Dachkonstruktion aus Blechbogenträgern mit vollwandigem Kastenquerschnitt und eingespannten Pfetten ist bemerkenswert (Bild 67). Die Spannweite der Halle beträgt



Bild 67: Bahnsteighalle Potsdamer Bahnhof in Berlin [29]

36,50 m, wodurch fünf Bahngleise und drei Bahnsteige überdeckt wurden und sie hat eine Länge von 171,50 m. Die Halle erhielt durch die fast vollständig verglaste Dachfläche, über deren First sich ebenfalls eine verglaste, durchlaufende Lüftungslaterne befand, eine vorzügliche Tageslichtbeleuchtung. Optisch wegen seiner Gedrungenheit zurückhaltend und technisch den Korrosionsschutz verbessernd, war die Vernietung des Trägers sehr aufwendig. Vollwandige Konstruktionen blieben deshalb bis zur Anwendung des Schweißens in den 20er Jahren sehr selten. Konstruktive Detailpunkte des ebenfalls unterspannten Bogens im 1880 fertiggestellten Anhalter Bahnhof in Berlin zeigt Bild 68. Dieses Gebäude wurde nur in der Breite, aber nicht in der Länge von der Londoner St. Pancras-Station übertroffen und gehörte bei Fertigstellung zu den größten Bahnhofsgebäuden der Welt. Die Halle war 170 m lang und 62,50 m breit und überspannte damit sechs Bahnsteig- und zwei Zwischengleise. Mit einer Höhe von 19 m wurden die Seitenwände bis zum Dachbinderauflager geführt. Die im 14 m Abstand paarweise angeordneten, auf Doppelpfeilern ruhenden Stahlfachwerkbogenbinder wurden gegen den Horizontalschub

durch aufgehängte Zugstangen verbunden. Das Dach war mit Wellblech gedeckt und besaß zur bestmöglichen Raumausleuchtung Firstoberlichtaufsätze. Mit 34,25 m Firsthöhe war es die damals höchste Bahnsteighalle in Deutschland. Leider wurde die

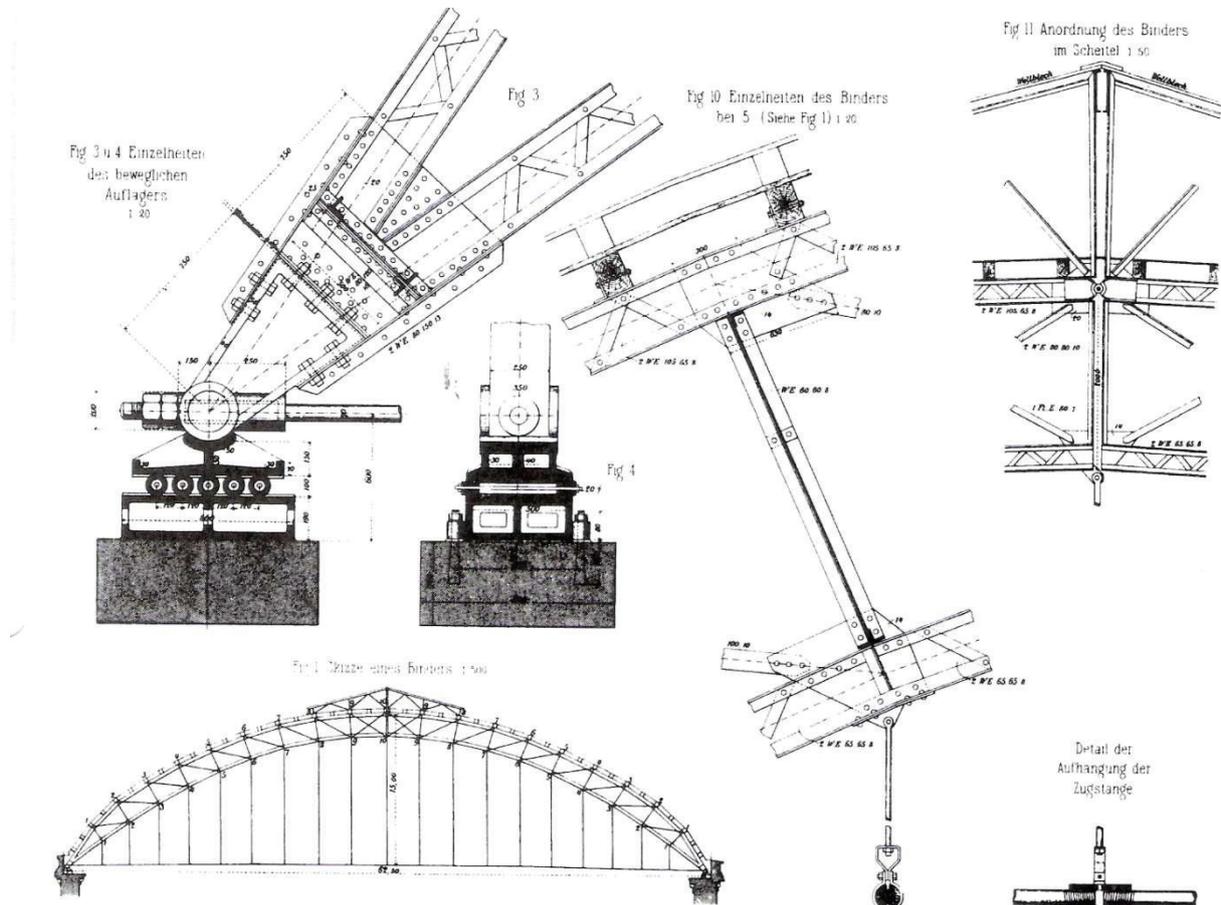


Bild 68: Konstruktionsdetails Hallendach Anhalter Bahnhof 1872-1880 [27]

Bahnsteighallenkonstruktion im Zweiten Weltkrieg durch Alliierte Bombenangriffe vollständig zerstört. Schließlich führte die statische Berechenbarkeit von Dreigelenk-, Zweigelenk- und eingespannten Bögen durch Emil Winkler 1867 dazu, dass die nach Erfahrung und Gefühl dimensionierten filigranen Unterspannungen für Bahnhofshallen kaum noch ausgeführt wurden.

Zur beherrschenden Tragwerksform der Bahnhofshalle entwickelte sich der Dreigelenkbogen, der wie schon erwähnt erstmals 1866 von Schwedler zur Überdachung der Bahnsteighallen des alten Berliner Ostbahnhofs, früher Küstriner Bahnhof, konstruiert wurde (Bild 69). Im Scheitelpunkt wurde ein zusätzliches Scheitelgelenk angeordnet, wodurch Zwangskräfte aus Temperatureinwirkungen und Stützensenkungen vermieden wurden. An

den Fußpunkten der Zweigelenbogenbinder konnte nun auf Zuganker verzichtet werden. Die schmiedeeisernen Hallenbinder waren nach Schwedlers Angaben als

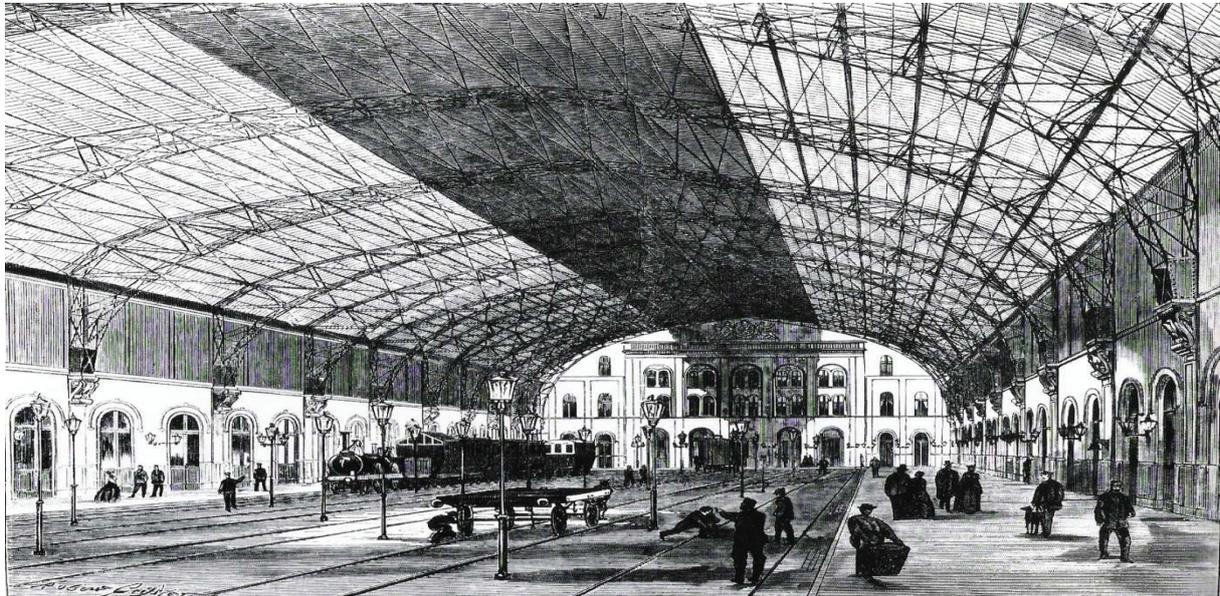


Bild 69: Bahnsteighalle Berliner Ostbahnhof Zeichnung 1868 [29]

Dreigelenkgitterbogenträger konstruiert. Der Träger setzte sich aus zwei zueinander parallel verlaufenden Einzelbindern zusammen, die über Quer- und Diagonalverbände zu einem Doppelbinder verbunden waren. Er hatte eine Spannweite von 37,70 m, wodurch fünf Gleise und zwei je 7,50 m breite Seitenbahnsteige überdeckt wurden. Des Weiteren war die Halle 188 m lang und 18,70 m hoch. Durch diese Konstruktion konnten druckbeanspruchte Gurte vorteilhaft gegen Ausknicken gesichert werden. Die Glasoberlichter der Halle lagen nicht im Firstbereich, sondern in den seitlichen Dachflächen, um die Bahnsteige und die an diesem liegenden Räume möglichst gut mit Tageslicht zu beleuchten. Dieses Bauwerk fiel leider auch dem alliierten Bombardement im Zweiten Weltkrieg zum Opfer. Bei dieser Konstruktion wurde noch eine Zweiteilung von massivem Mauerwerk und dem darauf liegendem Dachtragwerk gewählt, was jedoch in der weiteren Entwicklung zu Gunsten einer bis zum Bahnsteigniveau hinab reichenden Hallenkonstruktion aufgegeben wurde. Verglaste Seitenwände verbesserten die Belichtung im Inneren der Hallen. Als erste eiserne Bahnsteighalle in Deutschland gilt die 1881-1882 erbaute Nordhalle des Schlesischen Bahnhofs in Berlin. Das statische System der 54,40 m spannenden Halle zeigt Bild 70. Es wurde ein moderner Dreigelenkbogenbinder für die Dachkonstruktion verwendet. Da die

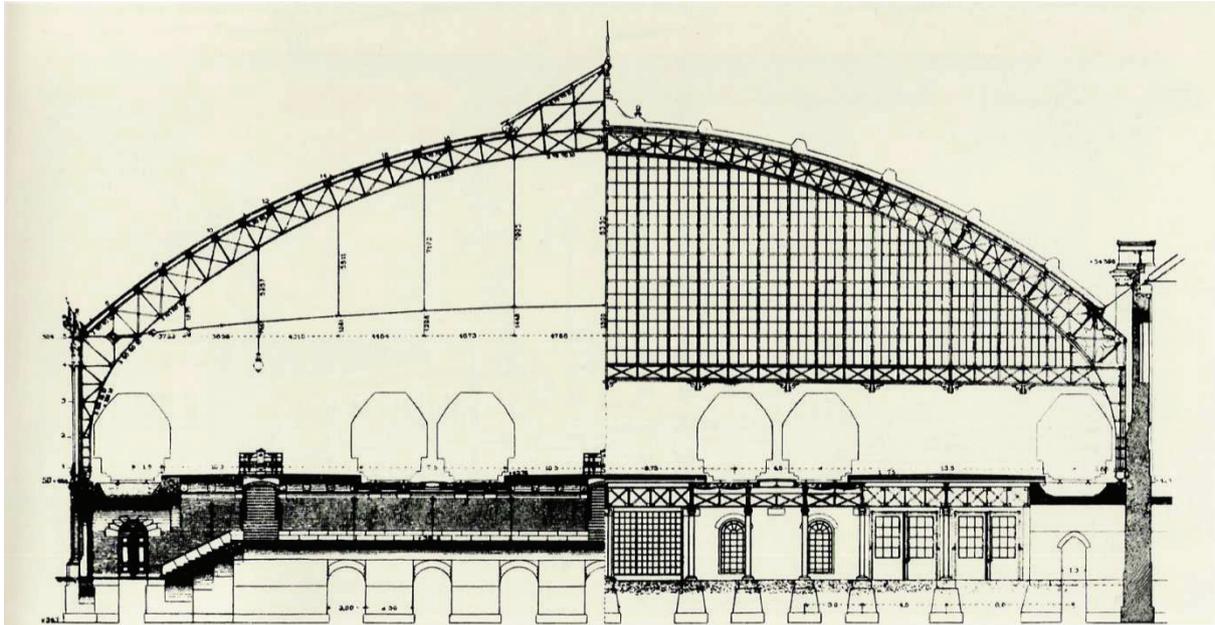


Bild 70: Schnitt durch die Nordhalle Schlesischer Bahnhof, rechte Seite mit Darstellung Giebelanschluss [29]

Passagierzahlen ständig stiegen wurden Spannweiten erforderlich, die nicht mehr zu realisieren waren. So mussten also mehrere Hallenschiffe aneinander gereiht werden. Eine der frühesten solcher Hallen war neben dem Bahnhof in Frankfurt am Main der Dresdner Hauptbahnhof (Bild 71). Er wurde 1892-1898 erbaut und ersetzte den ehemaligen Berliner



Bild 71: Innenansicht Dresden Hauptbahnhof [29]

und den alten Böhmischem Bahnhof. Der Bau des Dresdner Bahnhofs ging mit einer umfassenden Umstrukturierung der Dresdner Gleis- und Bahnhoferanlagen einher. Die Bahnsteighallenkonstruktion besteht aus einer großen Mittelhalle über den sechs tiefergelegenen Kopfgleisen mit 59 m Spannweite und zwei Hallen über den Hochgleisanlagen mit je drei Gleisen. Von diesen überspannt die südliche Halle 30,75 m, die nördliche 32 m. An der Südseite wurde außerdem eine seitlich offene Halle mit 9,20 m Lichtweite für zwei Güterdurchfahrtgleise angeordnet (Bild 72). Die Hallenbinder sind als Dreigelenkbogenträger

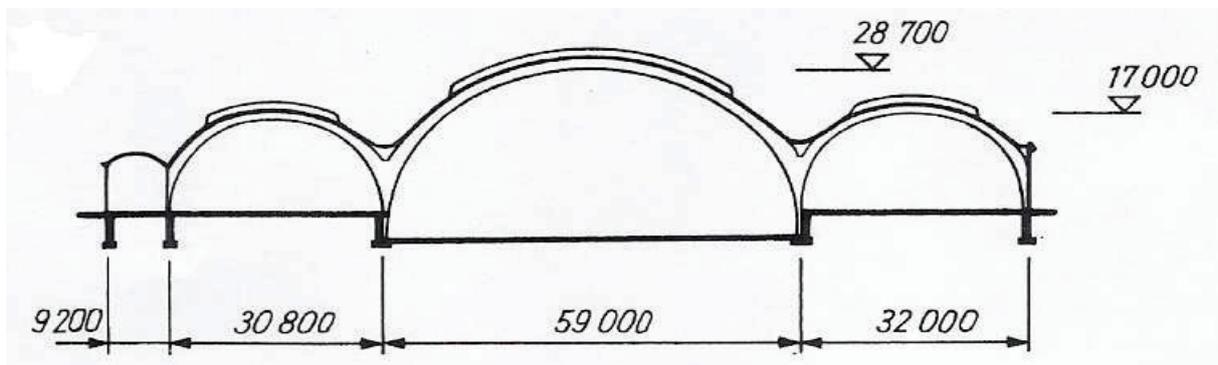


Bild 72: Querschnitt Dresden Hauptbahnhof [30]

ausgeführt, ihre Kämpfergelenke durch Bolzen, die Scheitelgelenke durch federnde Winkel gebildet. Im Ganzen haben Bahnsteighallen und Empfangsgebäude eine Grundfläche von 32.700 m². Mit 19 Bindern überspannt die 30 m hohe Mittelhalle die Gleisanlagen auf 184 m Länge, während die über Schienenoberkante 17,30 m hohen Seitenhallen etwa 250 m Bahnsteiglänge überdecken. Für die Hallenkonstruktion wurden 1.946 t Stahl verbraucht. Die



Bild 73: Innenansicht Bahnsteighalle Dresden Neustadt 1910 [29]

Hallenfronten am Wiener Platz und an der Bismarkstraße wurden mit einer ornamentalen Blechverkleidung versehen, die dem Natursteinmauerwerk des Untergeschosses entsprach. Weiterhin ist der Bahnhof in Dresden Neustadt erwähnenswert, der 1898-1901 erbaut

wurde (Bild 73). An dem mittleren Dreigelenkbogen, der 35,00 m überspannt, schließen beidseitig Pultdächer als einhüftige Rahmen an und bilden so eine dreischiffige Halle, womit insgesamt acht Gleise überspannt werden. Die Halle hat eine Länge von 177 m. Sie erhält Tageslicht durch Lichtbänder und Oberlichtaufsätze über den Seitenschiffen, Firstoberlichte sowie durch die nicht verbaute Hallenaußenwand und natürlich von den Hallenschürzen her. Die Errichtung des Leipziger Hauptbahnhofs von 1909-1915 war vorerst Höhepunkt und Ende der großen Bahnhofshallen in Deutschland (Bild 74). Insgesamt acht Bahnsteighallen



Bild 74: Innenansicht einer Längsbahnsteighalle Hauptbahnhof Leipzig 1925 [29]

mit einer Gesamtbreite von 293,80 m schließen an die lange Querbahnsteighalle und das Empfangsgebäude an. Den Stützbögen der Querbahnsteighalle sind die Stützbögen der Längsbahnsteighallen mit insgesamt 26 Bahnsteigen vorgelagert. Die verkürzten seitlichen Bahnsteige werden anschließend an die 90 m langen Seitenflügel des Empfangsgebäudes von 19 m breiten Seitenflügeln überspannt. Die Stützweite der Stahlbinder beträgt 45 m bzw. 42,50 m, die Höhe der Halle 20 m, ihre Länge vom Empfangsgebäude aus 240 m und ihre Grundfläche 60.000 m². Davon waren 24.000 m² mit Oberlichtern versehen. Die Ausbildung von Vier- bzw. teilweise Fünfgelenkbögen sind bemerkenswert. Dieses Prinzip

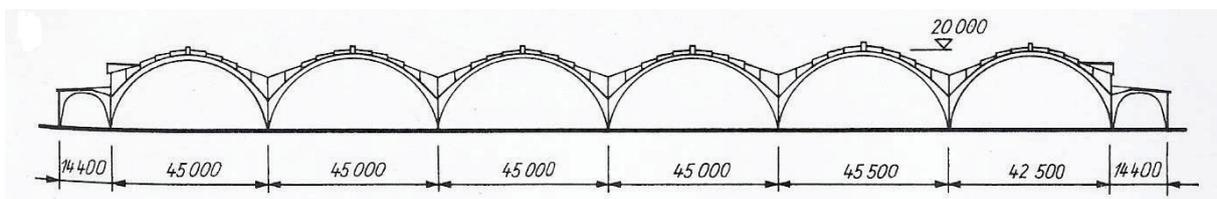


Bild 75: Querschnitt Leipzig Hauptbahnhof [30]

funktioniert aber nur bei solch einer Aneinanderreihung von Bögen, die sich durch feldübergreifende Auskragungen gegenseitig stützen können (Bild 75). Die Bahnhofsbauten wurden auch während des Zweiten Weltkriegs stark beschädigt, aber nach dem Krieg wieder rekonstruiert und aufgebaut.

Da sich die großen Bahnhofshallen auf die Dauer als ungünstig wegen der hohen Bau- und Unterhaltungskosten erwiesen, wurden in der Folgezeit zunehmend kleinere Bahnhofshallen gebaut. Zur Bewältigung mittlerer Spannweiten von etwa 20,00 m konnte auf die ideale Parabelform zugunsten eines Rahmens verzichtet werden. Einhergehend mit der Entwicklung der Schweißtechnik wurden, weiterhin auf dem Prinzip der Drei- oder Zweigelenkigkeit basierend, die bei den Bogenbindern verwendeten Doppelfachwerkbinder durch vollwandige Querschnitte ersetzt. Ab dem Ende der 1920er Jahre wurde die konstruktive Ausbildung hoch beanspruchter Rahmenecken bei Vollwandträgern angewandt, die erst durch das Schweißen möglich wurde. Die Vorteile dieser Bauweise lagen in der einfachen Herstellung geradliniger Bauteile und der Dacheindeckung, dem vereinfachten Korrosionsschutz sowie der besseren Raumausnutzung. Beispiele für solche Rahmentragwerke sind die Bahnhofshallen in Frankfurt/Oder 1926 (Bild 76) und Halle/Saale

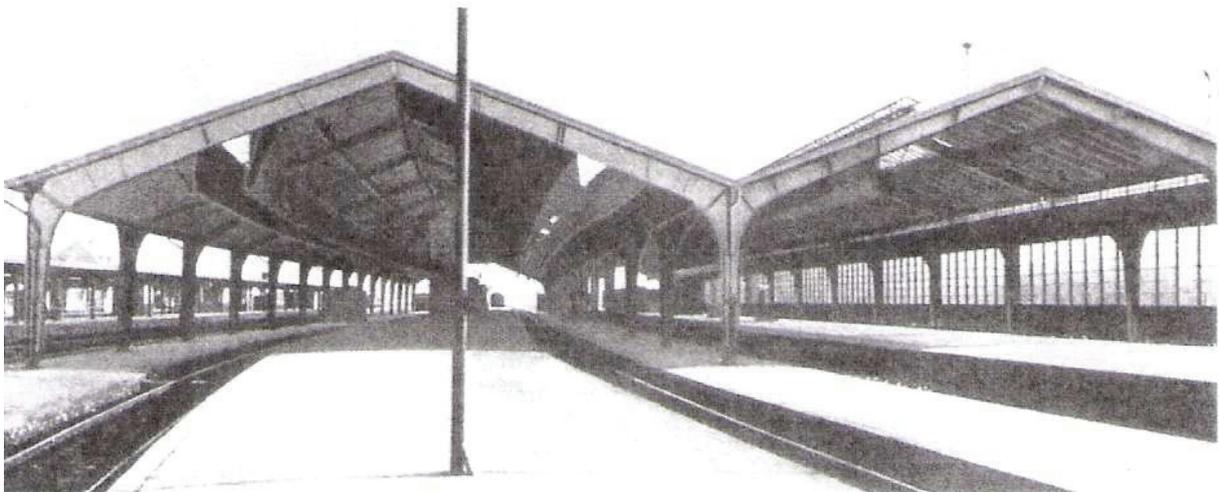


Bild 76: Bahnhof Frankfurt/Oder 1926 [27]

1934. Dieser Zeitraum zum Bau von Bahnhofsgebäuden war in Deutschland vorerst der Schlusspunkt. Wegen der sinkenden Bedeutung der Bahn als Massenverkehrsmittel und einem gewandelten Selbstverständnis der Eisenbahn wurde bis zur Privatisierung 1994 wenig in Bahnhöfe investiert.

4. Zusammenfassung

Die Aufgabe dieser Bachelor Thesis bestand darin, die Entwicklung der Stahltragwerke im Industriebau darzustellen. Dazu wurden Gebäude konstruktiv erläutert, um daran die Weiterentwicklungen zu beschreiben. Als Zusatz zu der gestellten Aufgabe wurden auch noch die Bahnhofshallen in ihrer Entwicklung der Tragstrukturen betrachtet und näher beschrieben. Als erstes reines Bauwerk aus Eisen galt ein Brückenbauwerk, welches die Coolbroockdale Brücke in England war. Die Hochbauwerke leiteten sich dann in ihrer Konstruktion von den Brücken ab. Es werden noch einige Bauwerke bis zur Entstehung des Kristallpalastes in London 1851 gezeigt, bis dieser in Bau und Konstruktion dargestellt wird. Die darauf folgende Maschinenhalle der Pariser Weltausstellung war dann erst einmal der Höhepunkt der Stahlkonstruktionen im 19. Jahrhundert. Sie wurde in ihrer Spannweite erst deutlich später übertroffen. Die nächsten Bauwerke, welche in dieser Arbeit genauer betrachtet werden wurden auf dem Gelände der Zeche Zollern errichtet. Da damals technische Neuerungen die Ausbildung von massiven Tragwerken, die die bis dahin großen Lasten aufnehmen mussten, unnötig machten, wurden Stahlskelettbauten errichtet. Die nächsten Neuerungen stellten die Gewächshäuser im botanischen Garten in Berlin dar. Hier wurden die Stahlträger erstmals entweder komplett innen oder außen von der gläsernen Hülle ausgeführt. Hieraus ergaben sich wärmetechnische Vorteile. Das bedeutet, dass dadurch Wärmebrücken vermieden werden konnten. Als weiteres Bauwerk wird der Personenaufzug in Bad Schandau beschrieben. Im selben Jahrzehnt, wie der Aufzug, wurde auch die AEG Turbinenhalle erbaut. Sie glänzte mit ihrer wuchtigen Fassade und deren Eckpfeilern. Doch getragen wird die Dachkonstruktion von einem schlanken Stahltragwerk. Als letztes Bauwerk wird im ersten Teil der Arbeit das Schiffshebewerk in Niederfinow erläutert. Es war seinerzeit ein technisches Meisterwerk. Darauf folgte die Betrachtung des Polonceau Trägers, der die beliebteste Fachwerkform im 19. Jahrhundert war. Es werden weiter Bauwerke dargestellt, wo dieses statische System verbaut wurde. Als letztes Thema werden, wie schon erwähnt, die Bahnhofshallen näher beschrieben. Die ersten großen Bauten gab es in England. Weiter wird Anhand der deutschen Bahnhofshallenbauten die Entwicklung dieser Bauwerke bis in die 1930er betrachtet.

Literaturverzeichnis:

- [1] Schild, E.: Zwischen Glaspalast und Palais des Illusions – Form und Konstruktion im 19. Jahrhundert, Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig, 2. Auflage 1983
- [2] Ricken, H.: Joseph Paxton und der Kristallpalast in London, Bautechnik [78] Heft 10/2001 Seite 740-744
- [3] Gieger, E.K.: Die Londoner Weltausstellung von 1851 – im Kontext der Industrialisierung in Großbritannien, Verlag die blaue Eule, Essen 2007
- [4] URL: <http://www.faz.net> [Stand 26.06.2010]
- [5] Schneider, J.: Joseph Paxton – Wegbereiter und Anwender der industriellen Vorfertigung, Konstrukteur des Kristallpalastes
- [6] Schneider, E.: Die Bauten der Weltausstellung 1889 in Paris, : Stahlbau [58] Heft 12/1989 Seite 353-360
- [7] Buddensieg, T.:Industriekultur: Peter Behrens und die AEG 1907 – 1914, Electra-Internat.-Verlag [1978], 3. Unveränderte Auflage
- [8] Dicleni, C.: Der Bauingenieur Karl Bernhard – Erbauer der AEG Turbinenhalle, Bautechnik [87] Heft 04/2010 Seite 220 – 228
- [9] Schinkel, E.: Das alte Schiffshebewerk Niederfinow, Herausgegeben von der Bundesingenieurkammer, 1. Auflage November 2007
- [10] Mai, G.: Ein technisches Denkmal in voller Funktion – Das Schiffshebewerk Niederfinow, Bautechnik [71] Heft 7/1994 Seite 433 – 435
- [11] Braun, M.: Das Schiffshebewerk Niederfinow - 75 Jahre in Betrieb, Bautechnik [86] Heft 12/2009 Seite 810 – 814
- [12] Kliche, K.: Schiffshebewerk Niederfinow – Historisches Wahrzeichen der Ingenieurbaukunst, Bautechnik [85] Heft 03/2008 Seite 174

- [13] Stroetmann, R.; Flederer, H.; Schmidt, H.; Sieber, L.: Personenaufzug Bad Schandau – Revitalisierung eines denkmalgeschützten Turmbauwerkes, Stahlbau [78] Heft 09/2009, Seite 662 - 676
- [14] Holthaus, K.: Architekturführer Zeche Zollern 2/4, Klartext Verlag Essen, 1. Auflage Juni 2004
- [15] URL: <http://www.erih.net> [Stand 26.06.2010]
- [16] Füg, D.: Stahltragwerke im Industriebau, VEB Verlag für Bauwesen, 1. Auflage 1989 Berlin
- [17] Schultz, H. C.; Sobek, W.; Haberman, K. J.: Stahlbau Atlas, Birkhäuser Verlag für Architektur, 1. Unveränderte Auflage 2001
- [18] Holzer, S. M.: Vom Einfluss des Analysewerkzeugs auf die Modellbildung, Stahlbau [75] Heft 06/2006, Seite 428 - 434
- [19] Weller, B.; Tasche, M.: Bahnhofshallen im Osten Deutschlands, Stahlbau [75] Heft 03/2006, Seite 219 – 224
- [20] Sauerbier, W.: Sanierung des Bahnbetriebswerks Berlin Anhalter Bahnhof, Stahlbau [66] Heft 06/1997, Seite 373 – 375
- [21] Berger, M.: Historische Bahnhofsbauten I – Sachsen, Preußen, Mecklenburg und Thüringen, transpress Verlagsgesellschaft mbH, 3. Unveränderte Auflage 1991
- [22] Büttner, O.; Stenker, H.: Stahlhallen – Entwurf und Konstruktion, VEB Verlag für Bauwesen, Berlin 1986
- [23] unbekannter Verfasser: Sanierung des Großen Tropenhauses im Botanischen Garten Berlin, Bautechnik [86] Heft 08/2009, Seite 517-518
- [24] URL: www.wikipedia.de [Stand 26.06.2010]

- [25] Borgelt, C. und Jost, R.: Botanisches Museum & Gewächshäuser der Freien
Universität Berlin, Die neuen Architekturführer Nr. 53, Stadtwandel Verlag, Erste
Auflage 2004

Bilderverzeichnis:

- [1] Schild, E.: Zwischen Glaspalast und Palais des Illusions – Form und Konstruktion im 19. Jahrhundert, Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig, 2. Auflage 1983
- [2] Ricken, H.: Joseph Paxton und der Kristallpalast in London, Bautechnik [78] Heft 10/2001 Seite 740-744
- [3] Gieger, E.K.: Die Londoner Weltausstellung von 1851 – im Kontext der Industrialisierung in Großbritannien, Verlag die blaue Eule, Essen 2007
- [4] Schneider, E.: Die Bauten der Weltausstellung 1889 in Paris, : Stahlbau [58] Heft 12/1989 Seite 353-360
- [5] Buddensieg, T.:Industriekultur: Peter Behrens und die AEG 1907 – 1914, Electra-Internat.-Verlag [1978], 3. Unveränderte Auflage
- [6] Dicleni, C.: Der Bauingenieur Karl Bernhard – Erbauer der AEG Turbinenhalle, Bautechnik [87] Heft 04/2010 Seite 220 – 228
- [7] Schinkel, E.: Das alte Schiffshebewerk Niederfinow, Herausgegeben von der Bundesingenieurkammer, 1. Auflage November 2007
- [8] Mai, G.: Ein technisches Denkmal in voller Funktion – Das Schiffshebewerk Niederfinow, Bautechnik [71] Heft 7/1994 Seite 433 – 435
- [9] Braun, M.: Das Schiffshebewerk Niederfinow - 75 Jahre in Betrieb, Bautechnik [86] Heft 12/2009 Seite 810 – 814
- [10] Stroetmann, R.; Flederer, H.; Schmidt, H.; Sieber, L.: Personenaufzug Bad Schandau – Revitalisierung eines denkmalgeschützten Turmbauwerkes, Stahlbau [78] Heft 09/2009 Seite 662 - 676

- [11] Holthaus, K.: Architekturführer Zeche Zollern 2/4, Klartext Verlag Essen, 1. Auflage Juni 2004
- [12] URL: <http://www.informationsmedien.com> [Stand 26.06.2010]
- [13] URL: <http://upload.wikimedia.org> [Stand 26.06.2010]
- [14] URL: <http://www.volkmar-koch.de> [Stand 26.06.2010]
- [15] URL: <http://www.zimmt.de> [Stand 26.06.2010]
- [16] Fotoarchiv Mathias Küster
- [17] URL: <http://images.pixelio.de> [Stand 26.06.2010]
- [18] URL: <http://www.bendorf-rhein.de> [Stand 26.06.2010]
- [19] URL: <http://www.history.ucsb.edu> [Stand 26.06.2010]
- [20] Füg, D.: Stahltragwerke im Industriebau, VEB Verlag für Bauwesen, 1. Auflage 1989 Berlin
- [21] Schultz, H. C.; Sobek, W.; Haberman, K. J.: Stahlbau Atlas, Birkhäuser Verlag für Architektur, 1. Unveränderte Auflage 2001
- [22] Holzer, S. M.: Vom Einfluss des Analysewerkzeugs auf die Modellbildung, Stahlbau [75] Heft 06/2006, Seite 428 – 434
- [23] URL: <http://www.bauwerk-verlag.de> [Stand 26.06.2010]
- [24] URL: <http://www.wikipedia.de> [Stand 26.06.2010]
- [25] URL: <http://uwek.onlinehome.de> [Stand 26.06.2010]
- [26] URL: <http://www.centercitybrassquintet.com> [Stand 26.06.2010]
- [27] Weller, B.; Tasche, M.: Bahnhofshallen im Osten Deutschlands, Stahlbau [75] Heft 03/2006, Seite 219 – 224
- [28] Sauerbier, W.: Sanierung des Bahnbetriebswerks Berlin Anhalter Bahnhof, Stahlbau [66] Heft 06/1997, Seite 373 – 375

- [29] Berger, M.: Historische Bahnhofsbauten I – Sachsen, Preußen, Mecklenburg und Thüringen, transpress Verlagsgesellschaft mbH, 3. Unveränderte Auflage 1991
- [30] Büttner, O.; Stenker, H.: Stahlhallen – Entwurf und Konstruktion, VEB Verlag für Bauwesen, Berlin 1986
- [31] unbekannter Verfasser: Sanierung des Großen Tropenhauses im Botanischen Garten Berlin, Bautechnik [86] Heft 08/2009, Seite 517-518
- [32] Borgelt, C. und Jost, R.: Botanisches Museum & Gewächshäuser der Freien Universität Berlin, Die neuen Architekturführer Nr. 53, Stadtwandel Verlag, Erste Auflage 2004
- [33] URL: <http://www.fotocommunity.com> [Stand 26.06.2010]

Erklärung

Ich versichere, die Bachelorarbeit selbstständig und lediglich unter Nutzung der angegebenen Hilfsmittel und Quellen verfasst zu haben.

Ich erkläre weiterhin, dass die vorliegende Arbeit noch nicht im Rahmen eines anderen Prüfungsverfahrens eingereicht wurde.

Arendsee, den 28.06.2010

Unterschrift:

Mathias Küster

