



DIPLOMARBEIT

Master Thesis

Die Jahrhunderthalle in Breslau – Geschichte und Instandsetzung einer 100 Jahre alten Ikone des Stahlbetonbaus

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades
eines Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

O. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Ing. **Johann Kollegger** M. Eng.

Institut für Tragkonstruktionen

Forschungsbereich für Stahlbeton- und Massivbau

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Patryk Filipczak

Matr. Nr.: 0426637

Völkendorferstr. 46/2

9500 Villach

Wien, November 2015

Vorwort und Dank

In gewisser Weise begleitete die Jahrhunderthalle mein Leben seit frühester Kindheit. Meine Großeltern wohnten in der Nähe, so diente dieses Bauwerk oft als Kulisse meiner Kindheit und Jugend. Im Laufe meines Studiums an der Technischen Universität Wien wurde mir erstmalig ihre wichtige Bedeutung im Bauwesen bewusst. Je mehr ich mich in weiterer Folge mit diesem Bauwerk auseinandersetzte, umso mehr faszinierte es mich. Daher war meine Freude groß, als ich 2009 von ihrer Instandhaltung erfuhr, daraufhin seitens der Alpine Bau die Zusage für das Praktikum erhielt und mir Prof. Kollegger die Zustimmung für die Betreuung der vorliegenden wissenschaftlichen Abschlussarbeit meines Diplomstudiums gab.

Es folgte ein spannendes Praktikum das mir ermöglichte die Jahrhunderthalle mit all ihren Ebenen, Rippen und Kontrollschächten im Detail kennenzulernen. Ebenso interessant war die Recherche in Archiven, Büchern, Zeitschriften, Bauunterlagen unterschiedlichen Alters in deutscher und polnischer Sprache sowie die Gespräche mit Fachleuten unterschiedlicher Themengebiete rund um die Jahrhunderthalle.

Ich möchte mich bei all jenen Menschen Bedanken, die für das Zustandekommen der vorliegenden Arbeit einen Beitrag geleistet haben. Allen voran Prof. Kollegger für die Betreuung, den großzügigen Vertrauensvorschuss und die Bereitschaft sich auf dieses Abenteuer mit mir einzulassen. Ebenso großer Dank gebührt auch an Hannes Huber und Maciej Mikołajonek für das Zustandekommen und die Betreuung meines Praktikums in Wrocław von Jänner bis Juni 2010 sowie für die Zusammenarbeit beim Verfassen unserer gemeinsamen wissenschaftlichen Publikation. Weiters danke ich all jenen Personen, die mir in der Rolle des Bauherrn, des Planers, des Denkmalschutzbeauftragten, des Ausführenden etc. die zahlreichen Unterlagen zur Verfügung gestellt haben, auf denen diese Arbeit zu einem großen Teil basiert, insbesondere Maciej Mikołajonek und Renato Dzugaj. Für die Zurverfügungstellung seiner umfangreichen fotografischen Dokumentation der Instandsetzungsarbeiten danke ich Ryszard Łubowicz.

Auch den Professoren der Politechnika Wrocławska – allen voran Prof. Biliszczyk, Prof. Moczko und Prof. Jasieńko – gebührt Dank für die zahlreiche Detailinformationen zur Jahrhunderthalle, aber auch für die Lehrveranstaltungen während meiner beiden Auslandssemester in Wrocław. Bei dieser Gelegenheit ist es mir auch wichtig, Christine Mascha und Prof. Kolbitsch von Dekanat für Bauingenieurwesen an der TU Wien für ihre freundliche Betreuung und Beratungen bei meinen Studienangelegenheiten, insbesondere im Zuge meiner Auslandssemester und des Studienabschlusses zu danken.

Selbstverständlich möchte ich mich auch bei meiner Familie für die herzliche Unterstützung während meines Studiums bedanken. In gleichem Maße gilt der Dank aber auch meinen Freunden, insbesondere für Korrekturlesen, Motivieren und Tipps im Umgang mit Elefanten. Danke Michael Pickelbauer, Matej Kosco, Sandra Kogler, Karl Samlitschka, Veronika Rieckh, Teresa Torzicky, Birgit Chemlar... und besonders für Korrekturlesen Eva und Michael Glavanovics, Dominik Filipczak, Ewelina Sobczak-Filipczak, Huw Landrock... ihr habt einen großen Beitrag zur Fertigstellung dieser Arbeit geleistet. Größter Dank gilt in dieser Hinsicht Martin Marenich für die Arbeit Seite an/um Seite beim Abschluss der letzten Kapitel unserer Arbeiten. Danken möchte ich auch den Mitgliedern von IAESTE für die lustige und lehrreiche Zeit neben dem Studium und die regelmäßige Koffeindosis. Danke auch den Stolis für die sportliche und gesellige Abwechslung der letzten Jahre.

Oft hat sich die Arbeit angefühlt wie der Kampf von Hemingways altem Mann und dem Meer, vor allem als der Fisch zu einem Elefanten herangewachsen ist. Nun bin ich glücklich ihn endgültig an Land gezogen zu haben. Meinem Bruder und Freunden, die diesen Weg noch vor sich haben, wünsche ich viel Durchhaltevermögen und Erfolg. Dank gilt auch noch dem scheinbar schlimmsten Freund des Studenten der fixen Deadline; in diesem Sinn entschuldige ich mich für die fehlende Referenz der Abbildungen.

Diese Abschlussarbeit möchte ich meinen geliebten Großeltern Jadwiga und Kazimierz Dobrowolsky widmen und mich für eine wunderbare und unbeschwerte Kindheit, die schöne gemeinsame Zeit und die Weitergabe ihrer schätzenswerten Ideale bedanken.

Kurzfassung

Die Jahrhunderthalle in Wrocław ist ein Meisterwerk der Ingenieurskunst und gilt als wichtiger Wegbereiter des Modernismus. Errichtet im Jahr 1912 nach den Entwürfen Max Bergs, verkörpert das Weltkulturerbe mit seiner imposanten Konstruktion die revolutionären Entwicklungen auf dem Gebiet des Stahlbetonbaus im frühen 20. Jahrhundert.

Zu Beginn des 21. Jahrhunderts befand sich die Jahrhunderthalle angesichts einer jahrzehntelang vernachlässigten Instandhaltung in einem dringend sanierungsbedürftigen Zustand. Eine Bauzustandsanalyse ergab, dass die dokumentierten Schäden charakteristisch für historische Stahlbetonbauwerke jener Zeit sind und vorwiegend nur einen ästhetischen Makel darstellen. Festgestellt wurde aber insbesondere auch die Notwendigkeit der Absicherung des Zugrings der Rippenkuppel – eines der konstruktiven Schlüsselemente des Bauwerks.

Von März 2009 bis September 2011 wurde die erste umfassende Instandsetzung und Modernisierung der Jahrhunderthalle seit ihrer Errichtung durchgeführt. Die Finanzierung des Vorhabens erfolgte zu einem großen Teil aus Mitteln der Europäischen Union.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist einerseits, die Bedeutung der Jahrhunderthalle als Pionierleistung des frühen Stahlbetonbaus aufzuzeigen, andererseits den Bauwerkszustand nach knapp einhundertjähriger Nutzung und die Instandsetzungsmaßnahmen zusammenfassend zu dokumentieren. Folglich ist die Arbeit in drei Themenbereiche geteilt.

Teil I behandelt die architektonischen und konstruktiven Aspekte der Jahrhunderthalle. Im historischen Kontext ihrer Entstehungszeit werden die Entwicklung des Bauprojekts sowie die Bauausführung beschrieben und der damalige Wissensstand im Stahlbetonbau erörtert.

Im Teil II werden, basierend auf der 2007 bis 2008 durchgeführten Bauzustandsanalyse, die charakteristischen Schäden der Jahrhunderthalle und ihre Ursachen, die Ergebnisse der Baustoffuntersuchungen sowie die wesentlichen Erkenntnisse und Empfehlungen des Gutachters zusammenfassend dargestellt.

Teil III umfasst die Dokumentation der Instandsetzungs- und Modernisierungsmaßnahmen der Jahre 2009 bis 2011. Einbezogen werden hierfür die Ausführungsplanungen und Ausführungsdokumentationen, wissenschaftliche Publikationen sowie eine Recherche vor Ort während der Instandsetzung der Fassade und der Absicherung des Zugrings.

Im Fazit werden die ausgeführten Instandsetzungs- und Modernisierungsmaßnahmen international anerkannten Grundsätzen der Denkmalpflege gegenübergestellt. Dabei werden Unstimmigkeiten hinsichtlich ausgeführter Reparaturen der Fassade im Vergleich zu Verfahren der behutsamen Instandsetzung historisch wertvoller Betonbauten nach aktuellem Stand der Technik aufgezeigt. Dies betrifft vor allem die Verwendung von konventionellen Reparaturmörteln und Lasuranstrichen auf Sol-Silikatbasis.

Abstract

The Centennial Hall in Wrocław is an important masterpiece of structural engineering which is regarded as a pioneering architectural project of the Modernist movement. The UNESCO world heritage site was built in 1912, according to the designs of the German architect Max Berg. With its imposing structure it embodies the revolutionary developments in the field of concrete construction in the early 20th century.

At the beginning of the 21st century following a period of decades lacking proper maintenance the Centennial Hall was in urgent need of modernization. A building condition analysis showed that the discovered damage was characteristic for historical reinforced concrete structures of this period and predominantly represented an aesthetic blemish of the building. Furthermore, the necessity of securing the ribbed dome's tension ring-beam was identified – one of the key elements of the buildings structural design.

From March 2009 to September 2011 the first complete renovation and modernization of the Centennial Hall took place since its construction. The project was largely financed by European Union funds.

The aim of this scientific work is both to demonstrate the importance of the Centennial Hall as a pioneering achievement of early history of reinforced concrete structures, as well as to document the buildings condition after almost one hundred years of use and the conducted fundamental refurbishment. Hence the thesis is divided into three parts:

Part I comprises the architectural and structural aspects of the Centennial Hall. In consideration of the historical context the development of the construction project and the construction are described and discussed in regards to the former state of the art in reinforced concrete construction.

Based on the building condition assessment carried out in 2007 and 2008, part II documents the characteristic damage of the Centennial Hall and its causes as well as the results of the construction material analysis and summarized expert recommendations.

Part III covers the documentation of maintenance and modernization measures conducted from 2009 to 2011. Included are construction documents and design documentation, research data from journals and personal on-site research information gathered during the repair of the facade and the securing of the tension ring-beam.

In conclusion, the maintenance and modernization measures are compared with internationally acknowledged principles of historic preservation. This evaluation points out differences between the performed repairs of the facade in contrast to state of the art methods of gentle concrete restoration of historically valuable buildings. This concerns mainly the use of standard repair mortars and glaze coatings based on sol-silicate.

Streszczenie

Hala Stulecia we Wrocławiu jest arcydziełem sztuki inżynierskiej i uważana jest za ważnego prekursora modernizmu. Ten obiekt światowego dziedzictwa kulturowego powstał w roku 1912 według projektu Maxa Berga i dzięki swej imponującej konstrukcji ucieleśnia rewolucyjne zmiany w dziedzinie budownictwa żelbetowego z początku XX wieku.

Na początku XXI wieku stan techniczny budynku Hali Stulecia wymagał gruntownej renowacji na skutek wieloletniego zaniedbywania prac konserwacyjnych. Analiza kondycji budynku ujawniła, że jego uszkodzenia są typowe dla konstrukcji żelbetowych z tamtego okresu i stanowią głównie wady estetyczne. Stwierdzono jednak konieczność zabezpieczenia pierścienia rozciąganego żebrowej konstrukcji kopuły – jednego z głównych elementów konstrukcyjnych budynku.

Od maja 2009 do września 2011 przeprowadzono pierwszą kompleksową renowację obiektu od czasu jego wybudowania. Finansowanie projektu było w dużej mierze możliwe dzięki środkom z funduszy Unii Europejskiej.

Celem niniejszej rozprawy naukowej jest pokazanie znaczenia Hali Stulecia jako pionierskiego osiągnięcia wczesnego budownictwa żelbetowego, dokumentacja stanu technicznego budynku po prawie stuletnim użytkowaniu oraz przeprowadzonych działań renowacyjnych. W związku z tym praca jest podzielona na trzy zakresy tematyczne.

Część I zawiera aspekty architektoniczne i konstrukcyjne Hali Stulecia. Na tle historycznym okresu jej budowy zostały opisane rozwój projektu i wykonanie budowli. W tym kontekście rozważony został także ówczesny poziom wiedzy w dziedzinie budownictwa żelbetowego.

W części II na podstawie wykonanej w latach 2007 i 2008 ekspertyzy stanu technicznego budowli opisano charakterystyczne uszkodzenia Hali Stulecia oraz przyczyny ich powstania, wyniki badań materiałowych i najważniejsze wnioski oraz zalecenia rzeczoznawcy.

Część III obejmuje dokumentację działań mających na celu renowację i modernizację budynku w latach 2009 do 2011. Materiał zamieszczony w tej części pochodzi z projektów wykonawczych i dokumentacji powykonawczych, publikacji naukowych a także własnych obserwacji w zakresie usuwania uszkodzeń elewacji oraz zabezpieczenia pierścienia rozciąganego.

We wnioskach wykonane prace renowacyjne i modernizację Hali Stulecia porównano z uznanymi na świecie zasadami ochrony zabytków. Wykazano niezgodności w wykonanych pracach naprawczych elewacji w stosunku do metod starannej renowacji zabytkowych budynków betonowych według obecnego stanu wiedzy technicznej. Dotyczy to przede wszystkim zastosowania standardowych zapraw naprawczych oraz powłoki laserunkowej żelazo-krzemianowej.

Inhaltsverzeichnis

VORWORT UND DANK	III
KURZFASSUNG	VII
ABSTRACT	IX
STRESZCZENIE	XI
INHALTSVERZEICHNIS.....	XIII

TEIL I GESCHICHTE DER BRESLAUER JAHRHUNDERTHALLE

KAPITEL 1 VOM BEDARF ZUM BAUBESCHLUSS	3
1.1 ENTWURFSPROZESS DER JAHRHUNDERTHALLE	4
1.2 FINANZIERUNG, ÖFFENTLICHKEITSARBEIT UND BAUBESCHLUSS	6
1.3 MAX BERG, DER SCHÖPFER DER JAHRHUNDERTHALLE	7
1.4 AM BAU BETEILIGTE PERSONEN UND FIRMEN	10
KAPITEL 2 ARCHITEKTONISCHES KONZEPT	11
2.1 RAUMGESTALTUNG UND FUNKTIONEN	11
2.2 BELICHTUNG	14
2.3 ZAHLEN UND FAKTEN	15
KAPITEL 3 KONSTRUKTION UND STATIK	17
3.1 WIRKUNGSWEISE DES TRAGWERKS	17
3.2 STATIK UND BEMESSUNG DES TRAGWERKS.....	20
3.3 VORUNTERSUCHUNGEN DER AUSFÜHRENDEN FIRMA	28
KAPITEL 4 DIE JAHRHUNDERTHALLE ALS MEILENSTEIN DES STAHLBETONBAUS	31
4.1 STAHLBETON ALS BAUSTOFF DER JAHRHUNDERTHALLE.....	32
4.2 DISKURS ÜBER DIE VERWENDUNG VON STAHLBETON FÜR DEN BAU DER JAHRHUNDERTHALLE	33
4.3 DER STAHLBETONBAU ZU BEGINN DES 20. JAHRHUNDERTS	35
4.4 STAHLBETON-TECHNIK BEIM BAU DER JAHRHUNDERTHALLE.....	37
KAPITEL 5 BAU DER JAHRHUNDERTHALLE	41
5.1 BAUSTELLENEINRICHTUNG	41
5.2 BAUABLAUF	43
5.4 BAUÜBERGABE	51

TEIL II BAUZUSTANDSANALYSE DER JAHRE 2007 UND 2008

KAPITEL 6 CHARAKTERISTISCHE SCHÄDEN UND IHRE URSACHEN	55
6.1 BETONTECHNOLOGISCHE SCHADENSURSACHEN	55
6.2 PLANUNGSBEDINGTE SCHADENSURSACHEN	56
6.3 AUSFÜHRUNGSBEDINGTE SCHADENSURSACHEN	58
6.4 RISSE IM BETON	61
6.5 ATMOSPHERISCHE EINWIRKUNGEN	64
6.6 AUßERGEWÖHNLICHE BELASTUNGEN	68
6.7 SONSTIGE SCHADENSURSACHEN.....	69
KAPITEL 7 UNTERSUCHUNGEN DES STAHLBETONS	71
7.1 UNTERSUCHUNGEN AN BOHRKERNEN	71
7.2 OBERFLÄCHENDRUCKFESTIGKEIT	72
7.3 OBERFLÄCHENZUGFESTIGKEIT	73
7.4 KARBONATISIERUNGSTIEFE	73
7.5 BAUSCHÄDLICHE SALZE	74
7.6 LOKALE BEWEHRUNGSFREILEGUNG	74
7.7 UNTERSUCHUNGEN VON BEWEHRUNGSPROBEN	75
KAPITEL 8 BESTANDSAUFNAHME UND SCHADENSANALYSE	77
8.1 SICHTBETONFASSADE	78
8.3 LATERNE	81
8.4 DRUCKRING	83
8.5 KUPPELRIPPEN UND AUSSTEIFUNGSRINGE	84
8.6 ZUGRING	86
8.7 KUPPELLAGER UND REVISIONSSCHACHT	88
8.8 TRAGKONSTRUKTION DES UNTERBAUS	90
8.9 TRAGKONSTRUKTION DES RUNDGANGS	91
8.10 DECKENKONSTRUKTION DER KUPPEL UND APSIDEN	91
8.11 FLACHDÄCHER	92
8.12 HOLZFENSTER	93
KAPITEL 9 SCHLUSSFOLGERUNGEN AUS DER BAUZUSTANDSANALYSE	95

TEIL III INSTANDSETZUNG UND MODERNISIERUNG IN DEN JAHREN 2009 BIS 2011

KAPITEL 10 SANIERUNG DER FASSADE UND FLACHDÄCHER	99
10.1 INSTANDSETZUNG DES STAHLBETONS	99
10.2 INSTANDSETZUNG DER FENSTER	107
10.3 INSTANDSETZUNG DER FLACHDÄCHER	110
KAPITEL 11 ABSICHERUNG DES ZUGRINGS.....	113
11.1 ZUSTAND DES ZUGRINGS VOR DER ABSICHERUNG	113
11.2 SANIERUNGSKONZEPTE FÜR DEN ZUGRING	115
11.3 BEMESSUNG DER ZUGRING-ABSICHERUNG	117
11.4 AUSFÜHRUNG DER ZUGRING-ABSICHERUNG	118
KAPITEL 12 SANIERUNG UND MODERNISIERUNG DES INNENRAUMS.....	121
12.1 AUSBAU UND MODERNISIERUNG DES VERSAMMLUNGSRAUMS	122
12.2 INSTANDSETZUNG UND SICHERUNG DER BAUSUBSTANZ	129
12.3 NEUGESTALTUNG DES RUNDGANGS	131
12.4 TECHNISCHE GEBÄUDEAUSRÜSTUNG	132
KAPITEL 13 AKTUELLES RAUMPROGRAMM UND FUNKTIONEN	135
13.1 VERSAMMLUNGSRAUM	136
13.2 RUNDGANG SAMT INDIVIDUELLER NUTZRÄUME	138
13.3 BETRIEBS-, VERWALTUNGS- UND FUNKTIONSRÄUME	141
13.4 BARRIEREFREIHEIT	142
13.5 BRANDSCHUTZ	142
FAZIT.....	145
DIE BEDEUTUNG DER JAHRHUNDERTHALLE FÜR DIE ARCHITEKTUR UND BAUTECHNIK	145
DIE KONSTRUKTIVE ABSICHERUNG DES ZUGRINGS.....	145
DIE INSTANDSETZUNG DER STAHLBETONFASSADE	147
MODERNISIERUNG DER JAHRHUNDERTHALLE UNTER DENKMALPFLEGERISCHEM ASPEKT	149
RESÜMEE UND AUSBLICK	150
GLOSSAR	153
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	155
LITERATURVERZEICHNIS	159

ANHANG

- ANHANG A AUSWAHL VON ORIGINALBAUPLÄNEN**
- ANHANG B TRAGSICHERHEITSBERECHNUNG DES ZUGRINGS**
- ANHANG C DENKMAL JAHRHUNDERTHALLE**

TEIL I

GESCHICHTE DER BRESLAUER JAHRHUNDERTHALLE

In der Zeit der Industriellen Revolution entfachte ein wirtschaftlicher Konkurrenzkampf der Nationen. Daraus gingen auch die Weltausstellungen hervor, die sich ab Mitte des 19. Jahrhunderts als internationale Leistungsschau sowie als Mittel zur Erschließung neuer Absatzmärkte etablierten. Im Zuge der Weltausstellungen profilierten sich zahlreiche Städte Europas mit der Errichtung bedeutender Werke der Architektur und Ingenieurbaukunst, so entstanden beispielsweise der Kristallpalast in London (1851), die Rotunde in Wien (1873) und der Pariser Eiffelturm (1889).

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts sah man auch in Breslau die dringende Notwendigkeit einen entsprechenden Rahmen zu schaffen, um kulturelle und technische Errungenschaften Schlesiens angemessen zur Schau zu stellen. Das 100-jährigen Jubiläum der antinapoleonischen Befreiungskriege zum Anlass nehmend, wurde in Breslau schließlich ein weitläufiges Ausstellungsareal angelegt, dessen Mittelpunkt die Jahrhunderthalle bildet. Die monumentale Fest- und Ausstellungshalle sollte einen großzügigen und repräsentativen Raum für Großveranstaltungen unterschiedlichster Art bieten und zugleich als dauerhaftes Denkmal an die Befreiungskriege dienen.



Abb. I.1.1: Die Jahrhunderthalle in den frühen 1930er-Jahren

Max Berg, der Schöpfer der Jahrhunderthalle, wählte als Konstruktionsmaterial gezielt Eisenbeton, um mit dem noch relativ neuartigen Baustoff ein bis dahin einzigartiges Kuppelbauwerk zu errichten. Seine architektonische Gestaltung beruht auf schlichten, konstruktiv zweckmäßigen Formen. Bewusst verzichtete Berg auf Verzierungen und historische Vorbilder. Mit der direkten Zurschau-stellung des Stahlbetons brachte der Architekt seine Faszination für das neue Material und die Suche nach einem neuen Stil zum Ausdruck. Sein Bauwerk war wegweisend für die damals revolutionäre Technologie des Stahlbetonbaus und setzte neue Maßstäbe in der Baugeschichte. Dank der Skelettbauweise und dem Einsatz von Bewehrungsstahl ist es Berg erstmals gelungen eine Kuppel von 65 m lichter Spannweite aus einem Massivbaustoff zu errichten. Mit der Fertigstellung der Jahrhunderthalle im Jahr 1912 wurde erstmals nach etwa 1800 Jahren der 42 m überspannende antike Kuppelbau des Pantheons in Rom von einem größeren Massivbau übertroffen.

Seit der feierlichen Eröffnung am 20. Mai 1913 im Rahmen der Breslauer Jahrtausendausstellung wurden Max Bergs Erwartungen zur Funktionalität seines Versammlungsbaus bis zum heutigen Tag bestätigt. Der „Dom der Demokratie“ – eine Bezeichnung die der Architekt selbst aufgriff – diente im Lauf der Geschichte als würdiger Rahmen für eine Vielzahl bedeutender kultureller und gesellschaftlicher Ereignisse. Nach wie vor wird das Raumwunder regelmäßig für unterschiedlichste Arten von Massenversammlungen genutzt; von Konzerten und Theatervorstellungen über diverse Festveranstaltungen und sportliche Großereignisse bis hin zu Ausstellungen konnte die Jahrhunderthalle ihre Vielseitigkeit unter Beweis stellen. Aufgrund ihrer bahnbrechenden Architektur- und Konstruktionslösungen wurde die Jahrhunderthalle am im Jahr 2006 in die Liste des UNESCO Weltkulturerbes aufgenommen (siehe Anh. C).

Kapitel 1

Vom Bedarf zum Baubeschluss

Einhergehend mit dem allgemeinen Konjunkturaufschwung Europas im späten 19. Jahrhundert wurden auch in Breslau regelmäßig Gewerbe-, Industrie- und Kunstausstellungen organisiert. Aufgrund der damals rasch expandierenden Wohnbebauung mussten die Austragungsorte solcher Veranstaltungen mehrmals innerhalb der Stadt gewechselt werden. Zur Jahrhundertwende wurde schließlich die Schaffung eines gesonderten und dauerhaften Veranstaltungsgeländes als notwendig erachtet.

Die Breslauer Stadtverwaltung sah für diesen Zweck den Platz der bisherigen Pferderennbahn im Scheitniger Park vor – ein Gebiet das unweit östlich des Stadtkerns liegt und in den kommenden Jahren durch den Bau der Kaiserbrücke besser erschlossen werden sollte. Mit der Kündigung des Pachtvertrags wurde die Verlegung der Rennbahn erzwungen. Das letzte Pferderennen in Scheitnig fand am 2. September 1906 statt.¹

Auf lokaler Ebene entbrannte in weiterer Folge eine hitzige Debatte über die Nutzung des Geländes mit zahlreichen Konzepten für dessen Neugestaltung. Karl Masner, der Direktor des Museums für Kunst und Altertümer, betonte, Breslau müsse als Hauptstadt der großen Provinz Schlesien dringend eine Möglichkeit schaffen, lokales Kunsthandwerk und Güter der Region angemessen zu präsentieren. Man brauche eine Ausstellungshalle wie beispielsweise jene in Frankfurt am Main, die auch Versammlungen, Konzerte und Sportveranstaltungen beherbergen könne.

Als idealen Anlass für die Errichtung solch eines imposanten Bauwerks sah Masner das einhundertjährige Jubiläum des Aufrufs AN MEIN VOLK, den der preußische König Friedrich Wilhelm III. am 17. März 1813 in Breslau veröffentlichte. Sein Appell gab den antinapoleonischen Befreiungskriegen, die im Oktober desselben Jahres mit der Völkerschlacht bei Leipzig ihren Höhe- und Endpunkt gefunden hatten, einen signifikanten Impuls. Als Vorbild für solch eine Jubiläumsfeier nannte Karl Masner die WIENER KONGRESS-AUSSTELLUNG von 1896.

Masners Vorschlag wurde von einem Großteil der Bevölkerung befürwortet. Zum Teil herrschte sogar die Meinung, dass Breslau durch das Fehlen einer großen Festhalle den Rang einer Hauptstadt verlieren könnte. Im Gegenzug gab es aber auch viele Kritiker, die vor allem die Finanzierbarkeit solch eines großen Projekts in Frage stellten. Insbesondere Mitglieder der SPD waren der Ansicht, für die Jubiläumsfeiern genüge die Errichtung eines schlichten Denkmals und die finanziellen Mittel sollten besser für soziale Zwecke aufgewendet werden.²

Der Breslauer Magistrat beschloss zunächst, den kleineren südlichen Teil der ehemaligen Rennbahn für die Erweiterung des Zoos zu widmen und die restliche Fläche als Freizeitgelände mit Sport- und Spielplätzen zu gestalten und für Festveranstaltungen zu nutzen. In den darauffolgenden Jahren wurden auf dem Gelände mehrere temporäre Pavillons und Veranstaltungsbauwerke für diverse Feierlichkeiten errichtet. Bis kurz vor Baubeginn der Jahrhunderthalle veran-

¹ vgl. Ilkosz 2006, S. 59-65.

² vgl. Ilkosz 2006, S. 65, 70.

staltet der *Verein zur Hebung des Fremdenverkehrs*, jeweils im Juni der Jahre 1909-1911, an diesem Ort auch die Breslauer Festwoche.

Der Beschluss zur Errichtung eines dauerhaften Ausstellungsgeländes mit einer großen Festhalle fiel schließlich am 24. Oktober 1910 in einer Sondersitzung des Stadtrats, der auch prominente Gäste aus der Region beiwohnten. Dem Vorschlag Direktor Masners folgend, wurde entschieden, die Jubiläumsfeierlichkeiten des kaiserlichen Aufrufs AN MEIN VOLK mit Ausstellungen und Kulturveranstaltungen zu begehen. Zu diesem Anlass wurde ein Ehrenausschuss gebildet und ein Organisationskomitee berufen. Die Mitglieder des Stadtrats waren bestrebt staatliche Förderungen zu lukrieren und erwarteten sich dabei die Mithilfe der gesamten Provinz. Ferner hoffte man auch die Unterstützung des Kaisers für das Vorhaben zu gewinnen.³

Mit der Gestaltung und termingerechten Fertigstellung der großen Festhalle wurde der Stadtbaurat Max Berg beauftragt. Er hatte mit seiner Arbeit an den Entwürfen des Bauwerks bereits Anfang 1910 begonnen und war auch an den Diskussionen der Presse und Stadtverwaltung beteiligt.⁴ Max Berg verfolgte ein Ziel, von dem viele Architekten träumen: die Erschaffung eines Monumentalbaus als Denkmal zur dauernden Erinnerung.

1.1 Entwurfsprozess der Jahrhunderthalle⁵

Max Berg plante eine außergewöhnliche Festhalle mit einer weit gespannten Rippenkuppel aus Stahlbeton, deren äußere Form durch ein stufenförmig ansteigendes Dach charakterisiert ist. Für gewöhnlich fertigte Berg bei seiner Arbeit nur Skizzen sowie Tonmodelle an, die Entwürfe wurden in weiterer Folge zumeist von seinen Mitarbeitern, den Architekten Richard Konwiarz und Paul Heim, ausgearbeitet. Die perspektivischen Zeichnungen stammen großteils vom Maler Hans Leistikow. Laut Richard Konwiarz soll für Bergs architektonisches Konzept der Jahrhunderthalle die Festhalle von Friedrich von Thiersch in Frankfurt am Main (siehe Abb. 1.1), bei deren Errichtung Berg als Bauinspektor tätig war, ein direktes Vorbild gewesen sein.

Anstelle eines Langhauses, wie in Frankfurt, soll sich der Architekt rasch auf einen Zentralbau festgelegt haben. Die Rippenkonstruktion der Breslauer Kuppel erinnert zwar weiterhin stark an die Stahlkonstruktion der Frankfurter Festhalle, Bergs erste Entwurfszeichnungen des Innenraums lassen allerdings keinen Zweifel daran, dass sein Monumentalbau als Stahlbetonbauwerk ausgeführt werden sollte.

Archivunterlagen belegen, dass Max Berg mehrere Projektvarianten der Festhalle entwickelt hat. Die ersten Zeichnungen sind mit Februar 1910 datiert (siehe Abb. 1.2 bis Abb. 1.5). In

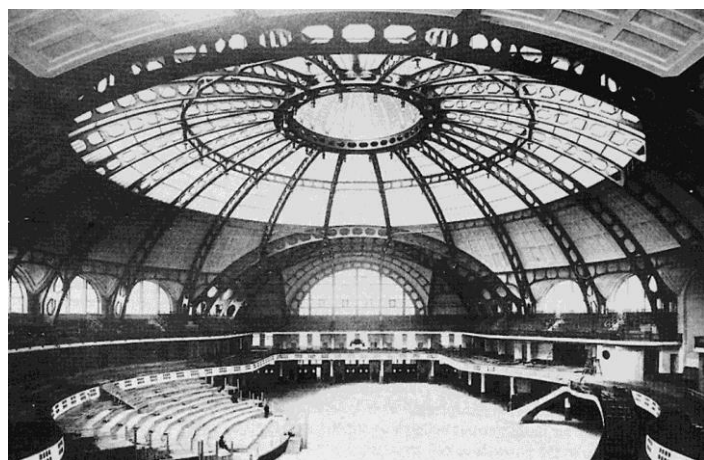


Abb. 1.1: Innenansicht der Festhalle in Frankfurt am Main (1909)

³ vgl. vgl. Ilkosz 2006, S. 67-71.

⁴ vgl. Ilkosz 2006, S. 114.

⁵ vgl. Ilkosz 2006, S. 112-129.

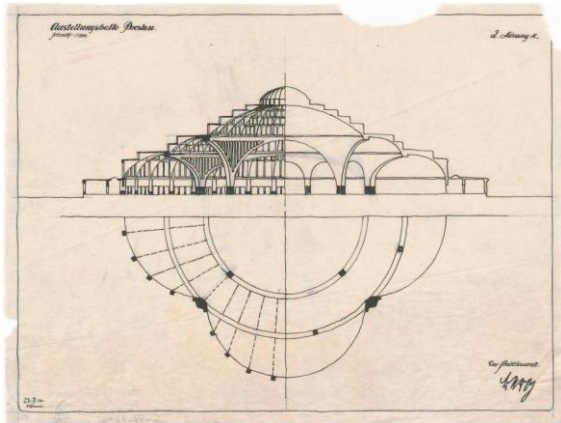


Abb. 1.2: Entwurfsvariante der Jahrhunderthalle, Hauptansicht. Datierung: Nov. 1910; Signatur: Der Magistrat (Max Berg)

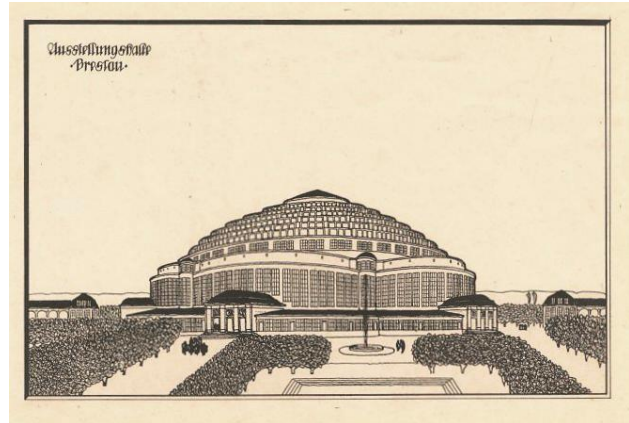


Abb. 1.3: Entwurfsvariante der Jahrhunderthalle, Schnitt. Datierung: Dez. 1910; Signatur: Der Magistrat (Max Berg)

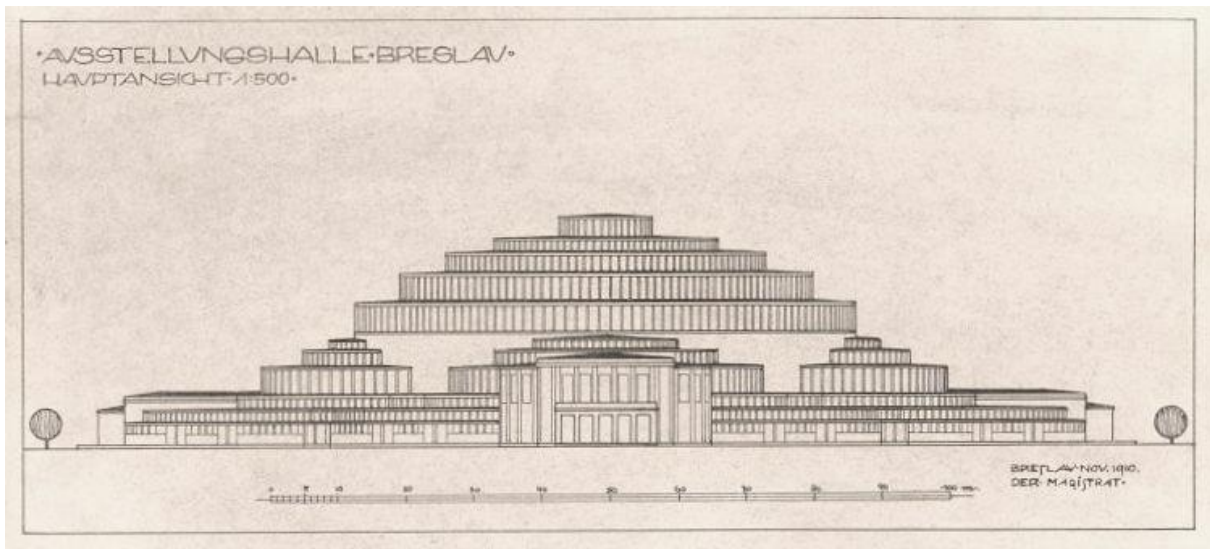


Abb. 1.4: Entwurfsvariante der Jahrhunderthalle, "2. Lösung c." Schnitt und Grundriss; Datierung: 23.2.1910; Signaturen: Stadtbaurat Max Berg, Richard Konwiraz

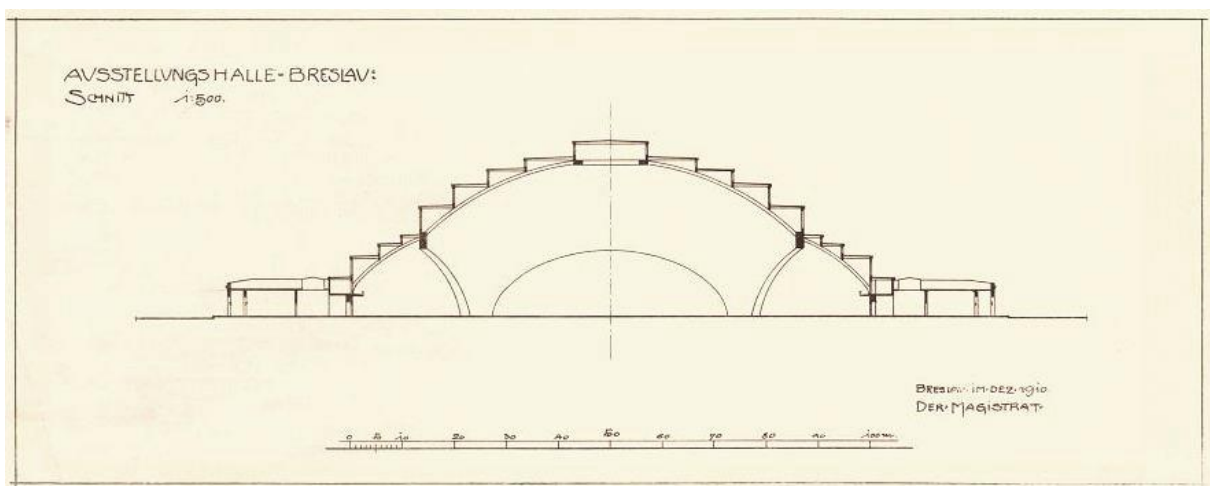


Abb. 1.5: Entwurfsvariante der Jahrhunderthalle, perspektivische Darstellung. Datierung: 28.2.1910; Signaturen: Stadtbaurat (Max Berg), Richard Konwiraz

den wesentlichen Merkmalen entsprechen diese Entwürfe bereits dem später ausgeführten Bau. Innen wie außen ist die Jahrhunderthalle durch einfache Formen definiert und soll als Gesamtwerk beeindrucken. Während ihr äußeres Erscheinungsbild von der horizontalen Gliederung der stufenartig ansteigenden Fassade geprägt ist, dominieren im Innenraum das Tragwerk der Rippenkuppel und die mächtigen Hauptbögen des Unterbaus. Von Beginn an wollte Berg mit der Jahrhunderthalle auch eine Stätte für Theaterinszenierungen und Konzerte schaffen und sah daher den Einbau einer riesigen Orgel vor.

Die Ausmaße der geplanten Halle variierten während der Projektentwicklung häufig, vor allem die Ausbildung der Laterne wurde mehrmals geändert. In Zeichnungen, die mit November und Dezember 1910 datiert sind (siehe Abb. 1.2 und Abb. 1.3), weist die Kuppel beispielsweise noch eine um etwa 8 m größere Spannweite auf und die Gesamthöhe des Bauwerks ist ca. 12 m niedriger, als später ausgeführt. Möglicherweise nach Intervention der Statiker, reduzierte Berg im April 1911 die konstruktive Spannweite auf ca. 67 m. In Reaktion auf den von Hans Poelzig neu gestalteten Gesamtplan des Ausstellungsgeländes änderte er im Juli 1911 schließlich noch die Gestaltung des Portikus beim Haupteingang (siehe Abb. 2.1).

1.2 Finanzierung, Öffentlichkeitsarbeit und Baubeschluss⁶

Am 2. Jänner 1911 stellte Max Berg sein Konzept der Jahrhunderthalle mittels Plänen und Entwurfszeichnungen dem Stadtrat vor. Dieser stimmte dem Bau der Halle zu und verpflichtete den Architekten die endgültigen Entwürfe und Kostenvoranschläge innerhalb eines halben Jahres vorzulegen. Kurze Zeit später präsentierte Berg sein Vorhaben erstmals öffentlich auf einer Sitzung des Breslauer Vereins zur Hebung des Fremdenverkehrs.

Bemühungen um Subventionen durch kaiserliche Unterstützung und staatliche Förderung scheiterten und die Stadt musste alleine für das Bauvorhaben aufkommen. Es entbrannte eine öffentliche Diskussion über die Realisierbarkeit des Entwurfs. Die Befürworter des Projekts waren zum Einsatz sämtlicher verfügbarer Werbemittel gezwungen, um die Breslauer Bürger für die finanzielle und ideelle Unterstützung der Festhalle und der Jahrhundertausstellung zu gewinnen.

Zu diesem Zweck wandten sich die Projektinitiatoren mit Vorträgen an die Öffentlichkeit, insbesondere dann, wenn entscheidende Sitzungen des Stadtrates bevorstanden. Die Presse wurde dabei stark eingebunden und auch die Stadtverwaltung gab eine Serie farbiger Postkarten mit Motiven rund um die geplante Jahrhundertfeier heraus. Von Mai bis Oktober 1911 sollte die Stadt schließlich das Bauvorhaben der Jahrhunderthalle samt Ausstellungsgelände – neben Entwürfen der neuen Breslauer Kaiserbrücke – auf der OSTDEUTSCHEN AUSSTELLUNG FÜR INDUSTRIE, GEWERBE UND LANDWIRTSCHAFT in Posen präsentieren.

Als Max Berg am 24. Februar 1911 seine Entwürfe für die Posener Ausstellung im Breslauer Kunstgewerbeverein vorlegte, gab er bekannt, dass die Projektplanung in etwa zwei Monaten abgeschlossen sein werde, kleinere Änderungen aber noch während des Baus möglich seien.

Bei der Präsentation seiner Entwürfe stellte Berg die Jahrhunderthalle ähnlichen Bauwerken maßstabsgetreu gegenüber; neben der Frankfurter Halle und dem Londoner Kristallpalast verglich er die Jahrhunderthalle mit Bauten in München, Berlin, Dresden und Mainz. Auch verwies er auf den im Bau befindlichen Leipziger Bahnhof, dessen Querbahnsteighalle als ebenso beeindruckende

⁶ vgl. Ilkosc 2006, S. 72, 78, 109, 112; Berg 1913, S. 466.

Stahlbetonkonstruktion im selben Zeitraum ausgeführt wurde. Berg zählte auf den Lokalpatriotismus der Bevölkerung und meinte hinsichtlich der geplanten Größe der Rippenkuppel: „Die alten Römer hätten das Pantheon mit 43 m Spannung errichtet, die Hagia Sophia habe 35 m, sollte da unsere heutige Technik nicht 65 m Spannung bauen können? [...]“⁷

Am 18. Juni 1911 legte Max Berg dem Stadtrat sein fertiges Projekt mit einem Kostenvoranschlag von 1,9 Millionen Mark vor. Abermals entbrannte eine mehrere Tage andauernde Debatte mit zahlreichen Einwänden der Projektgegner. Erneut wurde vor allem die außerordentliche finanzielle Belastung für Bau und Erhalt der Jahrhunderthalle vorgebracht, bemängelt wurde aber auch die scheinbar fehlende Ästhetik des Bauwerks. Einige Kritiker warnten sogar vor der Einsturzgefahr einer Stahlbetonkuppel mit derartigen Ausmaßen.

Am 28. Juni bewilligte der Stadtrat schließlich den Bau der Jahrhunderthalle und stellte dafür 1,8 Millionen Mark bereit. Der erste Spatenstich erfolgte am 31. August 1911, noch bevor die Ausführungspläne am 25. September offiziell vom Magistrat genehmigt wurden.

1.3 Max Berg, der Schöpfer der Jahrhunderthalle⁸



Abb. 1.6: Max Berg

Max Paul Eduard Berg wurde am 17. April 1870 in Stettin geboren. Nach Abschluss seiner Schulbildung am Städtischen Gymnasium in Stettin studierte er von 1889 bis 1893 an der Technischen Hochschule Berlin-Charlottenburg, u.a. bei Carl Schäfer, dem wichtigsten deutschen Vertreter der späten Neugotik. Ein Semester absolvierte Max Berg auch an der Technischen Hochschule in München. Nach seinem Studienabschluss kehrte er nach Stettin zurück und leistete dort bis 1895 den Wehrdienst ab.

Im Anschluss arbeitete er zwei Jahren lang als Bauführer und für die staatliche Bauaufsicht. 1898 bestand Berg die Zweite Staatsprüfung und erhielt das Patent sowie den Titel des Regierungsbaumeisters. Im darauffolgenden Jahr war Berg kurzzeitig als Stadtbaumeister bei der Stettiner Hochbauverwaltung tätig, bevor er den Posten des Stadtbauinspektors in Frankfurt am Main antrat. Dort projektierte er u.a. auch ein Rathaus, Amtsgebäude, Schulen und einen Hangar für Zeppeline. Während seiner Zeit in Frankfurt beschäftigte Berg sich intensiv mit den städtebaulichen Theorien des Wiener Camillo Sitte und dem Thema Gartenstadt. 1908 unternahm er eine Studienreise nach England, um die neue englische Architektur und Letchwood – die erste verwirklichte Gartenstadt – zu besichtigen. Berg wurde Mitglied der *Deutschen Akademie für Städtebau* sowie der *Deutschen Gartenstadt-Gesellschaft* und schloss sich auch reformfreudigen Künstlerkreisen wie dem *Dürerbund* und dem *Deutschen Werkbund* an. In Frankfurt heiratete Max Berg die Pianistin Edelgarde Gerlach; ihr gemeinsamer Sohn Michael Berg kam 1922 zur Welt.

⁷ Breslauer Stadtverordnetenversammlung (o. D.) zit. n. Ilkosz 2006, S. 112.

⁸ vgl. Ilkosz, Kulturportal West Ost | Berg



Abb. 1.7: Messehalle (1925 errichtet, im Zweiten Weltkrieg zerstört)

Auf Empfehlung des Frankfurter Bürgermeisters Franz Adickes wurde Max Berg am 17. Dezember 1908 in Breslau zum Stadtbaurat für Hochbau gewählt. Dieses Amt trat Berg im April 1909 an. Er schloss sich sogleich dem Breslauer Künstlerkreis um den Direktor der Kunstakademie Hans Poelzig und den Dramatiker und Schriftsteller Gerhart Hauptmann an. Max Berg gehörte in weiterer Folge zu den Gründungsmitgliedern des von Poelzig initiierten *Künstlerbund Schlesien* und trug zur Entstehung des *Schlesischen Bundes für Heimatschutz* bei.

In den Jahren 1909 bis 1913 bemühte sich Berg im Sinne des *Werkbundes* und des *Deutschen Bundes für Heimatschutz* den Forderungen zur Erneuerung von Kunst und Architektur nachzukommen. In seinem Schaffen spiegeln sich Einflüsse der Ingenieurbaukunst wie jene der gotischen Konstruktionslehre wieder; ebenso inspiriert war der Künstler vom englischen Wohnbau wie auch von der ländlichen Architektur Schlesiens. In seinen Entwürfen verwendete Berg stets klare und einfache Formen. Er ordnete Gestalt und Innenraum der Funktion des Bauwerks unter und reduzierte Verzierungen auf ein Minimum. Die Anwendung der Skelettbauweise, der Gebrauch vorgefertigter Bauelemente sowie die Zurschaustellung des Stahlbetons zeugen von der Faszination Bergs für neuartige Technologien. Der Idee des Gesamtkunstwerks von Richard Wagner folgend, suchte Berg nach einem neuen Stil, der alle Bereiche der Kunst vereinen sollte. Er war bemüht architektonische Lösungen für die Wohnungsnot zu finden und beschäftigte sich neben seinen Projekten in Breslau auch mit Entwürfen der nahegelegenen Gartenstadt Zobten und beteiligte sich mit Vorschlägen am städtebaulichen WETTBEWERB GROß-BERLIN.

Abgesehen von seinem Meisterwerk der Jahrhunderthalle, errichtete Max Berg in Breslau unterschiedliche soziale- und öffentliche Bauten, u. a. eine Schule, ein Säuglingsheim, ein städtisches Bad und eine Friedhofskapelle. Viele seiner Bauwerke sind heute noch erhalten. Gemeinsam mit Oskar Kokoschka, der darin ein monumentales Fresko ausführen sollte, arbeitete Max Berg auch an einem Projekt für ein Krematorium, das allerdings nie ausgeführt wurde.

Im Ersten Weltkrieg diente Berg an der Ostfront. Infolge der Kriegserlebnisse und seiner Kontakte mit dem schlesischen Mystiker Carl Welkisch begann sich der Architekt für christliche Mystik und Theosophie zu interessieren. Nach dem Krieg kehrte Max Berg nach Breslau zurück. Er trat der SPD bei und kandidierte für den Reichstag.

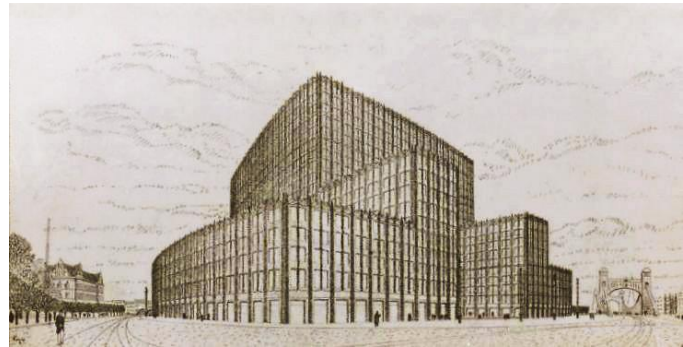


Abb. 1.8 (o.): Entwurf Hochhaus am Breslauer Lessingplatz;
Max Berg und Richard Konwiarz; 1919

Abb. 1.9 (li.): Hochhausentwurf neben dem Breslauer Rathaus;
Max Berg und Ludwig Moshhammer; 1920

In den frühen 1920er-Jahren wurden in Breslau nach Bergs Entwürfen zwei Wasserkraftwerke errichtet. Für das Ausstellungsgelände um die Jahrhunderthalle konzipierte der Architekt weitere Pavillons und eine große Messehalle mit einer innovativen Holzkonstruktion aus bogenförmigen Brettschichtbindern (siehe Abb. 1.7).

Max Berg veröffentlichte zahlreiche Artikel zum Thema Hochhausbau und bemühte sich diesbezüglich bei der preußischen Regierung auch um eine Reform der Bauordnung. Für Breslau schlug Berg die Errichtung von Hochhäusern an großen Plätzen und am Wasser vor (siehe Abb. 1.8). Darin sollten Behörden und Privatbüros untergebracht werden. Heftige Proteste löste insbesondere sein Entwurf eines Hochhauses mit Stahl-Glas-Fassade (siehe Abb. 1.9) direkt neben dem gotischen Breslauer Rathaus aus.

Die Provinzverwaltung wie auch konservativ eingestellte Architekten kritisierten Bergs Vorschläge und befürchteten die Verunstaltung des Breslauer Stadtbildes. Unterstützung fand Max Berg hingegen von mehreren Künstlervereinigungen und befreundeten Architekten. Seine innovativen Visionen des Hochhausbaus in Breslau wurden zwar nicht verwirklicht, inspirierten aber die Errichtung der ersten deutschen Hochhäuser in Düsseldorf und Köln.

Der Breslauer Stadtrat stand zunächst noch hinter Max Berg und wählte ihn 1921 für eine weitere zwölfjährige Amtszeit als Stadtbaurat wieder. Bald darauf wurde Berg mit der Organisation eines städtebaulichen Wettbewerbs für die zukünftige Entwicklung Breslaus beauftragt. Die von der Jury bevorzugten Entwürfe widersprachen Bergs Ideen und als er sich weigerte den Endbericht zu unterschreiben, kam es zum Eklat. Wegen zahlreicher weiterer Differenzen mit den Stadträten, legte Berg schließlich im Dezember 1924 sein Amt in gegenseitigem Einvernehmen nieder. In weiterer Folge trat Max Berg aus der SPD aus und zog mit seiner Familie nach Berlin. Dort widmete er sich vorwiegend theoretischen Lösungsmodellen des Städtebaus, der Publizistik, der Theosophie und der christlichen Mystik.

In Breslau bewahrte Max Berg sein Ansehen und hinterließ eine Gruppe junger Architekten, die seine Konzepte weiterführten. Im Jahr 1929 war er Jurymitglied im Architekturwettbewerb für ein Hochhaus der Sparkasse am Breslauer Ring. Zum Anlass seines 60. Geburtstags wurde dem Schöpfer der Jahrhunderthalle 1930 eine retrospektive Einzelausstellung in Breslau gewidmet. Auch die Beamtenbezüge behielt er in voller Höhe bis zu seinem formellen Ruhestand 1933.

Ab den 30er-Jahren beschäftigte sich Berg nur noch theoretisch mit Architektur und Urbanistik. 1941 gab Max Berg bekannt, dass er sich nicht der NSDAP anschließe, weil er „nicht als Konjunkturritter erscheinen wolle.“⁹ Während des Zweiten Weltkriegs zog Max Berg nach Baden-Baden und korrespondierte mit dem Stadtplaner Martin Mächler über den Wiederaufbau Europas. Kurz vor Ende des Krieges versuchten sie gemeinsam in einem Aufruf an Martin Bormann die Rettung der unschätzbaren Baudenkmäler Roms zu bewirken. Nach Kriegsende bot Berg dem Stuttgarter Oberbürgermeister seine Hilfe beim Wiederaufbau der Stadt an. Max Berg starb am 22. Januar 1947 in Baden-Baden.

1.4 Am Bau beteiligte Personen und Firmen¹⁰

Die raumkünstlerische Gestaltung der Jahrhunderthalle und die Formgebung des Tragwerks stammen ausschließlich vom Architekten Max Berg. An der detaillierten Ausarbeitung wirkte vor allem der Architekt Richard Konwiarz mit.

Ingenieurtechnische Berechnungen mussten aufgrund des direkten Zusammenhangs von Gestalt und Tragwerk von Beginn an mit dem architektonischen Entwurf einhergehen. Im Gegensatz zum damals üblichen Projektablauf erstellte die Bauverwaltung eine umfangreiche Berechnung der Konstruktion bereits vor der Ausschreibung. Ziel dieser vom Stadtbauinspektor Günther Trauer durchgeführten Statik war es, die Ausführbarkeit des Entwurfs nachzuweisen und die generelle Wirkungsweise sowie die groben Abmessungen des Tragwerks zu ermitteln.

Die Gutachter des Preußischen Bauamtes in Berlin äußerten zunächst Bedenken gegenüber der ausgearbeiteten Statik. Daher konnten die Bauarbeiten erst beginnen, nachdem der Berliner Professor Heinrich Müller das Tragvermögen und die Realisierbarkeit des Entwurfs bestätigt hatte. In weiterer Folge wurde die Konstruktion von den Ingenieuren der Breslauer Baupolizei Reissmüller und Erlenkämpfer abermals einer statischen Überprüfung unterzogen.

Aus 19 Bewerbungen wurde im August 1911 die Dresdner Firma Dyckerhoff & Widmann A. G. mit der Oberbauleitung beauftragt. Basierend auf Trauers ursprünglicher Statik wurden detaillierte Berechnungen sowie Studien zur Errichtung der Kuppel in weiterer Folge gemeinsam vom Unternehmen und der Bauverwaltung durchgeführt. Für die konstruktive Durchbildung des Zentralbaus war DYCKERHOFF & WIDMANN alleine verantwortlich. Der vorwiegend ebenerdige Bau rund um den Zentralraum der Jahrhunderthalle wurde von der Breslauer Firma Lolat-Eisenbeton A. G. unter der Leitung von Direktor Bechtel und Aman berechnet und ausgeführt.

An der Bauleitung und Bearbeitung des Projekts waren Architekten und Ingenieure gemeinsam beteiligt. Seitens des Bauamtes wurde die Bauleitung den Stadtbauinspektoren Schreiber als Architekt und dem Ingenieur Trauer übertragen. Die örtliche Bauleitung übernahmen der Architekt Matthes und der Ingenieur Meyer, der ebenfalls an den Berechnungen der Bauverwaltung großen Anteil hatte. Seitens der Firma Dyckerhoff & Widmann A. G. wurden, unter der Leitung des technischen Direktors Willy Gehler, der Ingenieur Bechtel mit der örtlichen Bauleitung und der Ingenieur Schulz mit der Entwurfsbearbeitung betraut.

⁹ vgl. Ilkosz, Kulturportal West Ost | Berg

¹⁰ vgl. Trauer, Gehler 1914, S. 5, 53, 74; Ilkosz 2006, S. 131 f, 141.

Kapitel 2

Architektonisches Konzept

Max Bergs Entwürfe der Jahrhunderthalle zeichneten sich durch schlichte Formen aus. Es war ihm wichtig, historische Stile zu meiden und die architektonische Gestaltung aus dem Tragwerk selbst hervorzubringen: „[...] von innen heraus muss sich der Bau entwickeln, so daß die Konstruktion auch äußerlich in geschmacksvoller Weise zum Ausdruck kommt.“¹ Er war der Meinung, dass Dekoration in der Architektur nicht mehr zeitgemäß sei und, dass „jede Ausstellung sich ihr besonderes Bild schafft.“²

Als Mittelpunkt des weitläufigen Ausstellungsgeländes war die Breslauer Festhalle als dauerndes Denkmal an die Befreiungskriege gedacht und sollte zugleich mannigfaltige Anforderungen erfüllen. Einerseits war sie als Stätte für große Versammlungen, wie szenische, musikalische oder sportliche Veranstaltungen gedacht und andererseits musste sie auch die Möglichkeit bieten, Ausstellungen und Kongresse zu beherbergen. Dementsprechend waren die Ansprüche an das Bauwerk sehr unterschiedlich, teilweise sogar widersprüchlich. Max Berg meinte, dass für Versammlungen ein zentraler Raum erwünscht, für Ausstellungen hingegen ein länglicher Raum von Vorteil sei; Ausstellungen würden viel Licht verlangen, für Versammlungen sei dies nicht notwendig und häufig nicht erwünscht.³

2.1 Raumgestaltung und Funktionen⁴

Max Berg wollte den Anforderungen an das Gebäude auf rationale und ökonomische Weise gerecht werden. Er zog eine für Massenveranstaltungen günstige Anordnung vor und entschloss sich für einen zentralen Kuppelbau, den er der durch vier halbkreisförmige Apsiden vergrößerte (siehe Abb. 2.1). Rings um den Versammlungsraum legte der Architekt einen vorwiegend ebenerdigen Bau an. Dieser beherbergt u.a. die vier Eingangshallen und einen geräumigen Rundgang, der auch Platz für Ausstellungsflächen bietet.

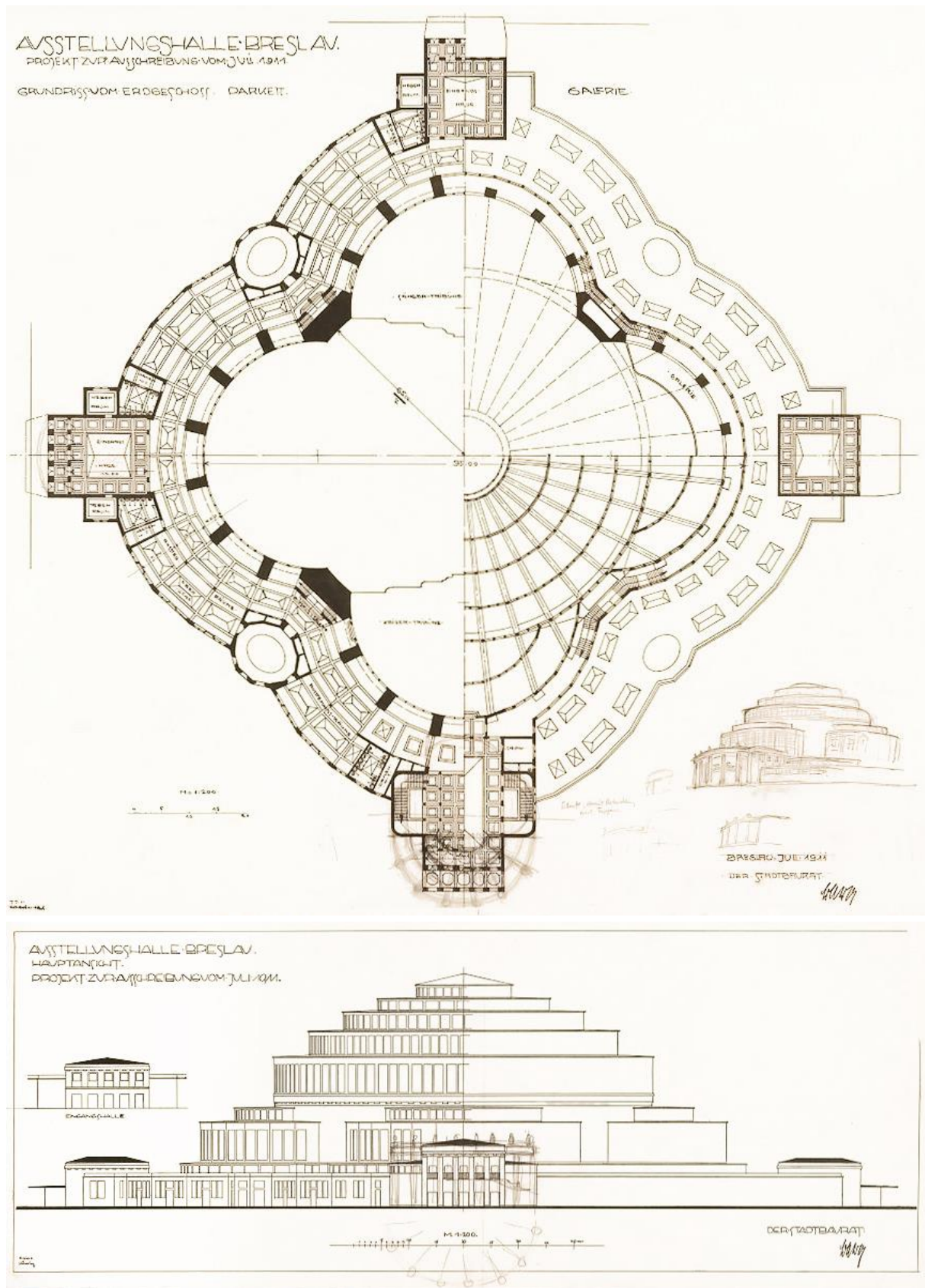
Neben dem neuartigen Baumaterial und ihren Dimensionen, unterscheidet sich die Jahrhunderthalle auch in ihrer Form von prominenten Beispielen vorhergehender Massivkuppelbauten: Max Berg stellte seine Rippenkuppel auf einen zylinderförmigen Unterbau, wodurch dessen vier mächtige Hauptbögen eine doppelt gekrümmte Raumkurve beschreiben. (siehe Abb. 2.2 und Abb. 2.4) Dies hat zwar den Vorteil der direkten Kraftableitung ohne Pendentifs, die – aus konstruktiver Sicht – ungünstige Form der Hauptbögen stellte aber eine besondere Herausforderung für die Ausbildung des Unterbau-Tragwerks dar. Um den nach außen drehenden

¹ Die Ausstellungshalle in Scheitnig. Schlesische Zeitung, 26.2.1911 zit. n. Ilkosz 2006, S. 72.

² Die Ausstellungshalle in Scheitnig. Schlesische Zeitung, 26.2.1911 zit. n. Ilkosz 2006, S. 113.

³ vgl. Berg 1913, S. 462.

⁴ vgl. Berg 1913, S. 466; Trauer 1913, S. 120.



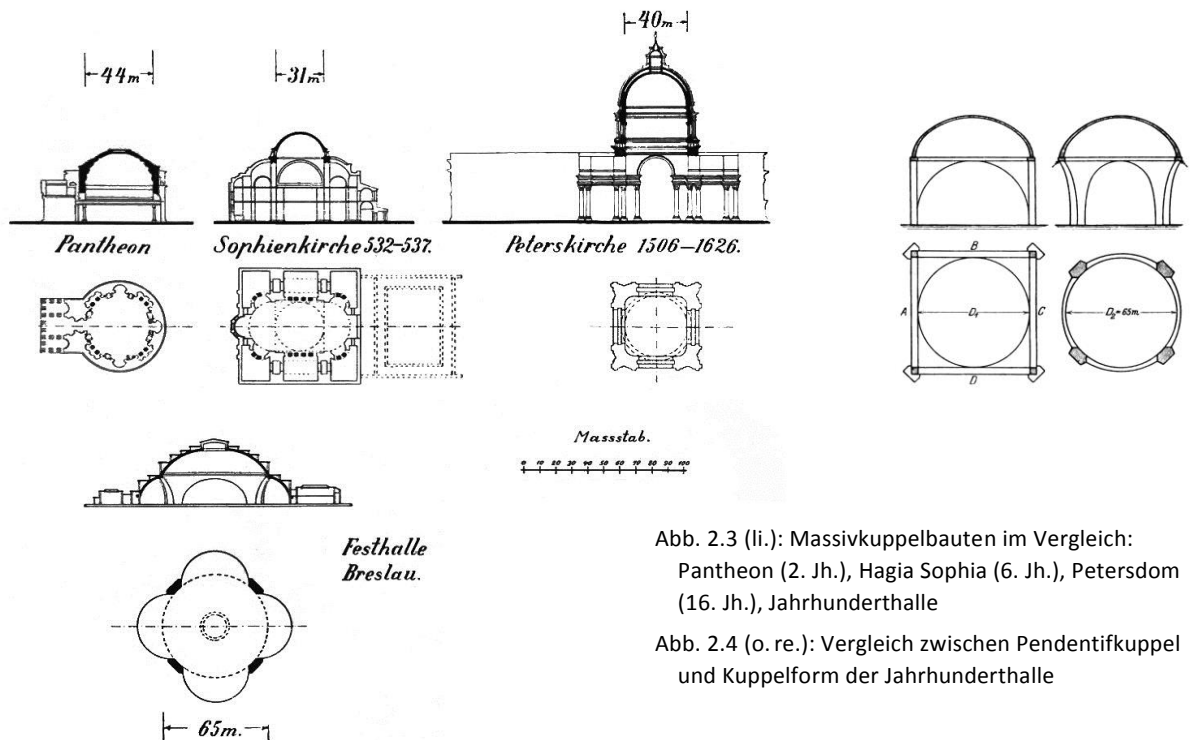


Abb. 2.3 (li.): Massivkuppelbauten im Vergleich: Pantheon (2. Jh.), Hagia Sophia (6. Jh.), Petersdom (16. Jh.), Jahrhunderthalle

Abb. 2.4 (o. re.): Vergleich zwischen Pendentivkuppel und Kuppelform der Jahrhunderthalle

Kräften entgegenzuwirken, wurde einerseits der Querschnitt der Bögen zu den massiven Widerlagern hin deutlich vergrößert und andererseits wurden die Hauptbögen durch innerhalb der Apsiden verlaufende Strebebögen gestützt. Deren Wirkungsweise verglich Berg mit gotischen Strebebögen und meinte, dass sie bei der statischen Analyse des Bauwerks den schwierigsten Teil darstellten.

Der Versammlungsraum der Jahrhunderthalle wurde mit zwei Tribünen ausgestattet: Die sogenannte *Kaisertribüne* in der West-Apside sowie der gegenüberliegenden *Sängertribüne*, die damals auch Platz für die weltgrößte Orgel bot. In der Nord- und Süd-Apside wurde jeweils ein zusammenhängender Balkon eingerichtet. Der Zentralraum war ursprünglich außerdem mit einer mobilen amphitheaterartigen Tribüne ausgestattet, die bei Bedarf aufgebaut werden konnte. Im Gegensatz zur Frankfurter Festhalle – auf sie verweist Berg häufig in seinen Erläuterungen – wurde bei der Jahrhunderthalle bewusst auf mehrere Galerien verzichtet. (siehe Abb. 2.5)

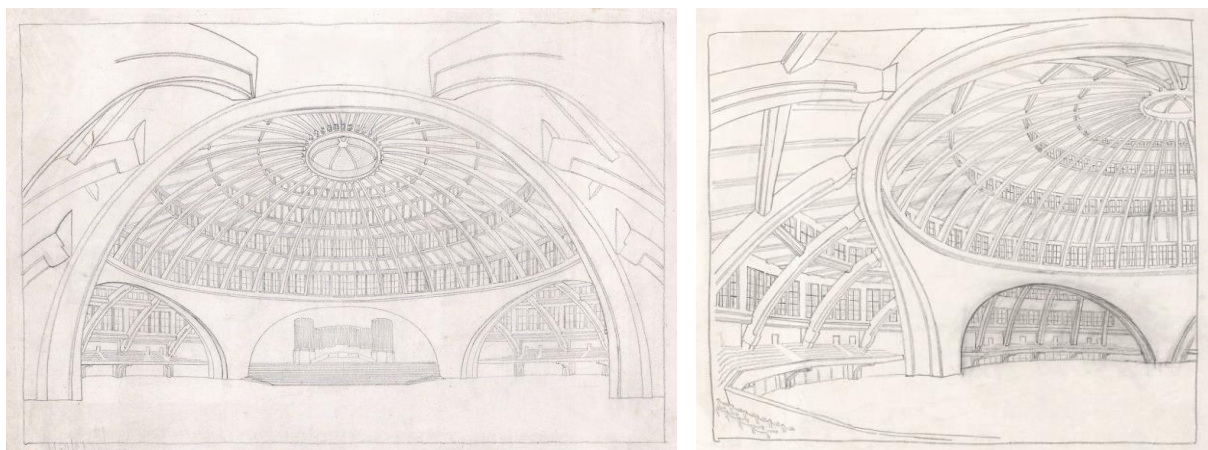


Abb. 2.5 (li.): Perspektivische Darstellung des Versammlungsraums. Datierung: ca. 1911; Hersteller: Stadtbauamt Breslau, städtische Hochbauverwaltung, Max Berg. : Zentralraum und Orgel

Abb. 2.6 (re.): Perspektivische Darstellung des Versammlungsraums. Hauptbogen und Apside mit Balkon

Der rund um den Versammlungsraum verlaufende Wandelgang ist stellenweise baulich in der Mitte geteilt, um im äußeren Bereich Platz für die erforderlichen Nebenräume – z. B. Büros, Garderoben und sanitäre Einrichtungen – zu schaffen. Die vier Eingänge liegen mit den Apsiden in den Hauptachsen des Bauwerks. Über dem Foyer des westlich gelegenen zum Stadtzentrum orientierten Haupteingangs befindet sich ein ovaler Empfangssaal, der sogenannte Kaisersaal, mit direktem Zugang zur *Kaisertribüne*.

Die Raumabschließung der Kuppel und der Apsiden wird nicht wie ansonsten üblich von einer Kugelfläche definiert, sondern durch eine stufenförmigen Konstruktion aus ringförmigen Decken und zylinderförmigen Wänden gebildet. Insgesamt ist die Fassade der Jahrhunderthalle stufenartig in neun Ebenen horizontal gegliedert: Der ebenerdige Rundgang, drei Ebenen im Bereich der Apsiden, vier Ebenen der Kuppelkonstruktion und die Laterne. Entlang der Traufen dienen Stahlbetongesimse als Dachrinnen und akzentuieren die horizontale Gliederung der Jahrhunderthalle. Die Wände der einzelnen Ebenen weisen unterschiedliche Höhen und Krümmungen auf.

Die Abdrücke der Betonschalung wurden auf den ausgedehnten Sichtbetonflächen bewusst belassen und auf Verzierungen wurde weitestgehend verzichtet. Nur die Hauptbögen sowie die Strebe- und Kuppelbinder erhielten eine einfache Profilierung. Dem federführenden Tragwerksplaner Günther Trauer zufolge „soll das Werk durch seine kühnen Formen allein wirken und fesseln.“⁵

2.2 Belichtung⁶

Abgesehen von einer kleinen Oberkuppel in der Laterne, verzichtete Max Berg im Zentralbau gänzlich auf Oberlichten. Laut dem Architekten hätten diese eine negative akustische Wirkung gehabt und würden den Raum zu sehr öffnen, die Besucher somit „zerstreuen statt zu sammeln“⁷. Um dennoch eine gute Belichtung des Versammlungsraums zu erreichen, war es ihm wichtig, möglichst viel Seitenlicht hereinzulassen indem die „Wandflächen soweit wie möglich in Fenster aufgelöst“⁸ werden. Doch auch dies hätten in durchsichtiger Ausführung zu sehr raumöffnend gewirkt. Daher, und um eine zu starke Sonneneinstrahlung zu vermeiden, war Berg bestrebt „die Fenster lediglich durchscheinend zu halten, sodaß sie nicht wie eine durch Fensterlöcher aufgerissene Wand, sondern wie eine gleichmäßig leuchtende und doch schließende Wand wirken nach der alten Art der Verschließung der Fenster durch dünne Marmorplatten.“⁹ Die durch Gesimse geschützten senkrechten Fensterflächen hätten außerdem den Vorteil, dass sie weniger verschmutzen und nicht durch Schnee abgedunkelt werden.

Die *Orgel-Apside* gegenüber dem Haupteingang wurde ohne Fensteröffnungen konzipiert. In den anderen drei Apsiden sollten die Fenster durch schwere Vorhänge verdeckt werden können, sodass nur mehr gedämpftes Licht aus der Kuppel in den Raum gelangt.

⁵ Trauer 1913, S. 120.

⁶ vgl. Berg 1913, S. 462 f, 466.

⁷ Berg 1913, S. 462.

⁸ Berg 1913, S. 463.

⁹ Berg 1913, S. 463.

Im ebenerdig an den Versammlungsraum angeschlossenen ringförmigen Bau sah Max Berg, neben dem ansonsten im Gebäude vorherrschenden Seitenlicht, auch die natürliche Belichtung von oben vor. Der Kaisersaal, die Foyers der seitlichen Eingänge und der Wandelgang wurden daher mit Oberlichtern ausgestattet. Der zusätzliche Lichteinfall war insbesondere in Anbetracht der Nutzung für Ausstellungszwecke wünschenswert.

2.3 Zahlen und Fakten¹⁰

Die lichte Spannweite der Kuppel beträgt 65 m. Samt dem 19 m hohem Unterbau ist der Kuppelraum inkl. Laterne ca. 42 m hoch. Der Versammlungsraum wird dank der anschließenden Apsiden in seiner größten Erstreckung auf eine Länge von 95 m erweitert (siehe Abb. 2.7). Die Nutzfläche erreicht dadurch, ohne Berücksichtigung des umlaufenden Ringbauwerks und der Balkone, eine Größe von 5 600 m². Gemessen an den Außenwänden beträgt die Umfangslänge des ebenerdigen Rundgangs ca. 488 m. Max Bergs Erläuterungen zufolge bietet die Jahrhunderthalle Raum für knapp 6 000 Sitzplätze und – einschließlich der *Sängertribüne* – ca. 10 000 Stehplätze.

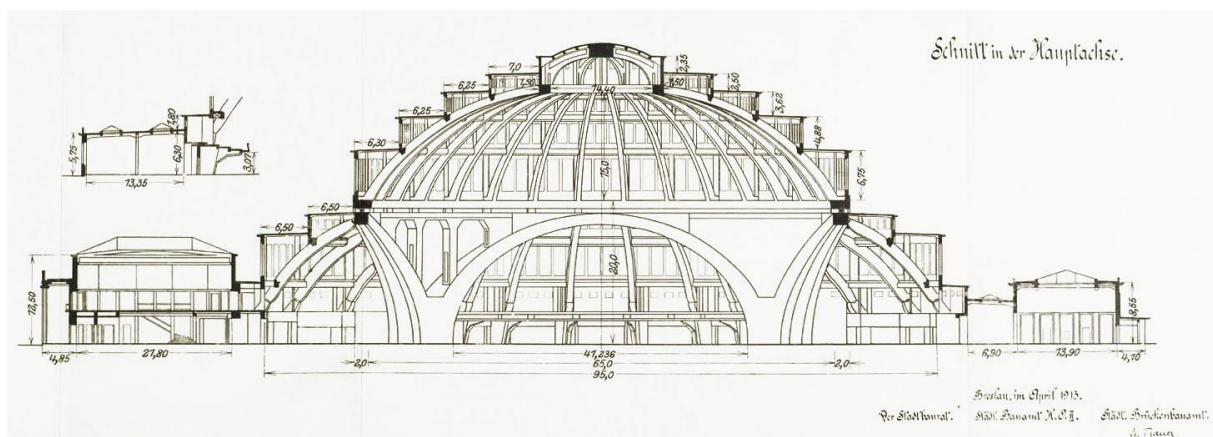


Abb. 2.7: Schnitt in der Hauptachse. Datierung: April 1913; Signaturen: Stadtbaurat (Max Berg), Günther Trauer

¹⁰ vgl. Berg 1913, S. 466.

Kapitel 3

Konstruktion und Statik

Die statische Berechnung und konstruktive Durchbildung der Jahrhunderthalle waren eine verantwortungsvolle Aufgabe und stellten für die Ingenieure eine besondere Herausforderung dar. Max Berg gab die kühne Ausbildung des Tragwerks in der neuartigen Stahlbetonbauweise vor und die Abmessungen der Jahrhunderthalle übertrafen bei weitem alle bis dahin errichteten Massivkuppelbauten. Darüber hinaus wurde besonders großer Wert auf die Sicherheit und Wirtschaftlichkeit des Bauvorhabens gelegt, zumal sich dieses revolutionäre Stahlbetonbauwerk im Wettbewerb gegen den Stahlbau zu behaupten hatte und beispielgebend für zukünftige Bauwerke sein sollte.

Die grundlegenden Tragwerksberechnungen stammen vom Breslauer Stadtbauinspektor Günther Trauer und waren bereits Teil der Ausschreibungsunterlagen. Neben der Errichtung des Hauptbaus war die Firma Dyckerhoff & Widmann A.G. unter der Leitung des technischen Direktors Willy Gehler, für die Berechnung des sogenannten Windrahmens und die konstruktive Gestaltung aller Bauteile, insbesondere für die endgültige Bestimmung der Querschnitte und Bewehrungsführung, verantwortlich.¹

Im Folgenden werden die Wirkungsweise des Tragwerks sowie die prinzipielle Vorgehensweise bei den statischen Ermittlungen vorgestellt. Die Erläuterungen stammt im Wesentlichen von Günther Trauer selbst, sie wurden im Jahr 1913 auf der 16. Hauptversammlung des *Deutschen Betonvereins* vorgetragen und in weiterer Folge in der *DEUTSCHEN BAUZEITUNG* unter dem Titel *Die Jahrhunderthalle in Breslau* veröffentlicht. Abschließend werden diesem Abschnitt Voruntersuchungen dargelegt, die von der ausführenden Firma als Vorbereitung der Baumaßnahmen durchgeführt wurden.

3.1 Wirkungsweise des Tragwerks²

Für Günther Trauer war es von Anfang an wichtig, das Tragwerk möglichst klar auszubilden und alle ungünstigen statischen Einwirkungen durch konstruktive Maßnahmen, wie das Einführen von Gelenken oder Trennfugen, zu vermeiden. Aus diesem Grund wurde das Stahlbetontragwerk der Jahrhunderthalle in zwei statisch deutlich voneinander getrennten Teilen konzipiert: die Rippenkuppel und der zylinderförmige Unterbau.

Verbunden sind die beiden Teile über 32 Stelzenlager mit Kippvorrichtung, wie sie zur damaligen Zeit im Brückenbau verwendet wurden (siehe Abb. 3.1). Die Auflager sind unterhalb des Zugrings jeweils im Anschlussbereich der Kuppelrippen positioniert. Sie tragen die Last der Kuppel auf den Abschlussring des Unterbaus ab. Durch ihre Beweglichkeit in radialer Richtung verhindern

¹ vgl. Trauer 1913, S. 105 f.

² vgl. Trauer 1913, S. 106 f, 118.

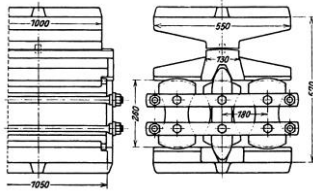


Abb. 3.1: Auflager der Kuppel

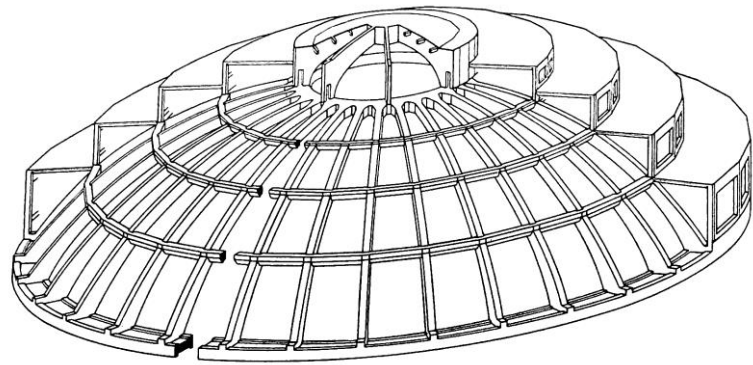


Abb. 3.2: Tragwerk der Rippenkuppel

die Auflager, dass von der Kuppel wirkende Seitenschübe in den Unterbau eingeleitet werden. Bei einer festen Verbindung würde es vor allem beim Ausrüsten des Tragwerks und bei thermischen Einwirkungen zu einer erheblichen Belastung des Unterbaus kommen. Windkräfte und andere horizontale Einwirkungen der Kuppel werden aufgrund ihrer speziellen Lagerung ausschließlich in tangentialer Richtung auf den Unterbau übertragen und können so optimal vom eigens dafür ausgelegten Tragwerk abgeleitet werden.

Durch die Kuppelaullager entsteht unter dem Zugring ein 0,57 m hoher Zwischenraum. Nach außen hin wird diese „Bewegungsfuge“ durch eine abgehängte Betonschürze verkleidet. Sowohl der betonummantelte Zugring wie auch der darunterliegende Zwischenraum integrieren sich daher beinahe nahtlos in Gebäudehülle. In den ersten Jahren nach der Errichtung war im Innenraum die Trennung von Unterbau und Kuppel aufgrund der Lücke unter dem Zugring deutlich sichtbar*.

3.1.1 Kuppel³

Die Kuppel der Jahrhunderthalle wurde als Rippenkonstruktion konzipiert und besteht im Wesentlichen aus 32 Betonbindern, die sich am Fuß gegen einen Zugring mit 65 m lichtem Durchmesser und im Scheitel gegen einen Druckring mit 14,4 m Innendurchmesser stützen (siehe Abb. 3.2); die Pfeilhöhe beträgt 16,1 m. Die Kuppelbinder werden ungefähr in ihren Viertelpunkten durch drei weitere Stahlbetonringe ausgesteift, die auch als Auflager der Fensterwände und ringförmigen Flachdächer dienen. Den Abschluss der Kuppel bildet eine 5,75 m hohe Laterne, die als aussteifender Stahlbetonrahmen am Druckring aufliegt.

* In der Zwischenkriegszeit wurde die Jahrhunderthalle erstmals mit einer Heizungsanlage ausgestattet. Dabei nutzte man den Platz entlang des innenliegenden Umfangs neben den Kuppelaullagern zur Installation eines umlaufenden Lüftungskanals. Dieses Vorhaben erwähnte Trauer bereits 1913 in seinen Erläuterungen. Trotz der Verbauung sollte der leicht hervorstehende Zugring im Innenraum allerdings weiterhin erkenntlich bleiben.

³ vgl. Trauer 1913, S. 118.

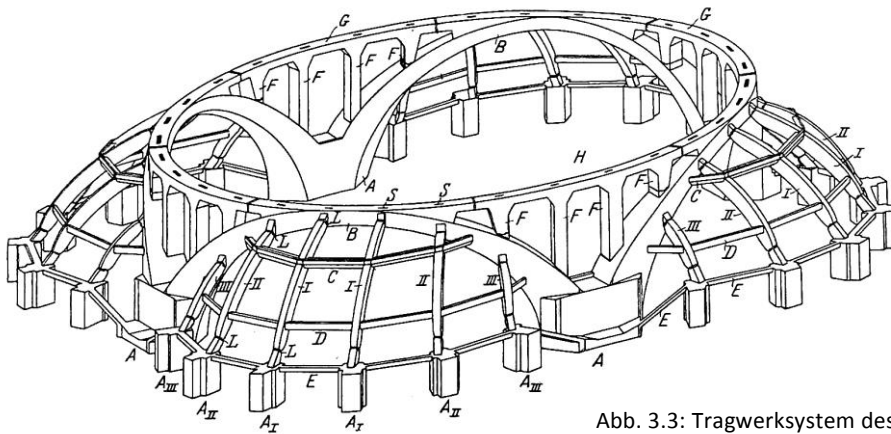


Abb. 3.3: Tragwerksystem des Kuppel-Unterbaus

3.1.2 Unterbau⁴

Die primären Elemente des 19 m hohen Unterbaus sind die vier doppelt gekrümmten Hauptbögen mit 41,24 m Spannweite und 16,73 m Pfeilhöhe – siehe Abb. 3.3, (B). Sie sind zwischen vier massiven Pfeilern (A) eingespannt und werden von außen durch jeweils vier leicht gekrümmte Strebebögen (I, II) gestützt.

Die Strebebögen nehmen jene horizontalen Kräfte auf, die durch die Auskragung der Hauptbogen-Scheitel – bedingt durch den kreisförmigen Unterbau-Grundriss – entstehen, und leiten sie samt den Lasten der Apsidenaufbauten in die Apsidenpfeiler (A_I , A_{II}) ab. Stahlkugellager (L) stellen die zentrische Kraftübertragung sicher, wobei die oberen Auflager aus bautechnischen Gründen über der Hauptbogenachse ansetzen. Im Hinblick auf die Raumgestaltung wurden in den Apsiden zwei weitere Betonbinder (III) angeordnet, die allerdings bedingt durch ihre Auflagerung keine tragende Funktion übernehmen.

Die Strebebögen sind durch zwei horizontale Stahlbetonrippen (C, D) miteinander verbunden, die sie gegen seitliches Ausknicken aussteifen. Das obere Band (C) dient zudem als Auflager für die terrassenartigen Aufbauten der Apsiden. Die Köpfe der Apsidenpfeiler wurden mit einem Zugband (E) verbunden, das in den Hauptpfeilern verankert ist. Durch die Aussteifungen (C, D, E) können außergewöhnliche Kräfte, hervorgerufen durch z. B. ungleichmäßige Fundamentsetzungen, von den benachbarten Strebebögen mitgetragen werden.

Auf Höhe der Hauptbogen-Scheitel ist der Unterbau durch einen Betonring (G) abgeschlossen, der durch Dilatationsfugen in acht Segmente geteilt wird. Auf dem Abschlussring sind die Auflager der Kuppel platziert (S). Diese sind 18 cm außerhalb der Mittellinie positioniert, um den exzentrisch wirkenden Kräfte der Strebebögen entgegenzuwirken und Torsion im Hauptbogen zu vermeiden. Somit beträgt die konstruktive Stützweite der Kuppel 67,36 m.

Zwischen zwei Hauptbogen-Scheiteln übertragen jeweils vier Pfosten (F) die Lasten vom Abschlussring in die Hauptbögen. Da über diesen Teil des Tragwerks auch die Windlasten in die Eckpfeiler abgeleitet werden, bezeichnet Günther Trauer ihn als *Windrahmen*. Besonderes Augenmerk galt dem Tragwerksplaner zufolge der korrekten Ausbildung der Rahmenecken. Um das statische System zu vereinfachen und Nebenspannungen im Hauptbogen zu minimieren, wurden die äußeren Pfosten auf dem Hauptbogen gelenkig gelagert.

⁴ vgl. Trauer 1913, S. 107, 117 f; Trauer, Gehler 1914, S. 35.

3.1.3 Fassadenwände und Flachdächer⁵

Mit Ausnahme der *Orgelapside* gegenüber dem Haupteingang sind die Außenwände des Zentralbaus mit kontinuierlichen Fensterbändern versehen. Ihr Aufbau ist auf allen Ebenen ähnlich: Direkt auf den Kuppel- bzw. Apsidenrippen wurden Ortbeton-Fenstersäulen errichtet; dazwischen verlaufenden geradlinige Fensterwände, die auf den horizontalen Aussteifungsringen der Rippenkonstruktion aufliegen und mit Fertigteil-Zwischenpfeilern errichtet wurden.

Die Öffnungen des Windrahmens wurden, zunächst nur nach außen und erst einige Jahre später auch zum Innenraum hin, mit einer dünnen Stahlbetonwand geschlossen.*

Die Deckenkonstruktion der Jahrhunderthalle besteht aus Stahlbetonplatten, die auf radial verlaufenden Unterzügen aufliegen. Auf einer Seite sind die Unterzüge in den Aussteifungsringen der Rippenkonstruktion eingespannt, am anderen Ende liegen sie auf den Fassadenwänden auf. Sie haben je nach Höhenlage der Dachebene unterschiedliche Längen. Die Stahlbetonplatten der beiden obersten Ebenen wurden 6 cm stark bemessen, die beiden unteren wurden aufgrund der größeren Belastung durch Windkräfte mit einer Stärke von 8 cm dimensioniert. Die Flachdächer der Apsiden sind in ähnlicher Weise aufgebaut. (siehe Anh. C)

Die ringförmigen Flachdächer der Kuppel steifen zusammen mit den kräftig ausgebildeten Fensterstürzen das Kuppeltragwerk aus. Sie haben außerdem die Funktion, Windkräfte möglichst gleichmäßig auf die Kuppelrippen zu verteilen.

3.2 Statik und Bemessung des Tragwerks

3.2.1 Kuppel⁶

Bei der Berechnung der statisch vielfach unbestimmten Rippenkuppel hatten die Ingenieure vor allem bei unsymmetrischen Lasteinwirkungen, wie Winddruck oder einseitige Schneelast, große Schwierigkeiten. Diesbezüglich meinte Günther Trauer: „In Anbetracht der außergewöhnlichen Abmessungen der Kuppel, deren Beanspruchungen doch infolge unberechenbarer Einflüsse sich nicht genau nachweisen lassen, kam es hier nicht sowohl auf eine peinlich genaue Berechnung als vielmehr auf eine ausreichende Bemessung der Stärke der einzelnen Teile unter den jeweils ungünstigsten Annahmen an.“⁷

⁵ vgl. Trauer 1913, S. 119 f.

* Direkt nach Fertigstellung des Bauwerks wurde das Windrahmen-Tragwerk im Innenraum nur mit einem Stofftuch verdeckt. Erst einige Jahre später wurde auch innenliegend eine Stahlbetonwand errichtet. Bereits 1913 schlug Günther Trauer die innere Verkleidung gegenüber den Konstruktionselementen etwas zurücktreten zu lassen, damit das gesamte Tragwerk des Unterbaus – wie bei der Kuppel der Fall ist – optisch zur Geltung kommt (vgl. Abb. 5.17). Dieser Vorschlag wurde jedoch nie umgesetzt.

⁶ vgl. Trauer 1913, S. 118-120; Trauer, Gehler 1914, S. 50.

⁷ Trauer 1913, S. 119.

Berechnungsgrundlagen

Für die Bemessung des Kuppeltragwerks wurden die Stahlbetonbinder statisch vereinfacht als gelenkig gelagerter Bogen mit zwei Zugbändern berechnet. Der Torsionswiderstand des Zugrings wurde wegen seines großen Durchmessers und der beweglichen Kuppelaufleger vernachlässigt, stattdessen wurde die untere Lagerung als vollkommen gelenkig angenommen. Weil der Druckring einen viel kleineren Durchmesser hat und zusätzlich durch den Laternenrahmen ausgesteift wird, durfte dessen Torsionswiderstand hingegen nicht vernachlässigt werden. Die aus Druckring und Laterne bestehende Konstruktion wurde für die statische Analyse daher als ein Balkenstück mit erhöhtem Trägheitsmoment angesehen. Von den drei Aussteifungsringen ist nur der unterste als Zugband in die Tragwerksberechnungen einbezogen worden. Die beiden anderen Aussteifungsringe stabilisieren die Konstruktion lediglich und haben nur eine geringe Beteiligung an der Verteilung der Kräfte im Tragwerk.

Der Winddruck wurde mit einem relativ hohen Wert von 150 kg/m^2 (1500 N/m^2)* berücksichtigt und die Schneelast mit einem Einheitsdruck von 75 kg/m^2 (750 N/m^2) angenommen. Als ungünstigste Schneebelastung wurde für Kuppelbinder und Zugring die einseitige Belastung von einem Viertel des Grundrisses berücksichtigt. Für die horizontale Kraftübertragung der Kuppelkonstruktion wurde angenommen, dass die Flachdächer als steife ringförmige Träger wirken und die Windkräfte gleichmäßig auf die Kuppelbinder der Luv- und Leeseite verteilen (siehe Abb. 3.4). Auf der untersten Wandebene wird ein Teil der Winddrücke unmittelbar auf den Zugring.

Die größten Biegemomente wirken auf die Ringdecken der untersten Ebene und betragen laut Trauer bis zu 75 mt (750 kNm). Das Widerstandsmoment der Flachdachkonstruktion sei aufgrund der Trägerhöhe von beinahe 7 m ausreichend groß, um diese Belastung aufzunehmen.

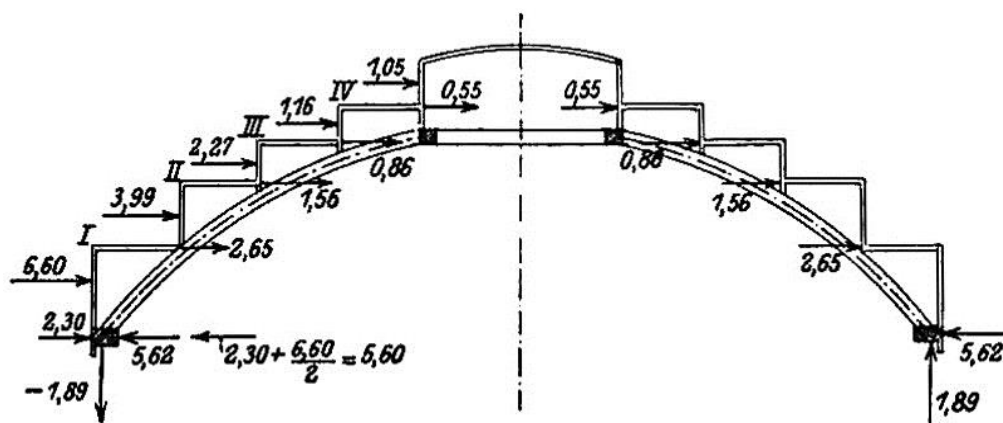


Abb. 3.4: Verteilung der Windbelastung auf die Kuppelbinder

* Günther Trauer bezieht seine Angaben von Lasten, Kräften, Spannungen und Momenten stets auf die Masse (kg) als physikalische Grundgröße – z.B.: 75 kg/m^2 Einheitsdruck, 700 t Bogenkraft, 55 kg/qcm Beanspruchung des Querschnitts und 121 tm Biegemoment. In dieser Arbeit werden die von Trauer angegebenen Werte sowohl in den ursprünglichen Maßeinheiten als auch – wie seit 1946 für die physikalische Größe Kraft allgemein üblich – in Newton (N) angegeben. Aus praktischen Gründen wurde der gerundete Umrechnungsfaktor 10 verwendet.

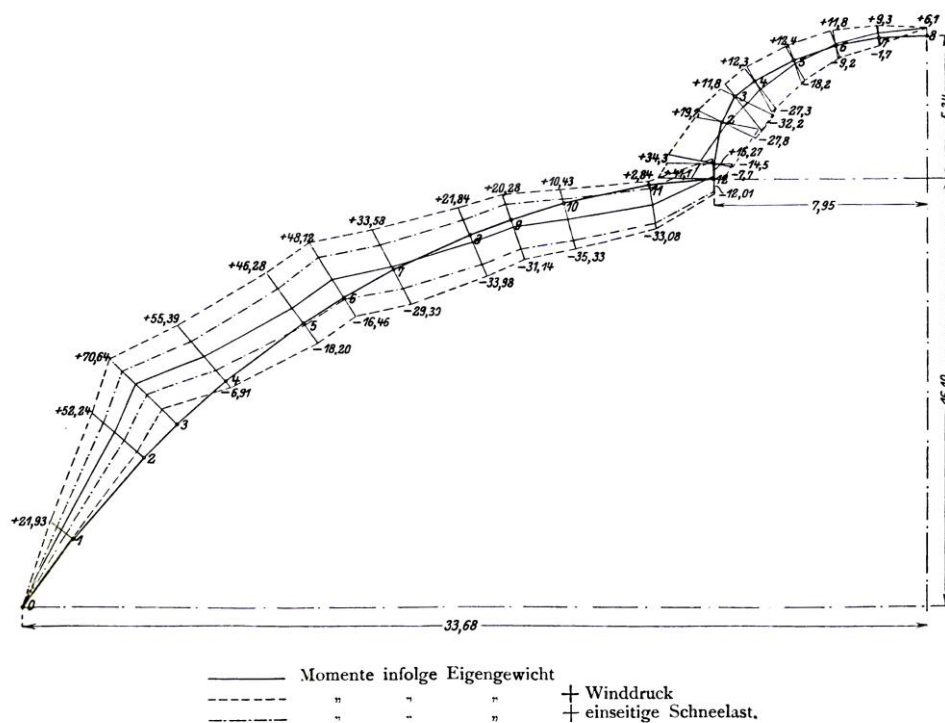


Abb. 3.5: Momentenverlauf der Kuppelbinder zufolge Eigengewicht, Winddruck und Schneelast. Maßeinheit: mt

Dimensionierung des Tragwerks

In Abb. 3.5 sind die in den Kuppelbindern zufolge Eigengewicht, Wind- und Schneelast ermittelten Momente dargestellt: Der Maximalwert liegt im Bereich des untersten Aussteifungsrings und beträgt ca. 70 mt (700 kNm). Die aus dem Eigengewicht resultierende *Bogenkraft*** wurde mit 101 t (1010 kN) errechnet, wobei 91 t (910 kN) vom Zugring und 7 t (70 kN) von der untersten Ringdecke aufgenommen werden.

Der Querschnitt der Binder wurde im Bereich des Zugrings mit 120 cm Höhe und 80 cm Breite dimensioniert und verjüngt sich zum Druckring auf 105 x 65 cm (siehe Abb. 3.6). Die Längsbewehrung der Kuppelbinder besteht aus insgesamt 13 Bewehrungsstäben mit 30 mm Durchmesser. Gegenüberliegende Bewehrungsstäbe wurden durch schleifenförmige Bügel miteinander verbunden. Die maximalen Druckspannungen wurden für den Beton mit 55 kg/cm^2 ($5,5 \text{ N/mm}^2$) und für das Bewehrungsseisen mit 518 kg/cm^2 ($51,8 \text{ N/mm}^2$) ermittelt.

Die 32 Kuppelbinder sind über gevoutete Anschlüsse mit ausgefächerter Längsbewehrung steif mit dem Druckring verbunden. Dieser hat einen Querschnitt von 1,1 m Höhe und 1,5 m Breite. Er ist mit 24 Stahlstäben von 30 mm Durchmesser bewehrt. (siehe Abb. 3.6)

In den Druckring sind ebenfalls die zweiteilig ausgeführten Steher der Laternenkonstruktion eingelassen. Das Tragwerk der Laterne besteht aus vier Stahlbetonrahmen und soll den Druckring gegen Torsion aussteifen. Die Riegel kreuzen sich in einem massiven Schlussstein und wurden aus Gründen der Gewichtsreduktion mit nischenförmigen Aussparungen im Stegbereich entworfen. (siehe Abb. 3.7)

** horizontale Kraftkomponente

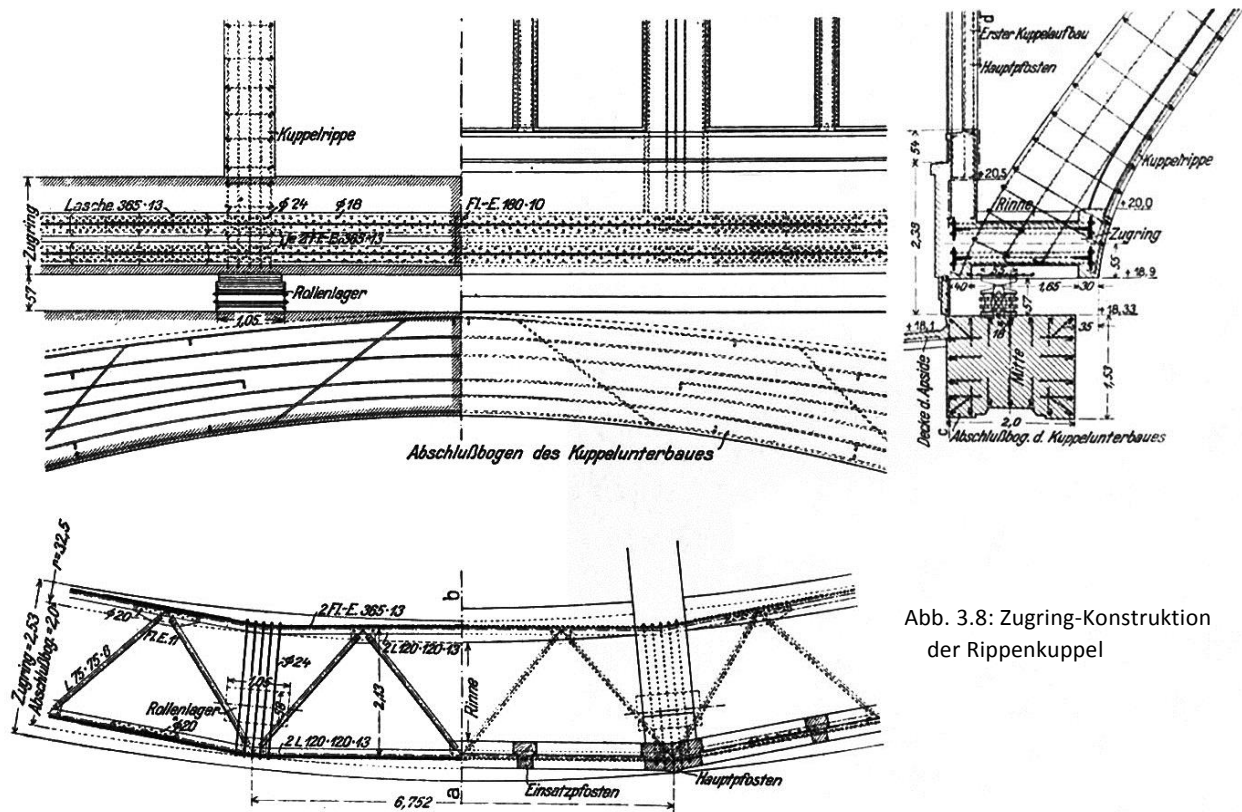


Abb. 3.8: Zugring-Konstruktion der Rippenkuppel

Die Kräfte der Kuppelbinder werden vom Zugring aufgenommen und über die Kuppelaufleger in den Unterbau abgeleitet. Jedes Kuppelaufleger ist mit einer Vertikallast von ca. 200 t (2 000 kN) beansprucht. Die horizontale Kraftübertragung der Stelzenlager erfolgt ausschließlich in tangentialer Richtung. Sie sind daher unterschiedlich stark belastet, genauer gesagt im Verhältnis zum Sinus der Winkel zwischen Lager-Längsachse und Windrichtung. Somit übernehmen jene Auflager, die quer zum Wind stehen, den größten Anteil an der Übertragung des Winddrucks haben; jene hingegen die in Windrichtung beweglich sind leiten horizontal keine Windlasten ab.

Bei der Berechnung des Zugrings wurde für den Lastfall-Wind angenommen, dass die Windkräfte nur von den beiden normal zur Windrichtung stehenden Lagern alleine übertragen werden. Für den Lastfall-Schnee wurde die lastverteilende Wirkung der Aufbauten vernachlässigt.

Die ermittelten Maximalbelastungen des Zugrings betragen:

- infolge ständiger Lasten: 480 t (4 800 kN) Zugbeanspruchung
(bei symmetrischer Vertikalbelastung tritt keine Biegebeanspruchung auf)
- infolge Winddruck: -39 t (-390 kN) und 121,4 mt (1 210 kNm)
- infolge Schneelast: 15 t (150 kN) und 101 mt (1 010 kNm)

Der Zugring besteht im Wesentlichen aus zwei übereinander positionierten ringförmigen Strebenfachwerken, die von einem massiven Betonkörper ummantelt sind (siehe Abb. 3.8). Die genieteten Fachwerksringe sind 213 cm breit und wurden als regelmäßiges 32-Eck ausgebildet. Die inneren und äußeren Gurte bestehen aus je 2 Flacheisen (365 x 13 mm) und 2 gleichschenkligen Winkelprofilen (120 x 120 x 13 mm) und sind mit Winkelprofilen (75 x 75 x 8 mm) verstrebt. In den Knick-

punkten, in denen die Kuppelrippen ansetzen, sind die inneren und äußeren Gurte zusätzlich mit je 10 waagrechten Zugankern gekoppelt. In den Mittelpunkten der Kanten verknüpfen Stahllaschen jeweils die übereinander liegenden Gurte miteinander. Der Bruttoquerschnitt der Gurte beider Fachwerksträger beträgt insgesamt $617,2 \text{ cm}^2$; der Nutzquerschnitt $521,5 \text{ cm}^2$. Der Vorschlag, den Zugring in dieser Weise herzustellen, stammt von DYCKERHOFF & WIDMANN.

Laut Günther Trauer treten im Zugring-Fachwerk folgende Spannungen auf:

- infolge Eigengewicht: $0,920 \text{ t/cm}^2$ ($92,0 \text{ N/mm}^2$)
- infolge Winddruck: $0,121 \text{ t/cm}^2$ ($12,1 \text{ N/mm}^2$) bzw. $-0,271$ ($-27,1 \text{ N/mm}^2$)
- infolge Schneelast: $0,192 \text{ t/cm}^2$ ($19,2 \text{ N/mm}^2$) bzw. $-0,134$ ($-13,4 \text{ N/mm}^2$)

Bei der Annahme der ungünstigsten Lastfallkombination wurde die gleichzeitige Beanspruchung von Wind- und Schneebelastung ausgeschlossen. Die maximale Gesamtbeanspruchung wurde daher mit 1112 kg/cm^2 ($111,2 \text{ N/mm}^2$) für die Kombination aus Eigengewicht und Schneelast angenommen. Die zulässigen Stahlspannungen waren mit 1250 kg/cm^2 ($125,0 \text{ N/mm}^2$) festgelegt.

3.2.2 Unterbau⁸

Dem Tragwerksplaner zufolge war der zylinderförmige Kuppel-Unterbau in statischer Hinsicht, der am schwersten zu erfassende Teil der Jahrhunderthalle. Günther Trauer dimensionierte die Hauptbögen des Unterbaus zunächst grob nach dem Prinzip der Stützlinie vor, detailliertere Berechnungen folgten anschließend unter Berücksichtigung der Elastizitätstheorie.

Berechnungsgrundlagen

Bei der Vordimensionierung der Hauptbögen wurden die Kräfte der Strebebinder so definiert, dass deren Stützlinie durch die beiden Auflager des Strebebogens verläuft. Ferner wurde angenommen, dass die Stützlinie des Hauptbogens durch die horizontalen Kräfte der Strebebinder im Grundriss näherungsweise polygonal in der Bogenachse verläuft.

Für die genauere Berechnung des Unterbaus wurde die Annahme getroffen, dass die Achse des beidseitig vollkommen eingespannten Hauptbogens in einer schrägen Ausgleichsebene verläuft. Die Strebebögen wurden als elastische Widerlager angesehen und ihr Einfluss als statisch unbestimmte Größen eingeführt (siehe Abb. 3.9).

Die Untersuchung des statischen Systems erfolgte getrennt für jene Kräfte, die in der Ausgleichsebene und solche, die senkrecht dazu wirken (siehe Abb. 3.10). Dabei wurden die Auflasten, das Eigengewicht der Konstruktion, Eigenspannungen zufolge Wärmeänderungen sowie Windkräfte berücksichtigt. Außerdem wurden die Auswirkungen ungleichmäßiger Setzungen der Strebepfeiler-Fundamente untersucht.

Die Windlasten, die nur in der Bogenebene wirken, wurden mit einer horizontal im Scheitel angreifenden Kraft von 56 t (560 kN) in Rechnung gestellt. Temperaturunterschiede setzte Trauer mit nur $\pm 7,5^\circ\text{C}$ an, weil das Tragwerk zur Gänze im Innenraum der Jahrhunderthalle liegt. Der Einfluss des Betonschwindens sei laut Trauer durch eine besonders gründliche Nachbehandlung des Frischbetons minimiert worden.

⁸ vgl. Trauer 1913, S. 107-109, 115, 117; Trauer, Gehler 1914, S. 8-31.

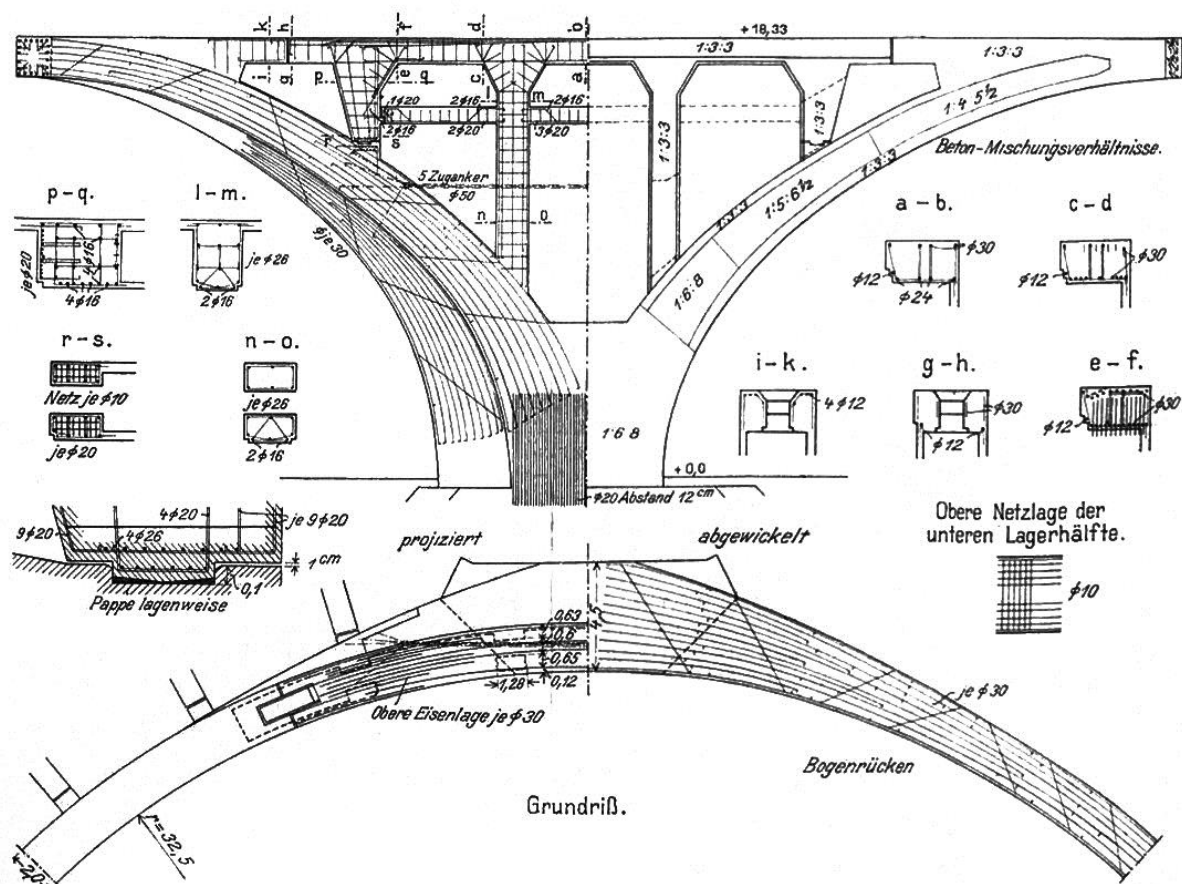


Abb. 3.11: Hauptbögen und Windrahmen: Bewehrung und Beton-Mischungsverhältnisse

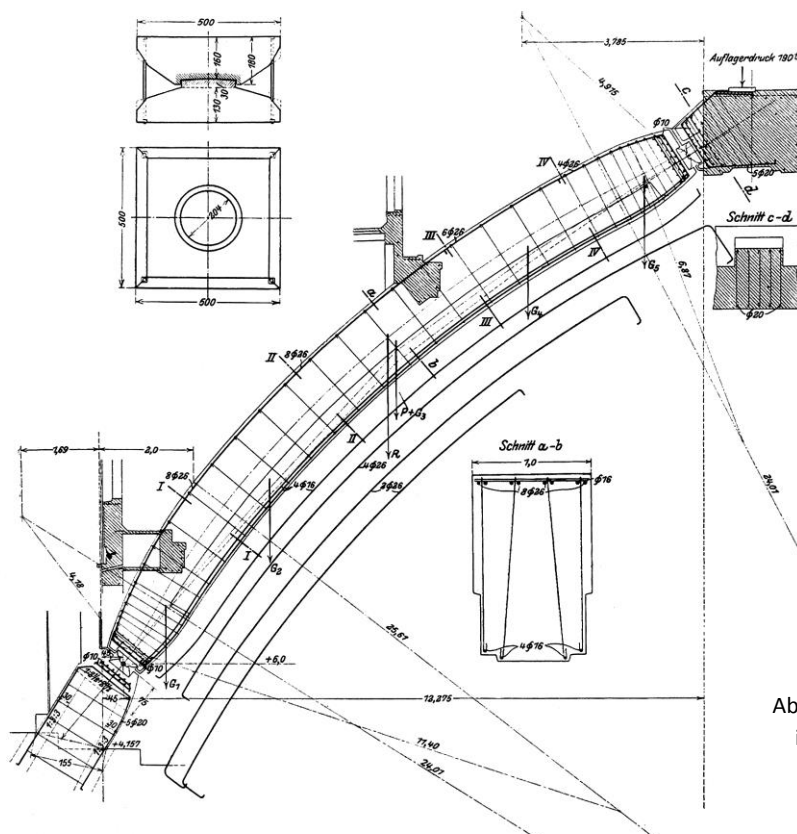


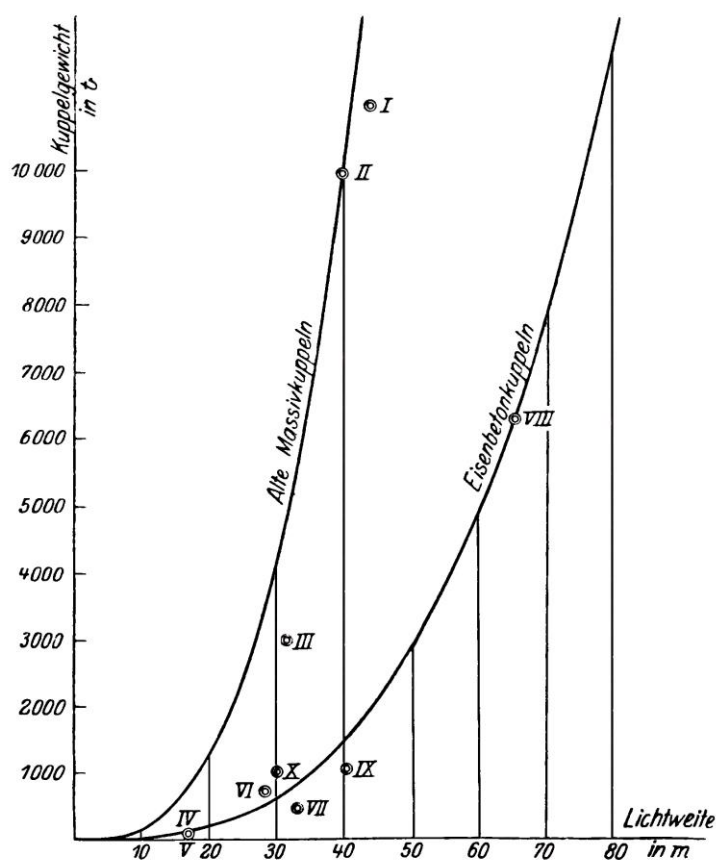
Abb. 3.12: Strebebinder I: Konstruktion inkl. Stützlinie

3.3 Voruntersuchungen der ausführenden Firma⁹

Laut Willy Gehler, dem technischen Direktor von Dyckerhoff & Widmann A.G., war es für das ausführende Unternehmen zunächst wichtig, die statische Eigenart des Bauwerks und die Besonderheiten des Stahlbetons im Detail zu ermitteln, der „wie bei keinem anderen Baustoff, vollständig an Ort und Stelle erzeugt werden und im Augenblicke der Ausrüstung auf eigenen Füßen stehen mußte.“¹⁰

3.3.1 Vergleichsstudie von Massivkuppelbauten

In Anbetracht der enormen Abmessungen der Rippenkuppel der Jahrhunderthalle wurde eine Vergleichsstudie von bestehenden Massivkuppel-Bauten durchgeführt. Diese Untersuchung veranschaulichte insbesondere den exponentiellen Anstieg des Eigengewichts der Konstruktion in Abhängigkeit vom Durchmesser der Kuppel (siehe Abb. 3.13). Die Ausführung einer Massivkuppel mit 65 m lichter Spannweite sei Gehler zufolge überhaupt erst durch den Einsatz von Stahlbeton möglich. Er meinte, dass die gewonnenen Erkenntnisse über die Lastverteilung für die korrekte Ausbildung des Gerüsts sowie die Planung des Bauablaufs essentiell gewesen seien.



Mauerwerkskuppeln:

- I Pantheon in Rom
- II Petersdom im Vatikan
- III Hagia Sophia in Istanbul

Vollkuppeln aus Stahlbeton:

- IV Bayrische Staatskanzlei (ehem. Armeemuseum) in München
- V Neue Anatomische Anstalt in München

Rippenkuppeln:

- VI Passage Friedrichstraße in Berlin
- VII Dom St. Blasien
- VIII Jahrhunderthalle in Breslau
- IX Pumpwerk Alte Emscher
- X Pantheon Leipzig (ehem. Betonhalle der IBA)

Abb. 3.13: Vergleich von Massivkuppeln nach Masse und Lichtweite

⁹ Trauer, Gehler 1914, S. 53.

¹⁰ Trauer, Gehler 1914, S. 53.

3.3.2 Modellversuch

Der Baugrund der Jahrhunderthalle war homogen und bestand aus dicht gelagertem Sand, wodurch gleichmäßige Fundamentsetzungen zu erwarten waren. Dank dieser Voraussetzungen war es möglich, das Tragwerk der Jahrhunderthalle mit einem relativ hohen Grad an statischer Unbestimmtheit auszuführen. Solch eine steife Konstruktion, für die die Stahlbetonbauweise prädestiniert sei, wirke sich vorteilhaft auf die Standsicherheit des Bauwerks aus.

Im Gegenzug werden die Berechnungen des Tragwerks durch die statische Unbestimmtheit maßgeblich erschwert. Um die theoretisch ermittelte Statik des Unterbaus zu bestätigen, wurde von DYCKERHOFF & WIDMANN ein Modellversuch unternommen. Damit wollte man sich ein klares Bild über den Kräfteverlauf und die Formänderungen des Tragwerks, insbesondere bei Stützenabsenkungen und Widerlagerverschiebungen, schaffen.

Für den Versuch wurde ein Viertel des Unterbaus als Eichenholz-Modell im Maßstab 1:25 angefertigt (siehe Abb. 3.14). Die einzelnen Komponenten des Tragwerks bestanden aus individuellen Elementen, wie Pfeiler, Strebebögen und Aufbauten; auch der Hauptbogen wurde aus mehreren Segmenten nachgebaut. Zum Feststellen von Druckverlagerungen bei stetig wachsender Belastung, wurde zwischen den Einzelteilen Blaupapier eingelegt. Die Belastung des Modells erfolgte an den entsprechenden Stellen der Kuppelaufleger mit einer Gesamtlast von bis zu 6 t (60 kN) – d.h. etwa 2 % der tatsächlichen Kuppellast.

Der Versuch verdeutlichte vor allem die gravierenden Konsequenzen eines etwaigen Ausweichens der Strebebögen. Dies führte zur Erkenntnis, dass deren Auflager so sicher wie möglich ausgebildet werden mussten. Es wurde in weitere Folge besonderes Augenmerk auf die sorgfältige Bemessung der Fundamente jener Pfeiler gelegt, auf denen die Strebebögen ruhen. Außerdem kam von DYCKERHOFF & WIDMANN die Empfehlung, die drei Aussteifungen der Apsiden (vgl. Abb. 3.3: C, D und E) in das Tragwerk zu integrieren und die Aussteifungselemente möglichst tief im Querschnitt der Strebe- und Kuppelbinder angreifen zu lassen.

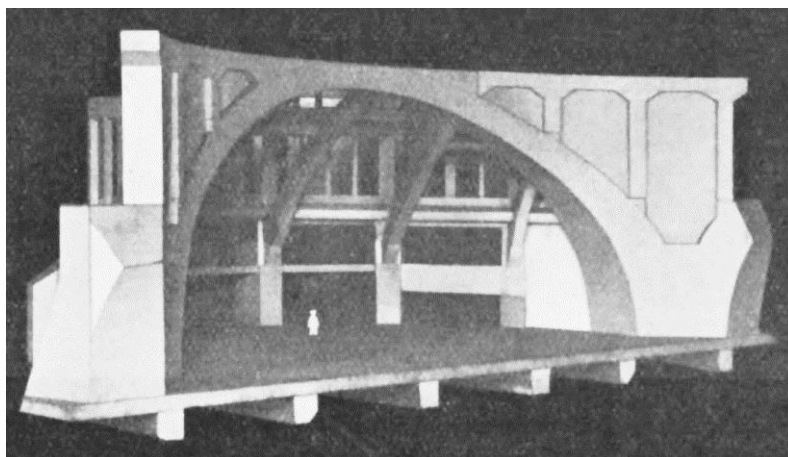


Abb. 3.14: Holzmodell des Vorversuchs für den Kuppel-Unterbau.

3.3.3 Erörterungen zur statischen Ausbildung der Hauptbogenaufleger

Der Auftragnehmer beschäftigte sich auch mit der Frage, ob die Hauptbögen in den Kämpfern gelenkig gelagert werden sollten. Neben der statischen Vereinfachung, hätte solch eine Ausbildung des Tragwerks den Vorteil geboten, dass Zwangsspannungen dank der maximal 40 m weiten Fugenabstände reduziert würden. Andererseits führt die Einspannung der Hauptbögen zu einer Entlastung der Strebebögen. Bei einer Druckkraft von ca. 12,3 MN wäre die Einschnürung des 22 m² großen Kämpferquerschnitts auf einen Gelenkpunkt außerdem konstruktiv nur schwer durchführbar gewesen und hätte insbesondere auch die architektonische Gestaltung des Bauwerks gestört. Aus diesen Gründen wurde die ursprüngliche Idee der monolithischen Verbindung von Pfeilern und Hauptbögen beibehalten.

Kapitel 4

Die Jahrhunderthalle als Meilenstein des Stahlbetonbaus

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurden bei der Stahlbetonbauweise enorme Fortschritte erzielt und die Fachwelt verfolgte neue Entwicklungen auf diesem Gebiet mit großem Interesse. Die Fertigstellung der Jahrhunderthalle im Jahr 1913 wurde in der Zeitschrift BETON U. EISEN als „wichtige Etappe im Siegeslauf des Eisenbetons, der nunmehr noch die weitgespannten Konstruktionen für den Massivbau sich zu erobern anschickt“ beschrieben. Es wurde festgestellt, dass der Stahlbetonbau an jene Grenzen herangerückt sei, die bisher nur im Stahlbau zu erreichen waren. Um diese These zu untermauern wurden die Abmessungen der Breslauer Jahrhunderthalle der Wiener Rotunde – errichtet 1873 als Stahlkonstruktion mit einem Durchmesser von 108 m, zu ihrer Zeit mit Abstand die größte Kuppel der Welt – gegenübergestellt (siehe Abb. 4.1). Ferner wurde ein Wettkampf beider Bauweisen prognostiziert, der sich über die nächsten Jahrzehnte hinziehen würde.¹

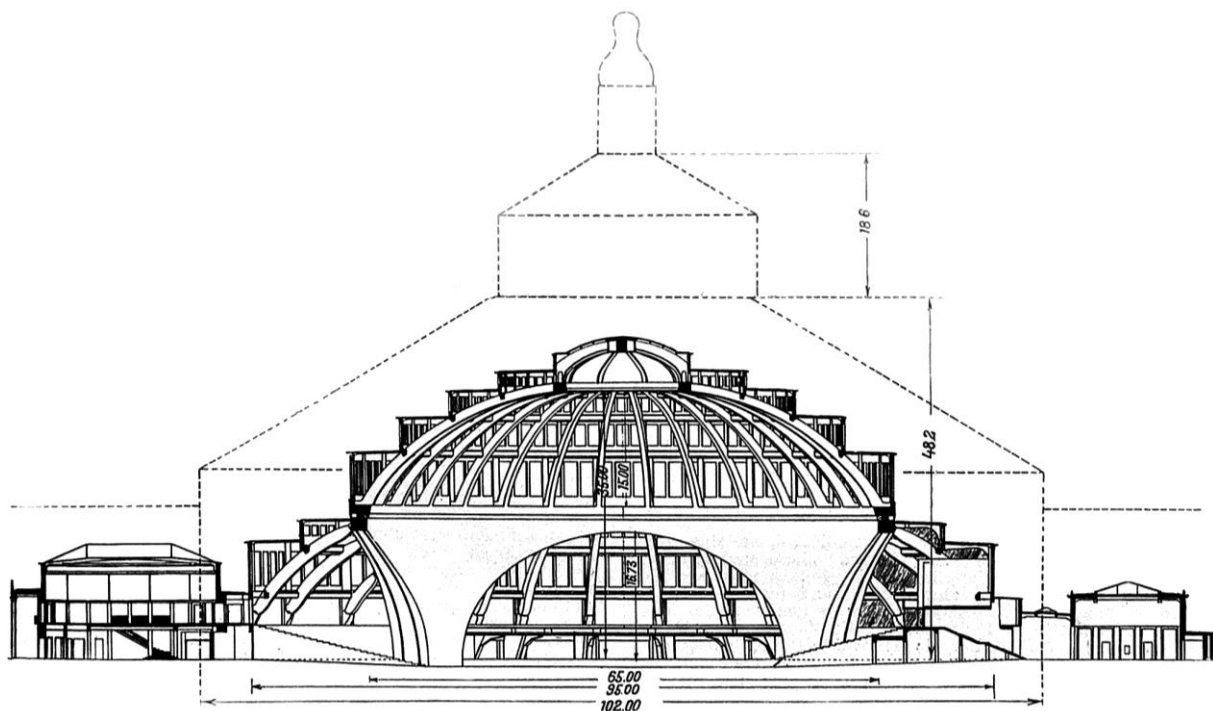


Abb. 4.1: Abmessungen der Jahrhunderthalle im Vergleich zur Wiener Rotunde

¹ vgl. o. V. Die Fortschritte des Massivbaues 1913

4.1 Stahlbeton als Baustoff der Jahrhunderthalle

Bei der Ausschreibung der Jahrhunderthalle waren ursprünglich sowohl *Eisen* als auch *Eisenbeton* als Konstruktionsmaterialien zugelassen. Zur damaligen Zeit sind bereits zahlreiche Kuppel- und Hallenbauten als Eisen-Konstruktion mit ähnlichen und größeren Spannweiten errichtet worden, sodass diese Bauweise relativ ausgereift war.²

Problematisch war jedoch die Brandsicherheit von freiliegenden Stahlkonstruktionen. Als Reaktion auf den Großbrand der Weltausstellung BRÜSSEL INTERNATIONAL im Jahr 1910, dem zahlreiche Pavillons samt ihren Exponaten zum Opfer fielen, wurde für die Breslauer Ausstellungshalle eine feuerfeste Konstruktion gefordert. Demnach hätte eine etwaige Stahlkonstruktion der Jahrhunderthalle feuerfest ummantelt werden müssen. Max Berg entschied sich für *Eisenbeton*, weil dieser als absolut brandbeständig galt und außerdem „eine architektonisch und konstruktiv bedeutungsvollere Gestaltung zulässt.“³

Dank der Ausbildung seiner Rippenkuppel als Stahlbetonkonstruktion ist es Max Berg gelungen, mit der Jahrhunderthalle „die bisher *bedeutendste stützenlose Ueberspannung eines Raumes in rein massiver Konstruktion* [Hervorhebung im Original] für die Jahrhundertfeier in Breslau zu errichten.“⁴

Exkurs: Die Breslauer Markthallen

Einen Einfluss auf Max Bergs Entscheidung hatten gewiss auch die beiden in den Jahren 1906 bis 1908 errichteten Breslauer Markthallen von Heinrich Küster und Richard Plüddemann, deren Tragwerk aus parabolischen Stahlbeton-Bögen besteht (siehe Abb. 4.2). Obwohl diese Stahlbetonbauwerke zu den frühesten ihrer Art in Europa zählen, wurde ihnen in Fachkreisen nur wenig Beachtung geschenkt – wahrscheinlich weil das neuartige Tragwerk von außen hinter einer traditionellen Backsteinfassade verborgen blieb.⁵



Abb. 4.2: Rohbau der Breslauer Markthalle (1908)

² vgl. Berg, Trauer 1913, S. 163.

³ Berg 1913, S. 466.

⁴ Berg 1913, S. 466.

⁵ vgl. Ilkosz 2006, S. 129.

4.2 Diskurs über die Verwendung von Stahlbeton für den Bau der Jahrhunderthalle⁶

Seit der Veröffentlichung von Bergs ersten Entwürfen bis nach Fertigstellung der Jahrhunderthalle gab es in der Fachwelt einen intensiven Diskurs, ob Stahlbeton für solch einen Bau überhaupt geeignet sei. Allen voran versuchte der Stahlwerks-Verband nachzuweisen, dass Stahlkonstruktionen bei Großkuppelbauten in jeder Hinsicht und insbesondere wegen der statischen Sicherheit und Wirtschaftlichkeit dem Stahlbeton vorzuziehen seien. Im Artikel der DEUTSCHEN BAUZEITUNG *Zweckmäßigkeit der Verwendung von Eisenbeton oder Eisen für monumentale Hochbau-Konstruktionen* vom 15. November 1913 verteidigen und rechtfertigen Max Berg und Günther Trauer ihre Wahl des Stahlbetons als Baustoff der Jahrhunderthalle. Die Autoren versuchen „im Interesse einer gerechten Würdigung beider nebeneinander vollberechtigten Bauweisen“ die voreingenommenen Argumente des Stahlwerks-Verbands zu entkräften.

Max Berg und Günther Trauer erwiderten die Kritik der vermeintlich schwierigeren Ermittlung der Statik einer Stahlbetonkonstruktion mit der Behauptung, dass die Berechnungen einer Kuppel aus Stahl nur dann einfacher seien, wenn es sich um eine echte Fachwerkskuppel und nicht um ein Rahmengebilde handelt: „Wäre die Breslauer Kuppel mit den architektonisch festgelegten Formen in Eisen ausgeführt worden, so wäre der Rechnungsgang im wesentlichen [sic] der gleiche gewesen [...]“. Die Autoren konterten, dass der „Siegeslauf des Eisenbetons“ bewirkt habe, dass man sich mit bis dahin ungeklärten Problemen des Stahlbaus zu beschäftigen begann. Außerdem verwiesen sie dem Stahlbau, dass erst zahlreiche folgenschwere Einstürze von Eisenbauten Anlass dazu gaben, die wichtige Frage der Knicksicherheit durch theoretische und praktische Versuche zu klären.

Berg und Trauer widersprechen ebenso dem Vorwurf, dass die Breslauer Kuppel nur unter übermäßigen Sicherungsmaßnahmen errichtet werden konnte. Sie sind überzeugt, dass Sorgfalt und Vorsicht bei jeder größeren und schwierigeren Konstruktion, egal aus welchem Material, wichtig seien und versicherten, dass „bei der Jahrhunderthalle nur jene Sicherheitsmaßnahmen angewendet [wurden], die bei der Ausführung einer jeden Großkonstruktion [...] als selbstverständliche Pflicht eines gewissenhaften Ausführenden angesehen werden.“ Das große öffentliche Interesse an den Ergebnissen der Ausrüstung, die mit besonderer Gewissenhaftigkeit erfolgt sei, wird mit der Besonderheit des Bauwerks begründet. Es sei nicht gerechtfertigt, ihre Sorgfalt bei der Bauleitung und den Beobachtungsmessungen als „eine Unterlegenheit der Bauweise herzuleiten und den Bau [die Jahrhunderthalle] geradezu als Wagnis hinzustellen.“

Die Erbauer der Jahrhunderthalle räumen zwar ein, dass für die Überdachung großer Hallen eine Stahlkonstruktion günstiger sei; allerdings nur dann, wenn es sich um reine Nutzbauten handelt „bei denen die augenblickliche Wirtschaftlichkeit in erster Linie steht und [...] bei Feuer die Erhaltung des Baues keine Rolle spielt“. Auf längere Sicht müsse außerdem die Tatsache berücksichtigt werden, dass im Gegensatz zu Stahlbauten, „bei Eisenbeton so gut wie gar keine Unterhaltungskosten entstehen“. Ist es hingegen notwendig, auch bei einer Feuersbrunst das Gebäude zu erhalten, kommt eine reine Eisenkonstruktion nicht in Frage. In diesem Fall müsste das Tragwerk feuersicher ummantelt werden. Die Autoren erwidern: „[...] wenn der Eisenbau zu seiner Entschuldigung für seine mangelnde Feuersicherheit anführt, daß, der feuersicherste Bau nicht davor schützt, daß die innere Einrichtung in Brand gerät, so beweist das, wie sehr er sich selbst in Bezug auf die

⁶ vgl. Berg, Trauer 1913

Feuersicherheit anderen Materialien gegenüber im Hintertreffen fühlt.“ Als weiteren Vorteil der Stahlbetonbauweise fügen Berg und Trauer hinzu, dass, auch wenn der Inhalt des Bauwerks bereits in Brand geraten sei, ein Löschen des Feuers noch vom Dach und aus dem Inneren der Stahlbetonkonstruktion erfolgen könne, wenn das Betreten im Falle einer Eisenkonstruktion nicht mehr möglich sei.

Berg und Trauer erläutern, dass nach der Ausschreibung festgestellt wurde, dass „[v]on den ernst zu nehmenden Angeboten [...] sich eine Kuppel in ummanteltem Eisen um etwa 30 000 M. billiger als eine solche in Eisenbeton [herausstellte], das sind noch nicht 2 % der Bausumme [...]“. Bei solch einem geringen Preisunterschied sei es nicht verwunderlich, dass für einen Monumentalbau zu Gunsten von Stahlbeton entschieden wurde. Die Autoren ergänzen, dass sich eine Stahlbetonkonstruktion auch schon bei den Breslauer Markthallen günstiger erwiesen habe als ummanteltes Eisen. Dies sei „wahrscheinlich darauf zurückzuführen, daß die Ummantelung als tote Last bei den großen Abmessungen den Eisenbedarf und damit die Kosten erhöht, während bei Eisenbeton der Baustoff zugleich schützt und trägt.“

Als wesentlichen Nachteil des Stahlbaus nennen Berg und Trauer dessen Gefährdung durch Rost. Als warnendes Beispiel führen sie den Einsturz der Bahnhofshalle von Charing Cross in London im Jahr 1905 an, wo die Stahlkonstruktion zwar witterungsgeschützt lag, deren Instandhaltung aber vernachlässigt wurde. Umhülltes oder verkleidetes Eisen sei in dieser Hinsicht noch weniger geeignet, weil eine Überprüfung der Konstruktion beinahe unmöglich sei und allmähliches Durchrosten unbemerkt bis zum Zusammenbruch erfolgen könne.

Den Autoren zufolge fehle dem Eisen „trotz seiner Festigkeit ein Hauptfaktor der Forderung der Monumentalität, die schwere Zerstörbarkeit.“ Daher sind sie der Meinung, dass man für Bauten, „die auch nach hunderten von Jahren Zeugnis für die Kultur unserer Zeit ablegen sollen, die an sich als wertvoll und bedeutend zu erhalten sind, auch wenn einmal ein Brand im Inneren stattfindet, [...] man die Eisenkonstruktion unbedingt vermeiden [sollte].“ Sie sind überzeugt, dass „uns die herrlichen überlieferten Kuppelbauten des Pantheon, der Hagia Sophia und der Peterskirche, ja auch viele mittelalterliche Dome nicht erhalten wären, wenn sie in Eisen ausgeführt worden wären.“

Exkurs: Der Brand der Wiener Rotunde

Max Bergs und Günther Trauers verteidigende Erläuterungen sind naturgemäß parteiisch und dem Stahlbau gegenüber sehr kritisch. Die Brandkatastrophe der Wiener Rotunde im Jahr 1937 sollte allerdings ihren Standpunkt festigen. Die 1873 im Wiener Prater anlässlich der Weltausstellung errichtete Rotunde war mit einem Durchmesser von 108 m der größte Kuppelbau der Welt und wurde erst 85 Jahre später durch eine Messehalle in Belgrad mit 109 m Spannweite übertroffen.

Die Wiener Rotunde galt als extrem brandgefährdet und wurde bei Veranstaltungen daher von speziellen Brandsicherheitswachen beaufsichtigt. Am 17. September 1937 geriet das Hauptgebäude um etwa 13:00 Uhr in Brand. In der Kuppel waren etwa 400 t Holz verbaut, wodurch sich das Feuer rasch ausbreitete. Bereits etwa eine Stunde nach Beginn des Brandes mussten die Löschmannschaften aufgrund der Einsturzgefahr abgezogen werden. Nur drei Minuten später stürzte die Kuppel ein und bis zu den Abendstunden brannte das restliche Gebäude nieder. Dieses Ereignis

zählt zu den größten Brandkatastrophen der Stadtgeschichte. Wien verlor damit eine wichtige Kulturstätte und war mit einem immensen wirtschaftlichen Schaden konfrontiert.⁷

4.3 Der Stahlbetonbau zu Beginn des 20. Jahrhunderts

Das Grundkonzept des Stahlbetonbaus kam erstmals Mitte des 19. Jahrhunderts zur Anwendung, als der Franzose Joseph-Louis Lambot ein Ruderboot aus einem in Zementmörtel eingebetteten Eisengeflecht baute. Demselben Prinzip folgend stellte wenig später der französische Gärtner Joseph Monier Pflanzkästen aus Zement her, die er mit einem Drahtgewebe verstärkte. Der amerikanische Rechtsanwalt Thadeus Hayatt führte seit 1855 Versuche mit dem neuartigen Verbundwerkstoff durch. Er erkannte die tatsächliche Tragwirkung von Stahlbeton und hielt 1878 in seinem Grundpatent fest, dass die Bewehrung in der Zugzone liegen müsse. Schon bald lernte man die Vorteile der gemeinsamen Verwendung von Beton und Stahl als Verbundmaterial auch für das Bauwesen zu nutzen. Die neuartige *Eisenbetonbauweise* erfuhr eine rasche Entwicklung, sodass es in Europa und Nordamerika zu Beginn des 20. Jahrhunderts kaum mehr ein Bauwerk gab, in dem dieser innovative Baustoff nicht in irgendeiner Form zur Anwendung kam.⁸

Richtlinien und Regelwerke

Die ersten Richtlinien zur Berechnung und Ausführung von Stahlbetonkonstruktionen im Deutschen Kaiserreich wurden 1904 vom *Verband Deutscher Architekten- und Ingenieur-Vereine* und dem *Deutschen Beton-Verein* gemeinsam als „Vorläufige Leitsätze für die Vorbereitung, Ausführung und Prüfung von Eisenbetonbauten“ herausgegeben. Die ersten gesetzlichen Rahmenbedingungen im Stahlbetonbau wurden kurze Zeit später mit den *Bestimmungen des Kgl. Preußischen Ministeriums der öffentlichen Arbeiten für die Ausführung von Konstruktionen aus Eisenbeton bei Hochbauten* geschaffen⁹. In der Fassung von 1907 waren diese auch für den Bau der Jahrhunderthalle verbindlich. In ihren Grundzügen ähneln diese Regelwerke bereits den heute gültigen Normen, sind jedoch bei weitem nicht so umfassend und teilweise noch sehr allgemein gehalten.

Stand der Technik

Zu jener Zeit, als die Jahrhunderthalle errichtet wurde, war der Wissensstand über die Verarbeitung und Anwendung von Stahlbeton schon erstaunlich weit fortgeschritten. Die grundlegenden Theorien stimmten bereits mit den heutigen Lehrmeinungen überein.

So wusste man beispielsweise bereits über die wichtige Bedeutung der annähernd gleichen Wärmeausdehnungskoeffizienten von Stahl und Beton für das Verbundverhalten von Stahlbeton Bescheid. Man war sich der geringen Zugfestigkeit des Betons bewusst und stellte daher bei der Bemessung im Zugbereich nur die Bewehrung in Rechnung. Ebenso war man mit dem Spannungs-Dehnungsverhalten von Stahl auf Zug und Druck vertraut und beschränkte die zulässige Beanspruchung der Bewehrung auf den linear-elastischen Bereich. Auch war bekannt, dass bei größeren

⁷ vgl. David 1937

⁸ vgl. Reinboth 2013

⁹ vgl. Fingerloos, Schnell 2009, S. 13.

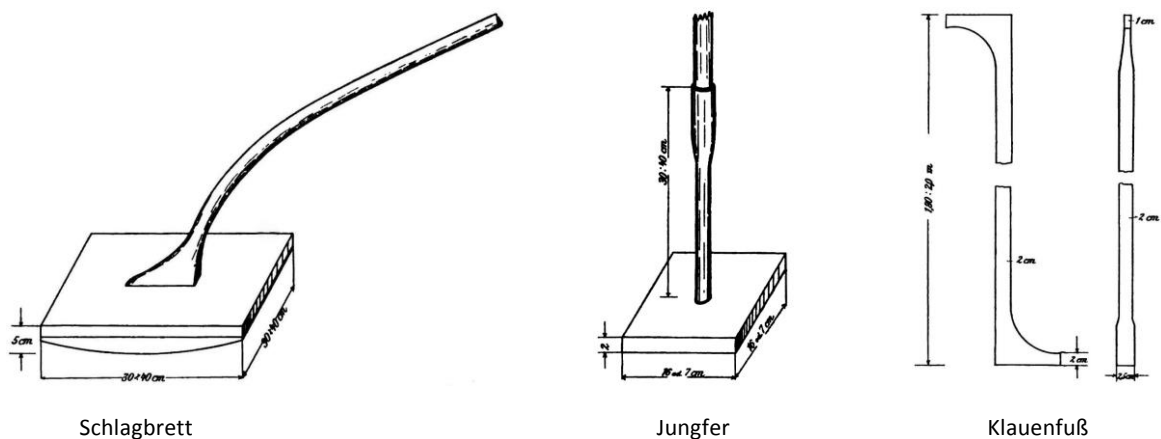


Abb. 4.3: Verdichtungswerkzeuge des frühen 20. Jahrhunderts.

Bauelementen wegen des Schwindverhaltens von Beton die Ausbildung von Trennfugen nötig ist. Hinsichtlich der Betonverarbeitung hatte man bereits gute Kenntnisse über die Anforderungen an das Zugabewasser, den bedeutenden Einfluss einer sorgfältigen Verdichtung von Frischbeton auf dessen spätere Festigkeit, sowie die Notwendigkeit einer angemessenen Nachbehandlung des jungen Betons.¹⁰

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts war es üblich, Beton durch Stampfen per Hand zu verdichten. Bestimmungen besagten, dass die „Betonmasse [...] in Schichten von höchstens 15 cm Stärke einzubringen und in einem dem Wasserzusatz entsprechenden Maße [...] mit] passend geformte[n] Stampfen von angemessenem Gewicht“¹¹ zu verdichten ist. Die gängigsten Geräte zur Betonverdichtung waren neben dem gewöhnlichen Stampfer die sogenannte Jungfer, das Schlagbrett und der sogenannte Klauenfuß, der bei dicht gelagerten Bewehrungseinlagen verwendet wurde¹² (siehe Abb. 4.3).

Hinsichtlich des Wasserzementwertes unterschied man nur zwischen erdfeuchtem und plastischem Beton. Letzterer wurde mit etwa 50 % mehr Wasserzusatz als der erdfeuchte Beton gemischt und war daher leichter zu verarbeiten. Frischbeton mit einem „gewissen Überschuß an Wasser“¹³ wurde daher für jene Einsatzbereiche empfohlen, wo dessen Einbau und Verdichtung, beispielsweise aufgrund der Bewehrung, erschwert waren. Es herrschte die Meinung, dass mit plastischem Beton auch eine bessere Homogenität zu erreichen sei. Dies mag für die Herstellung des Frischbetons stimmen, jedoch wurde bei dieser Annahme die Gefahr des Entmischens beim Verteilen und Verdichten außer Acht gelassen. Über den Einfluss des Wasserzementwertes auf die Druckfestigkeit des Festbetons gab es aufgrund von widersprüchlichen Versuchsergebnissen noch keinen einheitlichen wissenschaftlichen Standpunkt. Der Zusammenhang zwischen der Menge an Zugabewasser und der Porosität des Betons waren allerdings bereits bekannt.¹⁴

Trotz des beeindruckenden Wissensstandes waren die damaligen Lehrmeinungen über Stahlbeton noch nicht gänzlich fundiert und technische Standards wegen des Mangels an langfristigen Erfah-

¹⁰ vgl. Esselborn 1908; Mörsch 1908

¹¹ Bestimmungen des Kgl. Preußischen Ministeriums der öffentlichen Arbeiten für die Ausführung von Konstruktionen aus Eisenbeton bei Hochbauten zit. n. Mörsch 1908, S. 353.

¹² vgl. Esselborn 1908, S. 477 f.

¹³ Mörsch 1908, S. 24.

¹⁴ vgl. Esselborn 1908, S. 471; Mörsch 1908, S. 24.

rungen noch nicht ausgereift. Einige der damals vorherrschenden Theorien stellten sich im Nachhinein als Irrtum heraus, etwa die Annahme, dass die Eisenbetonbauweise absolut feuersicher sei. Auch war man sich noch nicht über den chemischen Prozess der Karbonatisierung des Zementsteins und die damit verbundenen Auswirkungen auf den Korrosionsschutz der Bewehrung bewusst. Allgemein wurde angenommen, dass die Bewehrung, unabhängig von der Betondeckung, ausschließlich durch die Zementhaut auf der Stahloberfläche vor Korrosion geschützt sei. Für eine dauerhafte Beschichtung seien ausschließlich ein ausreichender Zementgehalt und eine sorgfältige Verdichtung des Frischbetons nötig. Die Zementhaut bliebe „auch noch beim Reißen und bei völliger Zertrümmerung des Betons“¹⁵ haften. Durch diese Maßnahme sei das „Rosten der Einlagen [...] vollständig ausgeschlossen, da der Zement die Eisenteile umhüllt und so von der atmosphärischen Luft abschließt.“¹⁶

4.4 Stahlbeton-Technik beim Bau der Jahrhunderthalle

Der Beton für die Jahrhunderthalle wurde aufgrund der erforderlichen Menge und der Baustellengröße in zwei eigenständigen Betonaufbereitungsanlagen hergestellt. Die Anlagen waren an gegenüberliegenden Seiten der Baustelle positioniert und mit vier Mischmaschinen, Zementsilos und den nötigen Lagerplätzen für Zuschläge ausgestattet. Der gemeinsam verwendete, etwas abseits positionierte, Steinbrecher diente der Aufbereitung von ausgemusterten Granitpflastersteinen, die als Betonzuschlag für stark beanspruchte Konstruktionselemente verwendet wurden.

Der überwiegende Teil der Konstruktion wurde in Ortbetonbauweise hergestellt, wobei der Transport des Betons mit Loren und Betonkübeln erfolgte. Einige ausgewählte Elemente, z. B. die schlanken Zwischenstützen der Fensterwände, wurden auch als Fertigteile eingebaut. Diese Elemente wurden auf dem Bauplatz produziert und mit Hilfe einer Kabelbahn zur entsprechenden Einbaustelle befördert.¹⁷

Für die Errichtung des Bauwerks waren insgesamt rund 13 600 m³ Beton erforderlich, die aus 320 Wagonladungen Portlandzement, 1 500 Waggons Kiessand und 1 700 Waggons Steinschlag gemischt wurden. Inklusive dem 130 t schweren Zugring, wurden 600 t Bewehrungsstahl verbaut. Für Schalung und Gerüst waren ca. 3 000 m³ Holz nötig.¹⁸

Auf die Qualität der verwendeten Baustoffe wurde besonderer Wert gelegt. So kam z. B. für die Bewehrung kein gewöhnliches Handelseisen, sondern ausschließlich Qualitätseisen zum Einsatz. Der von der Zementfabrik Silesia in Oppeln (heute Opole, PL) produzierte Zement wurde regelmäßig vom KGL. MATERIAL-PRÜFUNGSAMT in Groß-Lichterfelde bei Berlin* untersucht, das dem Produkt eine *vorzügliche Gleichmäßigkeit und Güte*¹⁹ bescheinigte. Die Lagerung auf der Baustelle erfolgte in Zementsilos, die von der Bauleitung versiegelt wurden.²⁰

¹⁵ Mörsch 1908, S. 24.

¹⁶ Esselborn 1908, S. 418.

¹⁷ vgl. o. V. Der Eisenbetonbau der großen Festhalle zu Breslau 1913, S. 61; Trauer, Gehler 1914, S. 61-63.

¹⁸ vgl. o. V. Der Eisenbetonbau der großen Festhalle zu Breslau 1913, S. 61.

* heute Ortsteil Lichterfelde im Berliner Bezirk Steglitz-Zehlendorf

¹⁹ Trauer, Gehler 1914, S. 74.

²⁰ vgl. Max Berg, *Die Standsicherheit der Festhalle in Scheitnig*. Schlesische Zeitung, 9.9.1912 zit. n. Ilkosz 2006, S. 141; vgl. o. V. Der Eisenbetonbau der großen Festhalle zu Breslau 1913, S. 61.

Die Betonschalung der Jahrhunderthalle wurde selbst als „Meisterwerk der Zimmermannskunst“ bezeichnet, da das Bauwerk „kaum eine gerade Linie [...] Fläche enthält“²¹. An sämtlichen Ansichtsflächen wurden die Schalungsbretter in radialer Richtung angeordnet, um mit deren Abdrücken eine möglichst ästhetische Oberflächenstruktur zu erzielen. Die Bauleitung war bemüht die Schalungselemente systematisch wiederzuverwenden und erstellte zu diesem Zweck einen speziellen Ablaufplan über die gesamte Bauzeit.²²

4.4.1 Betonrezeptur²³

Die Betonrezeptur wurde beim Bau der Jahrhunderthalle über das Volumenmischungsverhältnis von Zement:Sand:Schotter festgelegt. Sie variiert je nach Einbauort und der zu erwarteten Belastung.

Für die Fundamente und die Betonkerne massiger Tragwerkselemente, wie etwa bei den Pfeilern der Hauptbögen, wurde verhältnismäßig weniger Zement verwendet als beispielsweise beim Sichtbeton bzw. jenem Beton, der zur Einbettung der Bewehrung diente. Bei großen Stahlbetonelementen waren sogar innerhalb eines Bauteils unterschiedliche Rezepturen vorgeschrieben (siehe). Im Unterbau sind die Stahleinlagen der Hauptbögen z.B. mit Feinschotterbeton im Mischungsverhältnis von 1:3:3 umhüllt, die Kerne desselben Bauelements wurden hingegen vom Kämpfer bis zum Scheitel mit Grobschotterbetonen in insgesamt fünf verschiedenen Mischungen aus Zement, Kiessand und Granitfeinschlag ausgeführt (vgl. Abb. 3.11).

4.4.2 Wasserzementwert²⁴

Über den Wasserzementwert des eingebauten Betons können auf Basis der Baudokumentation keine präzisen Angaben gemacht werden. Willy Gehler meinte allerdings, dass im Allgemeinen mit einem „verhältnismäßig geringen Wasserzusatz“²⁵ gearbeitet wurde, um das planmäßige Einbringen zu erleichtern, eine gute Verdichtung zu erzielen und den Austritt des Betons aus der Holzschalung zu vermeiden.

Nur bei Betonierarbeiten die eine höhere Viskosität erfordern, beispielsweise bei Sichtbetonflächen und bei Bauelementen mit geringen Bewehrungsabständen, musste der Beton „in etwas feuchterem Zustand verarbeitet werden“²⁶. Dies war etwa bei der dicht bewehrten Laternenkonstruktion der Fall, wo auch die Wände der relativ hohen Riegel zwecks Gewichtsreduktion nur sehr dünn ausgeführt wurden. Ebenso musste ein erhöhter Wasserzementwert im unteren Bereich der Rippenbögen der Apsiden eingesetzt werden, da sonst ein sorgfältiges Verteilen und Verdichten des Betons nicht möglich gewesen wäre. Der Zugang wurde dort nämlich durch die geschlossen Rückenflächen der Schalkästen erschwert, die im Laufe der Betonierarbeiten kontinuierlich abgeschalt werden mussten.

²¹ *Vom Bau der Festhalle in Scheitnig*. Schlesische Zeitung, 15.6.1912 zit. n. Ilkosz 2006, S. 131.

²² vgl. Trauer, Gehler 1914, S. 67, 69.

²³ vgl. Trauer, Gehler 1914, S. 68.

²⁴ vgl. Trauer, Gehler 1914, S. 69, 73 f.

²⁵ Trauer, Gehler 1914, S. 69.

²⁶ Trauer, Gehler 1914, S. 69.

Tab. 1: Betonrezeptur ausgewählter Bauelemente²⁷

Bauelement	Bereich und Mischungsverhältnis i. Allg. Zement : Sand : Schotter	Bezeichnung des Betons und Anmerkungen lt. Baudokumentation
Fundamente	Einbettung der Bewehrung 1 : 4	Kiesbeton Mischungsverhältnis angegeben für Zement : Kies
	unterer Bereich 1 : 7	
	oberer Bereich 1 : 5,5	
Pfeiler	allgemein 1 : 6 : 8	Klarschlagbeton
Hauptbögen des Unterbaus	Einbettung der Bewehrung und Sichtbeton 1 : 3 : 3	Granitfeinschotterbeton
	Betonein in Kämpfernähe 1 : 6 : 8	Grobschotterbeton bestehend aus Kiessand und Granitfeinschlag
	Betonein im mittleren Teil 1 : 5 : 6,5	
	Betonein im oberen Teil 1 : 4 : 5,5	
	Betonein im Scheitelbereich 1 : 3 : 3	
	Schlussstück im Scheitel auf 1 m Länge 1 : 2,5 : 2,5	keine Angaben
Strebebögen der Apsiden	allgemein 1 : 3 : 3	Granitfeinschotterbeton mit erhöhtem WZ-Wert
	im Auflagerbereich 1 : 2,5 : 2,5	stark bewehrt, zul. Betonbeanspruchung: 100 kg/cm ² (10 N/mm ²)
Kuppelbinder	allgemein 1 : 3 : 3	Granitfeinschotterbeton

4.4.3 Betonverdichtung²⁸

Der nur im geringen Maß bewehrte Beton der mächtigen Hauptpfeiler und der Fundamente wurde nicht nur per Hand, sondern auch mit Pressluftstampfern verdichtet. Für diese Tätigkeit waren pro Facharbeiter fünf Hilfskräfte zum Transport und Verteilen des Frischbetons nötig.

Damals durchgeführte Versuche ergaben, dass eine 18 cm dicke Betonschicht durch vorschriftsmäßige manuelle Verdichtung auf 15 cm Schichtdicke komprimiert werden konnte. Die zusätzliche maschinelle Bearbeitung ermöglichte eine weitere Verdichtung von 2 bis 3 cm.

²⁷ Trauer, Gehler 1914, S. 27, 49, 68 f, 73 f.

²⁸ vgl. Trauer, Gehler 1914, S. 67.

4.4.4 Druckversuche²⁹

In Vorversuchen wurde die Druckfestigkeit des Betons der Jahrhunderthalle an 28 Tage alten Würfeln mit 30 cm Kantenlänge geprüft. Bei einaxialer Belastung wurde eine mittlere Würfel-druckfestigkeit von 260 kg/cm^2 (26 N/mm^2) festgestellt.

Außerdem wurden Versuche vorgenommen, bei denen die Last nur auf einer quadratischen Fläche von 15 cm Kantenlänge aufgebracht wurde, also nur auf einem Viertel der gesamten Seitenfläche. Die auf solch eine reduzierte Fläche bezogene Druckfestigkeit belief sich auf 567 kg/cm^2 ($56,7 \text{ N/mm}^2$).

In analoger Weise wurden überdies auch Versuche mit Prüfkörpern vollzogen, „die in der bei unserem Bauwerk [der Jahrhunderthalle] vorgesehenen Weise mit Eisen bewehrt waren“³⁰. Hierbei ergab sich eine Druckfestigkeit von 927 kg/cm^2 ($92,7 \text{ N/mm}^2$). Bei einem Betonalter von einem Jahr erhöhte sich diese auf $1\,089 \text{ kg/cm}^2$ ($108,9 \text{ N/mm}^2$).

²⁹ vgl. Trauer, Gehler 1914, S. 68.

³⁰ vgl. Trauer, Gehler 1914, S. 68.

Kapitel 5

Bau der Jahrhunderthalle

Der Bau der Jahrhunderthalle wurde unter Zeitdruck durchgeführt. Es wurde daher besonderer Wert auf eine zweckmäßige Baustelleneinrichtung sowie die gewissenhafte Planung des Bauablaufs gelegt. Willy Gehler, der technische Leiter der ausführenden Firma, meinte dass er sich diesbezüglich stark an der amerikanischen Bauindustrie orientiert habe. Deren Rekordleistungen hinsichtlich der Ausführungszeiten würden vorwiegend durch die gründliche Vorbereitung ermöglicht. Die Einhaltung ihrer kurzen Fristen sei nur erfüllbar, weil die Baumaterialien schon möglichst vor Beginn der Arbeiten vorrätig gelagert würden, der vertikale Lastentransport auf amerikanischen Baustellen effizienter funktioniere und Projektänderungen während der Bauphase streng vermieden würden.¹

5.1 Baustelleneinrichtung

Auf dem Baugelände der Jahrhunderthalle stand ausreichend Platz zur Verfügung um die erforderlichen Baustelleneinrichtungen zweckmäßig unterzubringen (siehe Abb. 5.1). Der Bauplatz wurde u. a. mit zwei Betonaufbereitungsanlagen, einem Steinbrecher, einem Sägewerk, einer Eisenbiegewerkstatt sowie einer Schmiede ausgestattet. Die nötige Druckluft für die pneumatischen Betonstampfer wurde von einem Kompressor in der Mitte des späteren Bauwerks erzeugt und über Druckleitungen zu den vier Pfeilern gebracht.

Der ebenerdige Materialtransport auf der Baustelle erfolgte auf Gleisen mittels Loren. Ein ringförmiges Materialgleis schmiegte sich dicht an den Umriss der Hallengrundfläche. Ein zweites Gleis führte vom Steinbrecher quer durch die Halle zu den beiden Betonanlagen und ein drittes vom Holzlagerplatz zur Hallenmitte mit einer ringförmigen Schleife unter der Hallenkuppel. Der vertikale Materialtransport wurde mit vier Aufzügen und größtenteils mit der sogenannten Karussellkabelbahn bewältigt. Diese unkonventionelle Kabelkrananlage hatte aufgrund ihrer effektiven Arbeitsweise einen wichtigen Beitrag für den zügigen Bauablauf der Jahrhunderthalle und wird daher im folgenden Abschnitt näher beschrieben.²

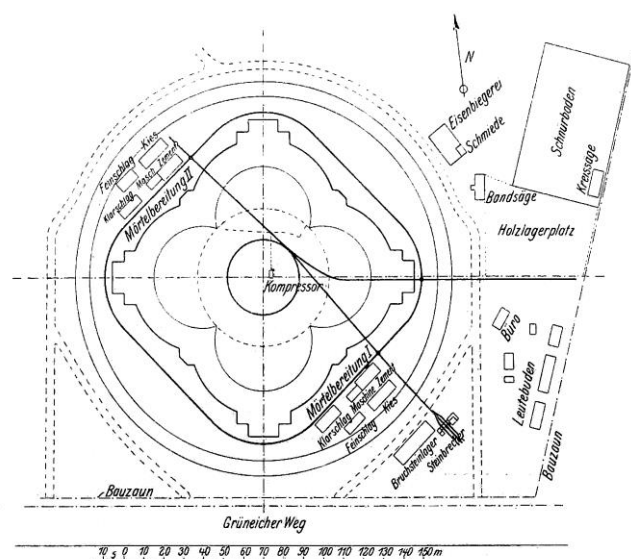


Abb. 5.1: Baustelleneinrichtung

¹ vgl. Trauer, Gehler 1914, S. 61 f, 66.

² vgl. Trauer, Gehler 1914, S. 62 f.

Die Karussellkabelbahn³

Um die nötigen Baumaterialien möglichst effizient und kostengünstig zu ihrem Einsatzort zu befördern, wurden ausführliche Vorstudien über geeignete Hebeanlagen durchgeführt. Angeregt durch die zu jener Zeit in Amerika relativ häufig eingesetzten Kabelbahnen wurde gemeinsam mit der Leipziger Firma Bleichert & Co. die sogenannte Karussellkabelbahn eigens für den Bau der Jahrhunderthalle entwickelt. Sämtliche Materialien für Lehrgerüst und Schalung ebenso wie der Stahl und Beton wurden auf der Baustelle mit dieser neuartigen Hebevorrichtung versetzt. Die Methode hat sich im Verlauf der Arbeiten bestens bewährt und eine außerordentlich kurze Ausführungszeit ermöglicht.

Voraussetzung für den Einsatz der Kabelkrananlage waren die passende Grundrissform des Bauwerks sowie umliegend genügend freier Platz. Der Betrieb der Karussellkabelbahn war zudem nur durch eine Ausnahmeregelung der Baupolizei möglich, die es gestattete, Lasten direkt über den Arbeitern zu transportieren. In diesem Zusammenhang verwies Willy Gehler erneut auf die seiner Meinung nach fortschrittlichere amerikanische Bauindustrie und behauptete, dass deren „Vorsprung [...] nur dann eingeholt werden [kann], wenn auch die Behörden die Arbeiterschutzbestimmungen in möglichst wenig engherziger Weise anwenden und damit auch dazu beitragen, unsere Arbeiter zu größerer Achtsamkeit und selbstständiger Beurteilung etwaiger Gefährdung zu erziehen.“⁴ Beim Bau der Jahrhunderthalle ist diese Theorie erfreulicherweise aufgegangen; es ist zu keinem Unfall in Verbindung mit der Hebeanlage gekommen.

Die Karussellkabelbahn bestand aus zwei 14 m hohen mobilen Türmen, die sich auf einer ringförmigen Gleisanlage mit 190 m Durchmesser und 8,5 m Spurweite, im Vollkreis um einen gemeinsamen Mittelturm bewegen konnten. Der 52 m hohe Gerüstturm im Zentrum des Bauwerks diente gleichzeitig als Hauptzugang der Hilfsgerüste im inneren der Kuppel. Von der Spitze des Mittelturms waren Tragseile zu den beiden mobilen Türmen gespannt und dort mit einem Betongewicht verankert. Zwei Rollwagen, die sich auf einem Schienenkranz auf der obersten Plattform bewegten, ermöglichten das ungehinderte Drehen der Tragseile um den Königszapfen und gewährleisteten gleichzeitig eine klare Kraftübertragung auf den Turm.

Obwohl es einfacher gewesen wäre den Mittelturm als Stahlfachwerk auszuführen, entschied man sich bei diesem temporären Hilfsbauwerk für eine kostengünstigere Holzkonstruktion. Der Turm wurde auf eingerammten Holzpfehlern errichtet und mit Drahtseilen stabilisiert, die von der Spitze und der halben Höhe zu den vier Fundamenten der Hauptpfeiler abgespannt wurden. Auch die beiden mobilen Türme waren überwiegend aus Holz, nur die untere Plattform wurde zur Aussteifung als Eisenkonstruktion hergestellt.

Der Führerstand befand sich auf mittlerer Höhe der fahrbaren Türme. Von dieser Position aus konnte der Kranführer das gesamte Tragseil überblicken und die Fahrbewegung der Laufkatzen sowie das Heben der Lasten steuern. Angetrieben wurde die Kabelbahn durch Elektromotoren, deren Stromversorgung über eine Schleifleitung entlang des äußeren Umfangs der Gleisanlage erfolgte. Die beiden Kabelbahnen arbeiteten grundsätzlich unabhängig voneinander und konnten jeweils eine reguläre Last von 1 600 kg sowie eine Maximallast von 2 500 kg heben. Bei Bedarf war es aber auch möglich die beiden Türme nebeneinander zu positionieren und so die doppelte Last zu heben.

³ vgl. Trauer, Gehler 1914, S. 63-66; o. V. Bauinstallationen für die Jahrhunderthalle in Breslau 1914

⁴ Trauer, Gehler 1914, S. 66.



Abb. 5.2: Mobiler Kabelbahn-Turm

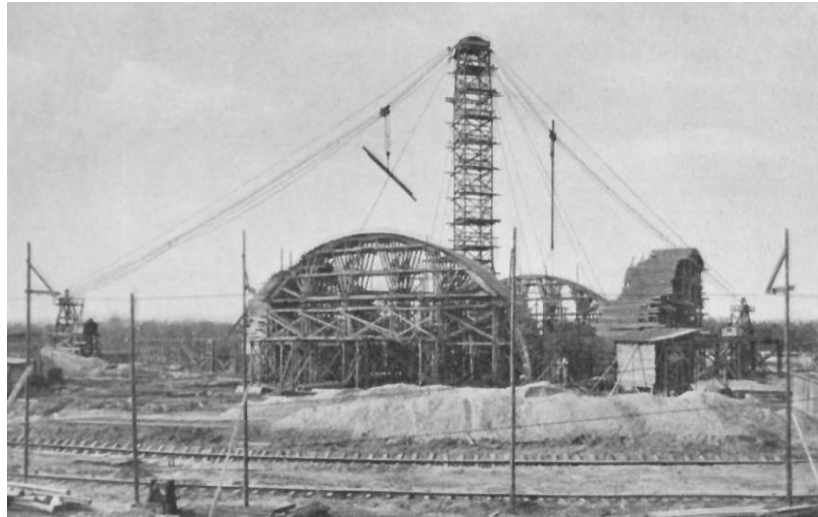


Abb. 5.3: Karussellkabelbahn beim Aufstellen des Lehrgerüsts der Hauptbögen

Die Steigung des Tragseils betrug 1:3 und war im Vergleich zu anderen Kabelbahnen jener Zeit besonders groß. Mit einem 32 PS starken Motor ausgestattet, konnte eine maximale Fahrgeschwindigkeit der Laufkatzen von 90 m/min bzw. eine Hubgeschwindigkeit von 30 m/min erzielt werden. Dies ermöglichte eine Betonförderleistung von bis zu 10 m³ pro Stunde. Die Winden waren so konstruiert, dass das Senken und Abwärtsfahren ohne Strom möglich war. Notfalls konnte auch das Versetzen der Türme manuell erfolgen.

Die Überlastung des Mittelturmes wurde durch eine ausgefallene Lösung verhindert: Das Gegengewicht der fahrbaren Türme war so bemessen, dass der Turm bei Überschreitung der zulässigen Last von der äußeren Schiene abhob. Durch den vergrößerten Seildurchhang verringerte sich die horizontale Kraftkomponente und das statische Gleichgewicht stellte sich wieder ein. Beim Versetzen der schweren Stämme für das Gerüst wurden die Kranführer zu Beginn der Bauarbeiten mehrmals zur Vorsicht gemahnt, als die äußeren Räder der mobilen Türme um bis zu einen halben Meter vom Boden abhoben.

5.2 Bauablauf

Die scharfe Teilung der Gesamtkonstruktion in Unterbau und Kuppel reduzierte nicht nur die Komplexität des Tragwerks, sie brachte auch gewisse Vorteile bei der Bauausführung. Einerseits war dadurch die statische Bestimmung der einzelnen Bauzustände wesentlich einfacher, andererseits konnte der Unterbau dank der klaren Trennung als eigenständiges Bauteil weitgehend unabhängig von der Kuppel ausgeführt werden. So war es möglich das Rüst- und Schalholz rasch wiederzuverwenden und den Apsidenraum für die Ausbauarbeiten, beispielsweise die Errichtung der Tribünen und Balkone, möglichst frühzeitig zugänglich zu machen. Für den gesamten Bauablauf wurde im Vorhinein ein klares Bauprogramm aufgestellt, das zur zügigen Ausführung der Bauarbeiten wie auch zur Kostenreduktion beitrug.⁵

⁵ vgl. Trauer, Gehler 1914, S. 69.

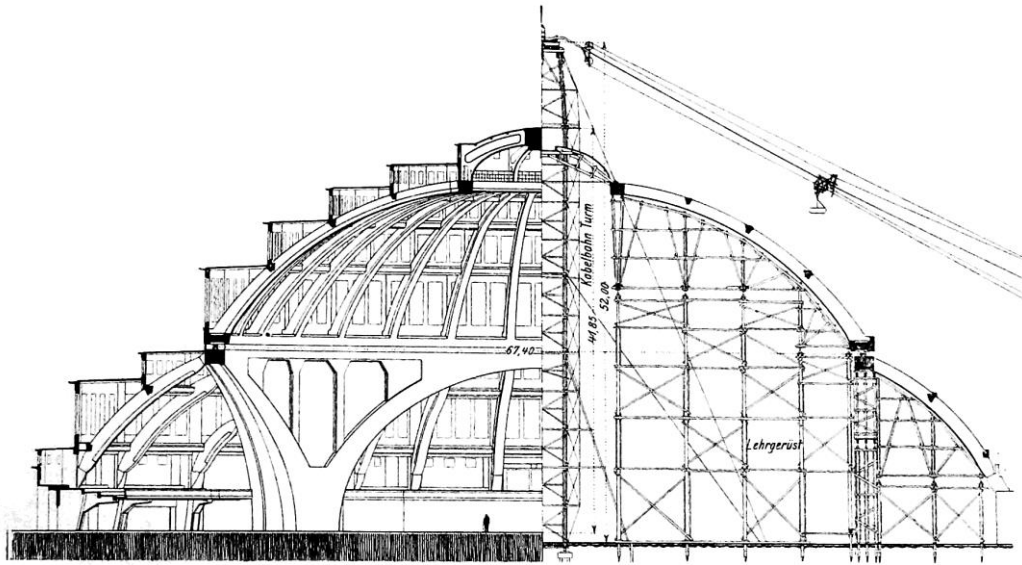


Abb. 5.4: Längsschnitt: Bauwerk und Lehrgerüst samt Kabelbahn-Turm

5.2.1 Ausführung des Unterbaus

Der erste Spatenstich bei der Errichtung der Jahrhunderthalle erfolgte am 31. August 1911⁶. Im Zuge der Erdarbeiten erfolgte das Absenken des Grundwassers mit Hilfe von Rohrbrunnen. Die Bodenfügen der Fundamentunterseite wurden so ausgebildet, dass sie normal auf die errechneten resultierenden Kräfte der Gründungskörper orientiert waren.⁷ Die Betonierarbeiten der Fundamente begannen am 12. Oktober⁸ und dauerten einen Monat⁹.

Im April 1912 wurden das hölzerne Gerüst sowie die Schalung der vier Pfeiler und Hauptbögen des Unterbaus errichtet¹⁰. Gerüst- und Schalungselemente wurden üblicherweise liegend gefertigt und anschließend mit Hilfe von Winden aufgerichtet. Obwohl der Unterbau im Grundriss zylinderförmig ausgebildet ist, wurde das Lehrgerüst der einzelnen Bögen geradlinig aufgestellt. Abgestützt wurde es zusätzlich vom Gerüst der Strebebögen.

Die Längsbewehrung der vier Hauptbögen wurde parallel zu den vier gekrümmten Seitenflächen verlegt. Die Verankerung der Bewehrung erfolgte grundsätzlich indem kleine Haken an den Enden der Bewehrungsstäbe mit ausgebildet wurden. Aufgrund des großen Querschnitts war in den Hauptbögen und -pfeilern keine Bügelbewehrung vorgesehen. Um das Abplatzen der Betondeckung zu verhindern wurden die Bewehrungsstäbe an der Innenseite der Bögen mit 50 cm langen, s-förmigen Bügeln im Betonkörper verankert.

Die Hauptbögen wurden mit der sogenannten Lamellen- oder Streifenteilung betonierte, wie es sonst bei gewölbten Betonbrücken üblich war. Bei dieser Vorgehensweise wurde jeder Bogen in 13 Abschnitte geteilt. Um ein möglichst frühzeitiges Setzen der hölzernen Hilfskonstruktion zu bewirken, wurden zunächst nur jene Teile betonierte, die über den Stützen des Lehrgerüsts lagen.

⁶ Berg 1913, S. 466.

⁷ vgl. Trauer, Gehler 1914, S. 67.

⁸ *Vom Bau der städtischen Festhalle*. Schlesische Zeitung, 30.1.1912 zit. n. Ilkosz 2006, S. 131.

⁹ Berg 1913, S. 466.

¹⁰ *Vom Bau der Festhalle*. Schlesische Zeitung, 10.4.1912 zit. n. Ilkosz 2006, S. 131.

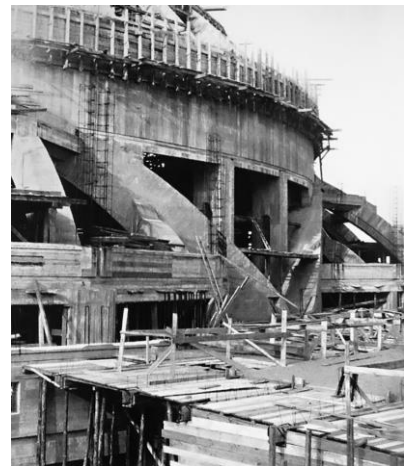
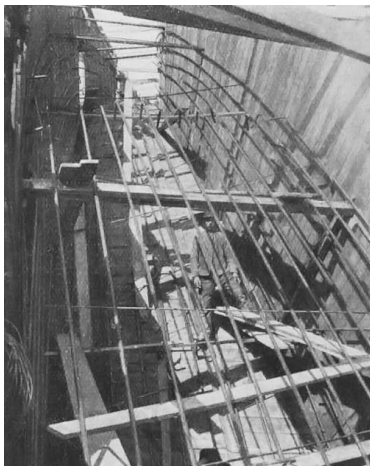


Abb. 5.5 (li.): Schalung und Bewehrung eines Hauptbogens

Abb. 5.6 (m.): Lagerschalen der Strebebogen-Gelenke

Abb. 5.7 (re.): Ausgeschalteter Unterbau: Windrahmen, Hauptbögen und Strebebögen samt Aussteifungen

Anschließend führte man die dazwischenliegenden Abschnitte aus und zuletzt das Schlussstück im Scheitel.¹¹ Die Arbeiten an den Hauptbögen waren Mitte Juni 1912 abgeschlossen¹².

Die Errichtung der Konstruktion der Apsiden begann mit der Herstellung der senkrechten Pfeiler. Anschließend wurden darauf die Auflager der Strebebinder gefertigt. Der Raum für die dazwischenliegenden Kugelgelenke wurde zunächst mit Holzkästen ausgespart. Erst nach Fertigstellung der Binder wurden die Stahlgussschalen (siehe Abb. 5.6) eingeschoben. Der obere Teil der Kopfgeelenke wurde bereits bei der Errichtung der Hauptbögen mitgefertigt. Ein Verrücken der Gelenke während der Bauarbeiten wurde durch Rundeisenanker verhindert, die erst kurz vor dem Ausrüsten durchtrennt wurden.

Die Betonierarbeiten der Strebebögen erfolgten Ende Juni 1912¹³ (siehe Abb. 5.8). Um eine gute Verbindung mit den später ausgeführten Aussteifungselementen zu erzielen, wurden 2,5 m lange Bewehrungsstangen in die senkrechten Seitenflächen der Binder einbetoniert und 5 cm tiefe Aussparungen vorbereitet. Außerdem wurden die Anschlussstellen für die Pfeiler der Aufbauten stufenartig ausgebildet.¹⁴

Nach der Fertigstellung der Apsiden wurde das Tragwerk zwischen den Hauptbogenscheiteln, der sogenannte Windrahmen, ausgeführt. Der Rahmen besteht aus vier Stielen; die beiden mittleren sind im Hauptbogen eingespannt, die äußeren besitzen gelenkige Auflager. Die Formgebung des zylindrischen Wälzgelenks erfolgte mittels Papierstreifen, die in verschiedenen Schichtdicken von bis zu 4 mm Stärke übereinander gelegt wurden. Der Riegel des Windrahmens bildet einen Teil des oberen Abschlussrings des Unterbaus. Zu beiden Seiten schließen die aus den Hauptbogenscheiteln auskragenden Ringelemente an. Die Fugen zwischen den acht Ringsegmenten wurden mit einem Anstrich aus Seifenlauge erzeugt.¹⁵

¹¹ vgl. Trauer, Gehler 1914, S. 66-68.

¹² *Vom Bau der Festhalle in Scheitnig*. Schlesische Zeitung, 15.6.1912 zit. n. Ilkosz 2006, S. 131.

¹³ *Vom Werdegang der Festhalle*. Schlesische Zeitung, 28.7.1912 zit. n. Ilkosz 2006, S. 131.

¹⁴ vgl. Trauer, Gehler 1914, S. 68 f.

¹⁵ vgl. Trauer, Gehler 1914, S. 69.

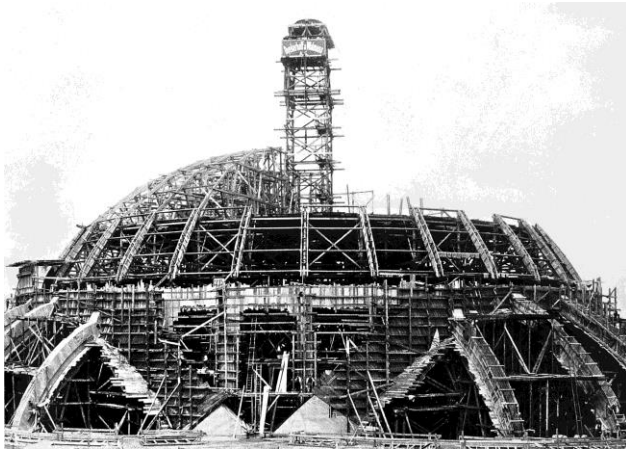


Abb. 5.8 (li.): Ausführung des Unterbaus, Errichtung des Kuppel-Leergerüstes

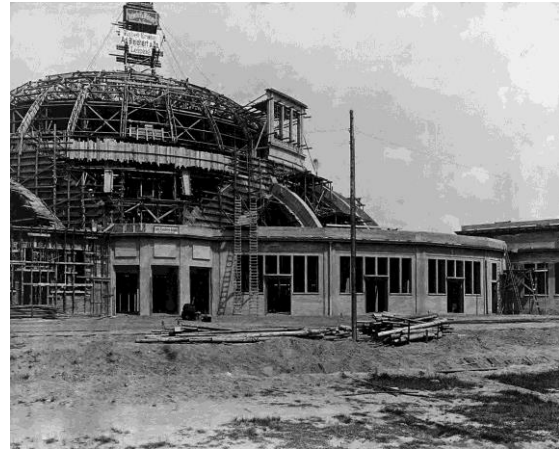


Abb. 5.9 (re.): Bauausführung: Rundgang tlw. im Rohbau fertiggestellt; Kuppelgerüst mit Fassaden-Muster

Die Ausrüstung des Unterbaus durfte aus statischen Gründen erst erfolgen, nachdem die Aufbauten der Apsiden errichtet waren und als günstige Auflast wirkten. Ferner musste auch die Fertigstellung des Zugrings der Kuppel abgewartet werden, um keine ungünstigen Belastungen auf die Hauptbögen wirken zu lassen. Beim Ausrüsten wurden schrittweise abwechselnd die Gerüstspindeln von zwei gegenüberliegenden Hauptbögen gleichzeitig gelöst. Dadurch wurde eine gleichmäßig verteilte und langsam steigende Belastung der Konstruktion sichergestellt. Trotz sorgfältiger Messungen konnten beim Absenken des Gerüsts keine Verschiebungen des Tragwerks beobachtet werden.¹⁶

5.2.2 Ausführung der Rippenkuppel¹⁷

Laut Willy Gehler wurde auf „die sorgfältige Ausbildung [.. des] Zugrings, der gewissermaßen das Widerlager der Kuppel bildet und von den Windkräften auch auf Biegung beansprucht wird, [...] das größte Gewicht gelegt.“¹⁸ Das Kernstück des Zugrings, die genieteten Strebenfachwerke, wurde zunächst auf Betonklötzen errichtet (siehe Abb. 5.10), die in weiterer Folge mit einbetoniert wurden. Um einen besseren Verbund mit der Betonummantelung zu erzielen, wurden an den Außenflächen der Fachwerksgurte s-förmige Bügel angebracht. Mit dem Zugring wurden gleichzeitig auch die Anschlussstücke der Kuppelrippen hergestellt. Die Betonierarbeiten wurden in acht durch Fugen getrennten Ringstücken durchgeführt, wobei mit jenen vier Segmenten begonnen wurde, die über den Scheiteln der Hauptbögen liegen.

Das 37 m hohe Lehrgerüst der Kuppel wurde auf Holzpfählen errichtet und bestand aus 32 ebenen Gerüstwänden, die entsprechend den Kuppelrippen radial angeordnet waren. Entlang jeder Rippe gab es fünf Gerüstspindeln, die in zwei horizontalen Ebenen angeordnet wurden. Zum Arbeitsschutz wurde die Arbeitsfläche dieser beiden Ebenen mit einer dichten Abdeckung versehen. Um die Formänderung des Gerüsts während des Betonierens der Rippenkuppel zu minimieren, wurde es der Masse des späteren Tragwerks vorbelastet. Mit Hilfe einer Motorwinde und der Kabelbahn brachte man hierfür insgesamt 2 000 Sandsäcke zu je 100 kg am Kuppelgerüst

¹⁶ vgl. Trauer, Gehler 1914, S. 69.

¹⁷ vgl. Trauer, Gehler 1914, S. 66 f, 70-73.

¹⁸ Trauer, Gehler 1914, S. 70.



Abb. 5.10: Montage des Zugrings



Abb. 5.11: Bewehrungsarbeiten am Druckring

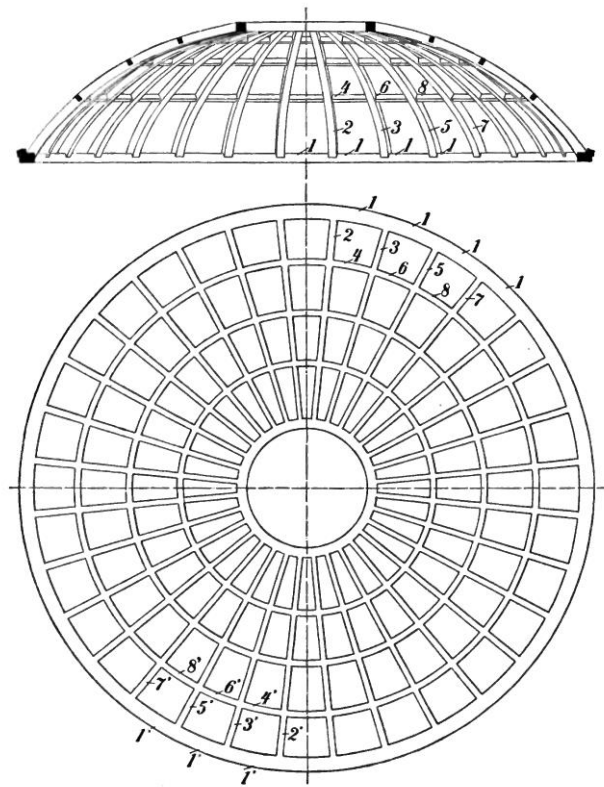


Abb. 5.12: Betonierreihenfolge der Rippenkuppel

unterhalb des Druckrings an und verteilte noch einmal die gleiche Menge ringförmig unterhalb der Kuppelrippen in den Viertel- und Dreiviertelpunkten ihrer Stützweite. Im Laufe der

Betonierarbeiten ließ man entsprechend Sand aus den Säcken ausrieseln, um die Belastung des Lehrgerüsts konstant zu halten. Gehler zufolge handelte es sich hierbei um eine effektive und kostengünstige Maßnahme zur Vermeidung von Zugrissen im jungen Beton.

Der Betoniervorgang der Rippenkuppel erfolgte, dem in Abb. 5.12 dargestellten Schema entsprechend, von unten nach oben in immer kleiner werdenden Ringen. Nach der Fertigstellung des Zugrings wurden zunächst die beiden Rippenstücke 2 und 3 betoniert, anschließend das Verbindungsstück 4. Um jede Meridianebene symmetrisch zu belasten, wurden gleichzeitig die entsprechenden Abschnitte (2', 3' und 4') des Aussteifungsrings auf der gegenüberliegenden Seite ausgeführt. Daraufhin wurden die Rippenstücke 5 und 6 sowie 5' und 6' betoniert. Diesem Prinzip folgend schloss man die einzelnen Ringe der Kuppel nacheinander bis zum Druckring. Nach hinreichender Erhärtung des Betons war jeder Ring in der Lage sich selbst zu tragen. Dies brachte den Vorteil, dass das Eigengewicht möglichst rasch von der Konstruktion selbst aufgenommen und somit das Lehrgerüst entlastet wurde.

Das Betonieren des Zugrings dauerte 4 Tage lang. Für die restliche Kuppel waren 18 Arbeitstage notwendig, wobei der Druckring nur einen Tag in Anspruch nahm. Die Fertigstellung des Kuppeltragwerks wurde am 1. September 1912 mit dem Richtfest gefeiert¹⁹.

¹⁹ vgl. *Vom Bau der Festhalle*. Schlesische Zeitung, 1.10.1912 zit. n. Ilkosc 2006, S. 131.

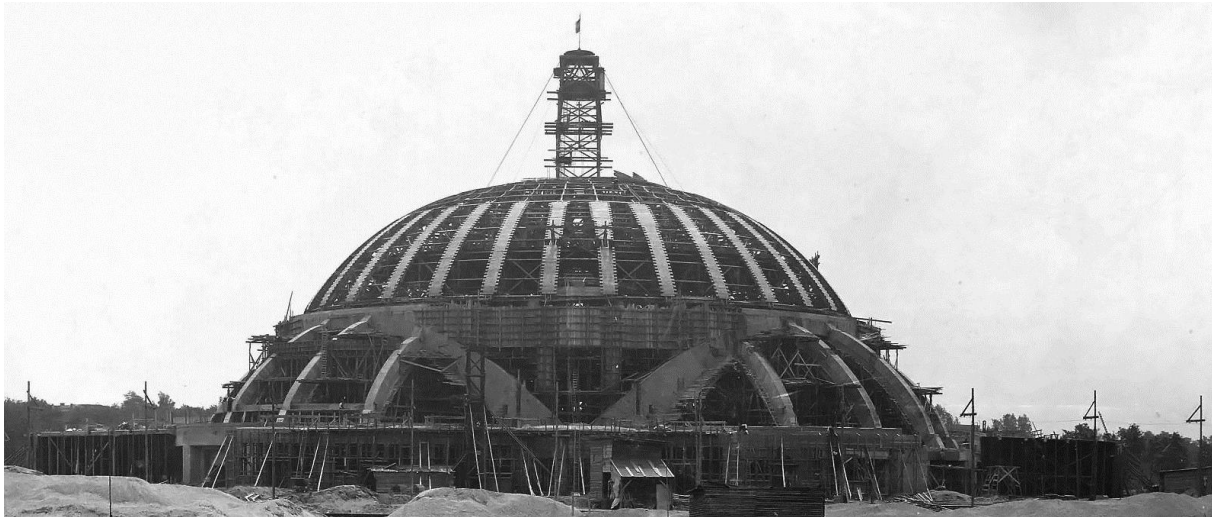


Abb. 5.13: Rippenkuppel, bis zum mittleren Aussteifungsring betoniert; Unterbau-Primärtragwerk großteils ausgeschalt

5.2.3 Ausführung der Laterne und Kuppelaufbauten²⁰

Die Laterne und Kuppelaufbauten wurden im Herbst 1912 errichtet. Um das Ausrüsten der Kuppel nicht zu verzögern, wurde das Schalungsgerüst der Laterne als Sprengwerk direkt am Druckring befestigt. Für eine günstige Belastung dieser Hilfskonstruktion wurde zuerst der mittlere Teil der Laterne betoniert, der gewissermaßen den Schlussstein des Bauwerks bildet. Daraufhin wurden die vertikalen Steher ausgeführt, die direkt mit dem Druckring verbunden sind. Das Herstellen der vier Rahmenbinder wurde dadurch erschwert, dass sie durch den Mittelturm der Kabelbahn geführt werden mussten, denn diese wurde erst nach Fertigstellung der Kuppelaufbauten abgebaut.

Die schlanken Fenstersäulen der Kuppelaufbauten wurden als Fertigteile mit entsprechenden Bewehrungsanschlüssen direkt ins Parapet einbetoniert. Beim Betonieren der waagrechten Ringdecken wurden auf die Schalung 3 cm dicke Korkplatten gelegt. Diese blieben beim Ausschalen an der Unterseite der Deckenplatten haften. Sie sollten die Raumakustik verbessern sowie der Wärmeisolierung dienen. Im Vorhinein durchgeführte Versuche hatten erwiesen, dass eine gesonderte Befestigung der Platten nicht notwendig war. Der ursprüngliche Dachaufbau sah ansonsten keine thermische Isolierung vor. Die markanten Dachrinnen wurden ebenfalls aus Stahlbeton hergestellt. Anstelle der damals üblichen Zinnabdeckung wurden für die Abdichtung von Dachflächen und Entwässerungsrinnen kostengünstigere Bitumenbahnen verwendet.

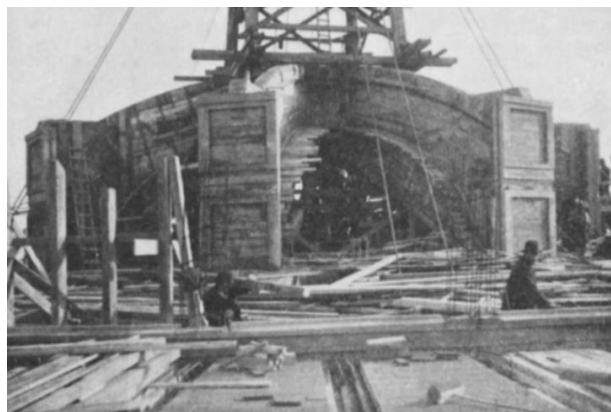


Abb. 5.14: Ausgeschalteter Laternen-Rahmen; Vorbereitungen für die Errichtung der Aufbauten

²⁰ vgl. Ilkosz 2006, S. 131 f; Trauer, Gehler 1914, S. 73 f.

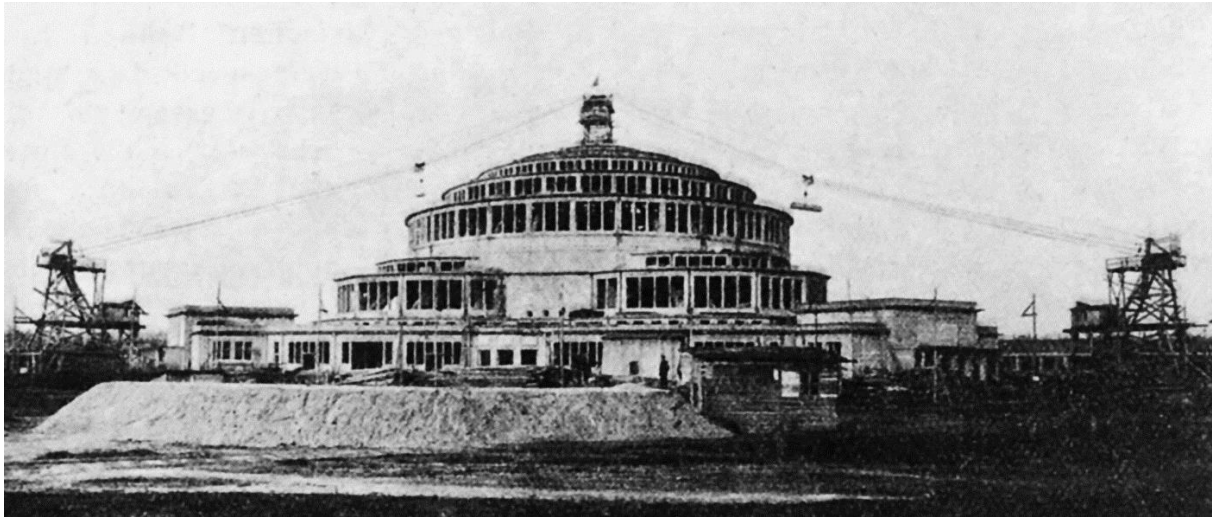


Abb. 5.15: Rohbau kurz vor Fertigstellung

5.2.4 Absenkung des Lehrgerüsts

Die neuartige Bauweise der Jahrhunderthalle und die Kühnheit ihrer modernen Konstruktion waren allen Beteiligten bewusst. Die Ausrüstung der Kuppel wurde mit Spannung erwartet – umso als sogar einige Fachleute an der Zuverlässigkeit des Tragwerks zweifelten. Das Absenken des Lehrgerüsts erfolgte nach Fertigstellung sämtlicher Aufbauten am 19. Dezember 1912²¹.

Als die Konstruktion erstmals ihre Tragfähigkeit unter Beweis stellen musste, sollen Paul Heim zufolge die Bauarbeiter gezögert haben das Gerüst abzusenken. Von dem Breslauer Architekten und langjährigen Mitarbeiter Max Bergs ist folgende Anekdote von überliefert: Da Max Berg es allein nicht schaffte die erste Spannschraube zu lösen, ging er auf die Straße und bot einem Passanten eine Goldmark, um dies mit ihm gemeinsam zu bewerkstelligen. Daraufhin seien die Arbeiter in die Halle zurückgekehrt und hätten mit der Ausrüstung begonnen.²²

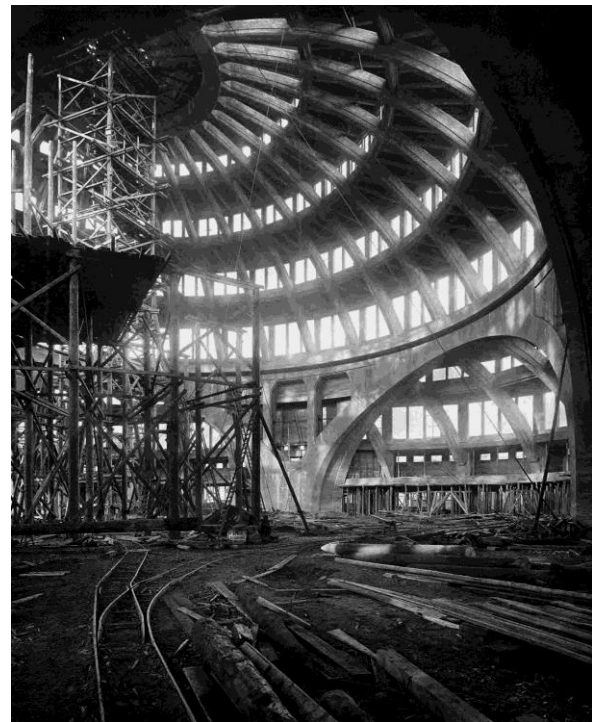


Abb. 5.16: Ausgerüstete Kuppel vor der Demontage des Kabelbahn-Turmes

²¹ vgl. o. V. Die Fortschritte des Massivbaues in Spannweite 1913, S. 61.

²² Michael Berg 1989 zit. n. Ilkosz 2006, S. 132.



Abb. 5.17: Zentralraum im Rohzustand



Abb. 5.18: Apsidenraum im Rohzustand

Die Gerüstschauben wurden in einer bestimmten Abfolge, entsprechend der zu erwarteten Biegelinie, an allen Rippen gleichzeitig gelockert²³. Beim Absenkvorgang kam es zu keinerlei Zwischenfällen und das Tragwerk verhielt sich so, wie es theoretisch errechnet worden war²⁴. Zur genauen Beobachtung der Senkung von Kuppel und Unterbau sowie der horizontalen Verschiebungen am Zugring wurden zahlreiche Feinmessgeräte an der Konstruktion montiert.

Die vertikale Verschiebung des Druckrings betrug 15 mm. Die Scheitel der Hauptbögen senkten sich um 5 mm. Die radiale Verschiebung der Kuppellager betrug 3,8 mm* und kam somit dem zuvor errechneten Wert von 3,9 mm erstaunlich nahe.²⁵

Während der gesamten Bauzeit wurden auch die Fundamente durch Feinnivellement an insgesamt 72 Stellen beobachtet. Wie prognostiziert waren die Setzungen relativ gleichmäßig verteilt – sie betrugen 6 bis 10 mm.²⁶

²³ vgl. Trauer, Gehler 1914, S. 74.

²⁴ vgl. o. V. Die Fortschritte des Massivbaues in Spannweite 1913, S. 61.

* Angaben in der Zeitschrift BETON U. EISEN weichen in dieser Beziehung geringfügig ab, die Vergrößerung des Zugringdurchmessers wird hier mit 9 mm beziffert.

²⁵ vgl. Trauer, Gehler 1914, S. 74.

²⁶ vgl. o. V. Die Fortschritte des Massivbaues in Spannweite 1913, S. 61.



Abb. 5.19: Baumannschaft vor dem fertigen Tragwerk der Jahrhunderthalle

5.4 Bauübergabe

Am 20. Dezember 1912, sechs Wochen vor dem vertragsmäßigen Termin, übergab die Firma Dyckerhoff & Widmann AG den Rohbau der Stadt Breslau. Dem ausführenden Unternehmen war es gelungen das eindrucksvolle Bauwerk innerhalb von nur knapp 16 Monaten fertigzustellen. Willy Gehler meinte, diese beachtlich kurze Bauzeit sei nur durch den Einsatz innovativer Technologien, der harmonischen Zusammenarbeit zwischen ausführendem Unternehmen und Bauverwaltung sowie der großen Sorgfalt bei Entwurf und Baudurchführung möglich gewesen.

Für die vorzeitige Vertragserfüllung erhielt die Firma Dyckerhoff & Widmann AG eine Prämie von 10 000 Mark. Dies war der Maximalbetrag der Belohnung, die mit 300 Mark pro Tag festgelegt worden war und der eine Verzugsstrafe von täglich 500 Mark gegenüberstand.²⁷ Die Baukosten, ohne den später erfolgten provisorischen Innenausbau, betrugen 2 394 000 Mark²⁸.

²⁷ vgl. Trauer, Gehler 1914, S. 74.

²⁸ Hersel 1987, S. 316.

TEIL II

BAUZUSTANDSANALYSE DER JAHRE 2007 UND 2008

Seit Fertigstellung der Jahrhunderthalle im Jahr 1913 wurde bis zum Beginn des 21. Jahrhunderts niemals eine umfassende Instandsetzung des Bauwerks vorgenommen. Es wurden ausschließlich akute Schäden ausgebessert, meist lokal und zum Teil unsachgemäß. Vor allem in der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts führte die Vernachlässigung der Instandhaltung zusehends zu einer Degradierung der Bausubstanz. Bereits 1987 schrieb Otmar Hersel in einem Artikel der Zeitschrift BETON- UND STAHLBETONBAU zum 75-jährigen Jubiläum der Jahrhunderthalle, dass die Fassade deutliche Spuren ihres Alters aufweise und meinte: „Es wäre diesem Meilenstein der Baukunst zu wünschen, daß bald Maßnahmen zur Erhaltung und Auffrischung ergriffen würden [...]“¹



Abb. II.5.20: Die Jahrhunderthalle vor ihrer Instandsetzung im Jahr 2009

¹ Hersel 1987, S. 317.

Zu Beginn des 21. Jahrhunderts befand sich die Jahrhunderthalle augenscheinlich in einem derart schlechten Zustand, dass eine grundlegende Sanierung unumgänglich wurde. Als Vorbereitung zur Instandsetzung hat der Betreiber der Jahrhunderthalle, Wrocławskie Przedsiębiorstwo Hala Ludowa Sp.z o.o., eine detaillierte Untersuchung des Bauwerks in Auftrag gegeben. Diese Bauzustandsanalyse wurde von August 2007 bis Jänner 2008 unter Leitung von Marian Persona durchgeführt und umfasste eine baugeschichtliche Recherche, Baustoffuntersuchungen, die Dokumentation von Schäden und Mängeln sowie die statische Überprüfung ausgewählter Tragelemente. Auf den Untersuchungen basierend, wurde ein zweiteiliges Gutachten* über den bautechnischen Zustand der Jahrhunderthalle samt Empfehlungen zur Instandsetzung erstellt. Es bildet die Grundlage für die umfangreichen Sanierungsmaßnahmen der darauffolgenden Jahre.

* *Gutachten über den technischen Zustand der Jahrhunderthalle in Breslau*; Originaltext in polnischer Sprache: Teil I - Allgemeine Informationen sowie die primären Tragwerkselemente der Kuppel, des Unterbaus und des Rundgangs (Persona 2008); Teil II - Fassadenwände und Flachdächer (Persona 2007)

Kapitel 6

Charakteristische Schäden und ihre Ursachen

Viele Schäden an der Jahrhunderthalle resultieren vorwiegend aus dem hohen Alter und der langen Nutzungsdauer des Bauwerks. Vom heutigen Stand der Technik ausgehend, wurden bei der Planung und Ausführung in mancherlei Hinsicht allerdings auch Grundsätze befolgt, die in Hinblick auf die Dauerhaftigkeit der Bausubstanz als mangelhaft angesehen werden müssen. Die Jahrhunderthalle wurde in den Jahren 1911-1913 als eines der ersten Stahlbetonbauwerke dieser Größenordnung errichtet. Fehler bei der Ausbildung konstruktiver Details des Tragwerks ergaben sich naturgemäß daraus, dass es sich beim Eisenbeton um einen relativ neuartigen Baustoff handelte und das Wissen darüber noch nicht ausreichend fundiert war (vgl. Kap. 4.3). Die untenstehend angeführten Baufehler sind somit auch für die meisten anderen Stahlbetonbauwerke jener Zeit charakteristisch.

Bei der Jahrhunderthalle wurden ansonsten nur wenige Baumängel festgestellt. Dies zeugt von einem fundierten Ingenieurverständnis und der gewissenhaften Arbeit jener Fachleute, die an der Errichtung beteiligt waren. Die revolutionäre Bauweise und die innovativen konstruktiven Lösungen machten die Jahrhunderthalle zu einem Meilenstein in der Entwicklung der Stahlbetonbauweise. Sie waren dafür ausschlaggebend, dass der Monumentalbau 2006 in die Liste des UNESCO Weltkulturerbes aufgenommen wurde (vgl. Anh. C).

6.1 Betontechnologische Schadensursachen¹

Mit Ausnahme der Auflager zwischen Kuppel und Unterbau bestehen alle Konstruktionselemente der Jahrhunderthalle aus Stahlbeton. Sowohl die Planer als auch die beauftragten Firmen legten großen Wert auf eine hohe Güte der verwendeten Baustoffe und trafen zahlreiche Maßnahmen zur Qualitätssicherung.

Im vergangenen Jahrhundert hat die Betontechnologie eine immense Entwicklung erfahren. Daher ist ein direkter Vergleich des Betons der Jahrhunderthalle mit jenem Beton der heute verwendet wird, nur bedingt möglich. Untersuchungen ergaben, dass der Beton der Jahrhunderthalle vergleichsweise sehr inhomogen und grobporig ist. Gründe dafür sind vorwiegend eine nicht optimale Wahl der Sieblinie, ein zu hoher W/Z-Wert und eine unvollständige Verdichtung des Betons. Nach aktuellem Stand der Technik wäre der damals eingebaute Beton einer eher niedrigen Güte zuzuordnen. Neben den geringeren Festigkeitswerten, bedeutet dies vor allem, dass Karbonatisierung und Verwitterung schneller voranschreiten als bei aktuell üblichem Beton.

¹ vgl. Persona 2008, S. 44; 2007, S. 33 f.

6.1.1 Auswirkungen einer unpassenden Sieblinie

Der Beton der Jahrhunderthalle wurde, wie zu jener Zeit allgemein üblich, vorwiegend per Hand mit Hilfe von Stampfen verdichtet. In Verbindung mit einer nicht optimal gewählten Sieblinie führte dies zur vermehrten Entstehung von Kiesnestern (siehe Abb. 6.1) und einer erhöhten Haufwerksporosität des Betons.²

6.1.2 Folgen von Überschusswasser im Frischbeton

Beim Verdichten von Frischbeton kommt es zu einer Absonderung des Überschusswassers. Damit einhergehend findet auch eine Sedimentation und Entmischung des Betongefüges statt. Das freigesetzte Wasser sammelt sich an der Oberfläche, es verdunstet beim Erhärten und Austrocknen und hinterlässt eine poröse Betonoberfläche. Die Vergrößerung der Oberfläche macht den Baustoff anfälliger für chemische und physikalische Einwirkungen. Dieser Umstand ist besonders an den Außenflächen gravierend, wo der Sichtbeton aggressiven Gasen und Flüssigkeiten der Atmosphäre direkt ausgesetzt ist und den größten Temperaturschwankungen unterworfen wird.³

6.1.3 Erschwerter Einbau durch wechselnde Betonrezepturen

Je nach Lage und Beanspruchung der Betonelemente sahen die Planer der Jahrhunderthalle unterschiedliche Betonmischungen vor. In einigen Fällen variierten die Mischungsverhältnisse auch innerhalb eines Bauteils (vgl. Kap. 4.4.1), wodurch der Einbau und die Verdichtung des Betons wesentlich erschwert wurden. Die Inhomogenität der Betonzusammensetzung betrifft vorwiegend massige Bauelemente wie die Pfeiler und Hauptbögen des Unterbaus. Deren Kerne weisen zum Teil große Hohlräume im Betongefüge auf.

6.2 Planungsbedingte Schadensursachen⁴

Die folgende Auflistung beschreibt Mängel in Planung der Stahlbetonkonstruktion und deren Einfluss auf die Dauerhaftigkeit des Bauwerks.

6.2.1 Unterdimensionierung des Zugrings

Dem Gutachter zufolge ist der Zugring der Rippenkuppel – obwohl sich die Planer dessen Schlüsselfunktion durchaus bewusst waren – nicht sorgfältig genug bemessen worden. Die statischen Berechnungsmethoden der damaligen Zeit beruhten bereits auf einer fortgeschrittenen Baumechanik, jedoch sollen bei der Bemessung der Jahrhunderthalle Fehler bei den Belastungsannahmen gemacht und Berechnungsmodelle inkorrekt vereinfacht worden sein.

Dies führte zu falsch ermittelten Biegemomenten des Zugrings und in weiterer Folge zu einer Unterdimensionierung dieses wichtigen Tragelements. Zudem wurde das Fehlen von schlaffer Bewehrung in der Betonummantelung des Zugrings festgestellt. Diese hätte einen fachgerechten Verbund beider Baustoffe sichergestellt und die Entstehung zahlreicher Betonrisse verhindert.

² vgl. Doose 2008, S. 39.

³ vgl. Weber 2013, S. 24-26.

⁴ vgl. Persona 2008, S. 44 f, 52.



Abb. 6.1: Betonoberflächendetail der Westseite der Nordeingangsaufbauten: Kiesnest, Auswaschungen und Riss.

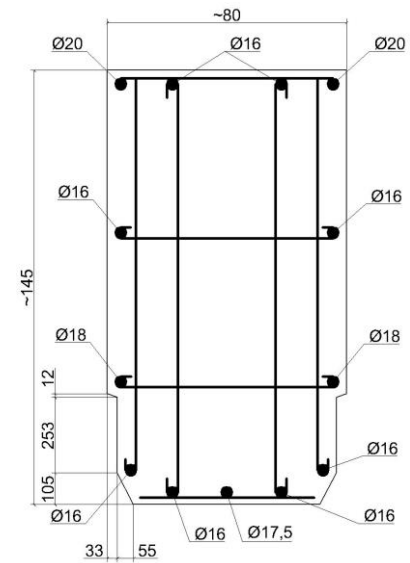


Abb. 6.2: Schematische Darstellung der Kuppelrippen-Bewehrung

6.2.2 Vernachlässigung lastbedingter Verformungen des Druckrings

Verformungen des Druckrings wurden bei der Bemessung der Laternenkonstruktion nicht angemessen berücksichtigt, wodurch die statischen Ergebnisse teilweise stark von der Realität abweichen. Die zu geringe Bemessung der Querschnitte führte zu Spannungskonzentrationen und einem lokalen Versagen der Konstruktion. Dieser Mangel musste bereits wenige Jahre nach Fertigstellung der Jahrhunderthalle behoben werden. (siehe Kap. 8.3.1)

6.2.3 Mangelhafte Bemessung, Ausbildung und Anordnung von Bügelbewehrung

Als die Jahrhunderthalle errichtet wurde, war das Wissen über Schub- und Torsionsspannungen sowie das Mitwirken der Bügelbewehrungen zur Ableitung dieser Kräfte noch nicht ausgereift. Für viele konstruktive Elemente ist daher das Fehlen oder die mangelhafte Bemessung der Querkraftbewehrung charakteristisch. Die vorgesehene Bügelbewehrung wurde als Hakenbügel ausgeführt und umfasst selten den gesamte Querschnitt (siehe Abb. 6.2 bzw. Anh. A). Die Abstände der Bügel sind in den Bauunterlagen oft nicht genau vorgegeben. Sie wurden meist unregelmäßig und mit zu großen Abständen verlegt.

6.2.4 Unzureichende Berücksichtigung von Formänderungen des Betons

Eine häufige Schadensursache waren die nicht bzw. nur zu wenig berücksichtigten Formänderungen des Betons aufgrund von Schwinden sowie durch Temperatur- und Feuchtigkeitseinflüsse. Dies führte vor allem an den Fassadenwänden zu zahlreichen Spannungsrissen.



Abb. 6.3 (li.): Vordach eines Nebeneingangs zum Rundgang (Fluchtweg): Typ. Schadensbild aufgrund zu geringer Betondeckung der Bewehrung: Betonabplatzungen und freiliegende Bewehrung; Die Stützen der Fensterwand weisen Risse entlang ihrer Kanten auf (li. Stütze). Farbbeschichtung bzw. Flecken insb. an mittlerer Stütze sichtbar.

Abb. 6.4 (re.): Fragment einer Fensterstütze mit verwitternder unsachgemäßer Altsanierung der 80er-Jahre. Rissbildung entlang linker Kante.

6.2.5 Fehlen von Oberflächenbewehrung massiger Bauteile

In den massiven Stahlbetonelementen wurde häufig das Fehlen von Oberflächenbewehrung festgestellt. Heutzutage würde solch ein Mangel beinahe unweigerlich zur Entstehung von Schwindrissen führen. Bei der Jahrhunderthalle konnte solch eine Auswirkung jedoch nicht festgestellt werden. Die Gründe dafür liegen wahrscheinlich vorwiegend darin, dass der damals eingebaute Beton eine niedrigere Hydratationswärme entwickelte. Vorteilhaft wirkte sich außerdem die sorgfältige Nachbehandlung aus.

6.3 Ausführungsbedingte Schadensursachen⁵

Als Mängel der Ausführung stellte Marian Persona unzureichende Sorgfalt bei der Betonverarbeitung sowie unsachgemäße Verlegung der Bewehrungseisen fest.

6.3.1 Unzureichende Betondeckung der Bewehrung

In den Bauunterlagen der Jahrhunderthalle finden sich keine spezifischen Vorgaben bezüglich einer Mindestbetondeckung. Zur damaligen Zeit wurde die Betondeckung üblicherweise nicht von den Planern, sondern vom ausführenden Unternehmen bestimmt. Der dauerhafte Beton wurde an sich als wirksamer Schutz der Bewehrung angesehen – unabhängig von Umwelteinflüssen oder Dicke der Betondeckung (vgl. Kap. 4.3). Heute ist bekannt, dass Beton dem chemischen Prozess der Karbonatisierung unterworfen ist und eine unzureichende Betondeckung zu einem vorzeitigen Verlust des Korrosionsschutzes der Bewehrung führt (siehe Kap. 6.5.1 und Kap. 6.5.2).

Es wurde festgestellt, dass insbesondere die Betondeckung sekundärer Bauelemente der Jahrhunderthalle, d. h. der Wände und Deckenplatten, sehr stark variiert und – vor allem wenn man die zu heute vergleichsweise geringe Betongüte berücksichtigt – grundsätzlich zu dünn ausgebildet worden ist: Sie beträgt nur zwischen 0,5 und 4,0 cm. Besonders negativ wirkt sich dieser Umstand an den der Witterung ausgesetzten Fassadenwänden aus. (siehe Abb. 6.3 bis Abb. 6.7)

⁵ vgl. Persona 2008, S. 44; 2007, S. 10, 13, 33 f.



Abb. 6.5 (li.): Südseite der Haupteingangs-Aufbauten: Zu geringe Betondeckung und fehlende Bügelbewehrung; geringe Frostbeständigkeit des Betons. Abplatzungen über korrodierter Bewehrung der Fensterstützen; Rissbildung bis Bröckelzerfall; Schalenbildung unsachgemäßer Altsanierung.

Abb. 6.6 (re.): Ähnliches Schadensbild, jedoch weniger stark ausgeprägt, an den Fensterstützen der oberen Fassaden-ebenen (Kuppel und Apsiden). Risse und Betonabplatzungen durch rostende Bewehrung im Kantenbereich, tlw. mit freiliegender Bewehrung. Ablösungen der unsachgemäßen Altsanierung; Farbbeschichtungen. Deutlich sichtbare Kontaktstelle der Fertigteilstütze mit Brüstung; sauber ausgeführt im Gegensatz zum Beispiel in Abb. 6.11.

Abb. 6.7: Zugring und zugebautes externes Stiegenhaus der 1930er-Jahre mit ähnlichen Schäden: Abplatzungen, tlw. mit freiliegender korrodierter Bewehrung; unsachgemäße, sich lösende Reparaturen mittels Kunstharzspachtel; Risse; biogener Aufwuchs der Betonoberfläche.





Abb. 6.8 (li.): Riss durch Arbeitsfuge zwischen Bauteilen unterschiedlicher Dicke, der bis zum Gesims reicht: Li. mit horizontaler Schalung die dünne Verbauung des Windrahmens; re. mit vertikaler Schalung massives Teil des Tragwerks. Versinterungen, Verschmutzung und biogener Aufwuchs der Betonoberfläche.

Abb. 6.9 (re.): Dilatationsfuge mit Kantenabplatzungen der Betondeckung; Füllung aus morschem Kork teilweise einige Zentimeter tief herausgelöst.

6.3.2 Schlecht ausgebildete Fugen

Am gesamten Objekt wurden zahlreiche unsachgemäß ausgeführte Arbeitsfugen festgestellt, die durch Risse, haufwerksporigen Beton, Aufspaltungen und Hohlräume charakterisiert sind (siehe Abb. 6.8). An den betroffenen Stellen verringern solche Mängel zwar die Widerstandsfähigkeit und Dauerhaftigkeit des Betons, in der Regel führen sie aber nicht zu einer Minderung der allgemeinen Tragfähigkeit des Bauteils.

Ebenso sind einige planmäßige Dilatationsfugen nicht sorgfältig hergestellt worden und wiesen nach der langen Nutzungsdauer Kantenabplatzungen auf (siehe Abb. 6.9).

Ferner waren an zahlreichen Verbindungsstellen des Ortbetons mit den dünnen Fenstersäulen klaffende Fugen zu beobachten, die auf einen mangelhaften Einbau der Fertigteile zurückzuführen sind (siehe Abb. 6.11). Außerdem sind einige untypische Fertigteil-Lösungen von Fensterstürzen zu beobachten (siehe Abb. 6.10).

6.3.3 Unsorgfältig verlegte Bewehrung

Im Zuge der Bewehrungsfreilegung (siehe Kap. 7.6) wurde entdeckt, dass die Stahleinlagen in den Unterzügen und Platten der Flachdächer unregelmäßig und ohne die nötigen Abstände zueinander einbetoniert worden sind. Dieser Umstand lässt darauf schließen, dass die genaue Führung der Bewehrungseisen und deren sichere Befestigung in der Schalung vom ausführenden Unternehmen vernachlässigt worden ist.



Abb. 6.10 (li.): Fertigteil-Fenstersturz mit atypischer Lagerung; bis zur Hälfte monolithisch mit Gesims verbunden, zweite Hälfte mit ausgebildeter Dilatationsfuge.

Abb. 6.11 (re.): Unterer Auflagerbereich einer Fertigteil-Fensterstütze: Die unsauber ausgeführte Fuge wurde in den 80er-Jahren mit elastischem Kitt ausgefüllt, der ausgelaufen ist; außerdem wurde der Fußbereich mit einem Bitumen-Anstrich versehen.

6.4 Risse im Beton⁶

Risse im Beton sind Teil des Prinzips der Stahlbetonbauweise und lassen sich grundsätzlich kaum vermeiden. Solange die Rissbreiten gewisse Grenzwerte – im Regelfall ca. 0,3 mm – nicht überschreiten, zählen sie nicht als Schaden oder Mangel. Die Grenzwerte hängen im Wesentlichen mit den Anforderungen an Tragfähigkeit, Korrosionsschutz, Dichtigkeit gegenüber Gasen und Flüssigkeiten sowie den optischen Eindruck der Betonoberfläche zusammen. Eine Überschreitung der zulässigen Rissbreiten kann die Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit von Stahlbetonkonstruktionen beeinträchtigen sowie das Eindringen aggressiver Stoffe ins Bauteilinnere ermöglichen. Auf die Bewehrung wirken sich Risse korrosionsfördernd aus indem sie zu einer Depassivierung des Stahls führen und den Zutritt von Feuchtigkeit und Sauerstoff erleichtern.

An der gesamten Jahrhunderthalle, vor allem an der Fassade, konnten eine Vielzahl unterschiedlicher Ausbildungen von Makrorissen im Beton dokumentiert werden. Folgende Bauelemente waren besonders stark betroffen:

- Fassadenwand des Erdgeschosses
- Aufbauten der vier Eingangshallen
- Außenwände des Windrahmens
- außenliegende Zugringoberfläche
- zugebautes externes Stiegenhaus
- Steher der Laternenkonstruktion

(vgl. Abb. 6.19 bis Abb. 6.15)

Im Folgenden werden die beiden Hauptursachen von Rissen an den Außenwänden der Jahrhunderthalle und deren Schadensbilder beschrieben.

⁶ vgl. Persona 2008, S. 45; 2007, S. 35.



Abb. 6.12 (li.): Spannungsrisse im Bereich einer Fensteröffnung an der Nordwestseite. Typisches Schadensbild im Erdgeschoss. Vertikaler Trennriss mit Fortleitung in den Sockelbereich.



Abb. 6.13 (re.): Spannungsrisse im Bereich einer Fensteröffnung mit Fortleitung ins Gesims. Versinterungen und biogene Beläge.



Abb. 6.14 (li.): Riss an Kontaktstelle der Erdgeschosswand mit Säule des Portikus beim Haupteingang; Verbunden mit Attika-Riss entlang einer Arbeitsfuge.



Abb. 6.15 (re.): Riss entlang einer Arbeitsfuge der Kassettendecke des Haupteingangs mit Fortsetzung in die Wand.

6.4.1 Konstruktionsbedingte Rissbildung

Der Großteil der Risse an der Jahrhunderthalle ist aufgrund von Eigen- und Zwangsspannungen entstanden, die durch Wärmedehnung sowie das Quellen und Schwinden des Betons hervorgerufen wurden. Solch ein Schadensbild ist häufig auf Entwurfs- oder Ausführungsmängel zurückzuführen. Die Ursachen sind vorwiegend zu große Abstände zwischen Dilatationsfugen oder eine unzureichende Menge und unpassende Anordnung der Bewehrung. Für die Entstehung von Schwindrissen kann zudem eine unzureichende Nachbehandlung des Betons ausschlaggebend sein.

Besonders stark ausgeprägt waren die Spannungsrisse am Zugring (siehe Abb. 6.16 und Abb. 6.18) und entlang von Arbeitsfugen. An der Fassade traten sie außerdem häufig im Bereich von Tür- und Fensteröffnungen (siehe Abb. 6.13 und Abb. 6.12) sowie an großflächigen Außenwänden



Abb. 6.16: Nordwestfassade der Kuppel und West-Apside. Extern angebautes Stiegenhaus der 1930er-Jahre. Deutlich sichtbare Alt-sanierungen, v. a. der Risse des Zugrings und im Bereich des Windrahmens (Detail s. u.) sowie der Reparaturstellen unterhalb der Gesimse. Großflächige Verschmutzungen und biogener Aufwuchs.

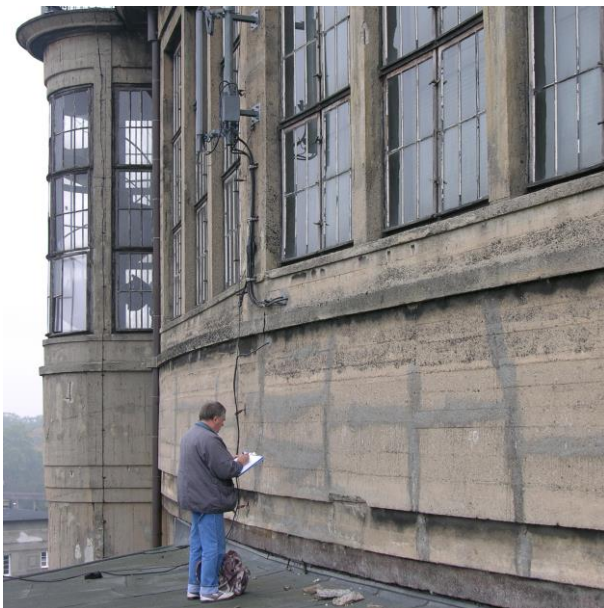


Abb. 6.17 (o.): Typisches Schadensbild im Bereich des Windrahmens. Die Spannungsrisse zwischen Tragwerk und der Verschalung wurden unsachgemäß verspachtelt.

Abb. 6.18 (li.o.): Verspachtelte Risse des Zugrings. Betonabplatzungen an Zugring-Unterkante



Abb. 6.19 (li.): Detail der Nordseite der Osteingangs-Aufbauten: Vertikal, horizontal als auch diagonal orientierte netzartige Trennrisse; tlw. entlang von Arbeitsfugen verlaufend. Die Ursache dieses Schadensbildes konnte nicht eindeutig geklärt werden.

auf. Oft setzten sich die Risse in die benachbarten Bauelemente fort, z. B. in die Gesimse und Deckenplatten. Beim Haupteingang waren Trennrisse an der Kontaktstelle zwischen Portikus-Säule und Wand, ebenso wie an der Kassettendecke zu beobachten (siehe Abb. 6.14 und Abb. 6.15).

Spannungsrisse konnten häufig auch an Kontaktstellen zwischen Bauteilen unterschiedlicher Dicke beobachtet werden, da die Elemente aufgrund verschiedener Steifigkeiten unter Belastung ein ungleiches Dehnverhalten aufweisen. Hierbei umfasst der Riss einen Großteil des Querschnittes oder trennt die Bauelemente gänzlich voneinander. Die Ursache dieser Art von Rissen sind fehlende Dilatationsfugen bzw. die unzureichenden Bewehrung des Übergangsbereichs. Ein typisches Beispiel für solch ein Schadensbild sind die Risse im Bereich des sogenannten Windrahmens der Jahrhunderthalle (siehe Abb. 6.8, Abb. 6.16 und Abb. 6.17).

6.4.2 Korrosionsbedingte Rissbildung

Bei Bewehrungskorrosion wird durch die Volumenzunahme Druck auf den umliegenden Beton ausgeübt. Übersteigen die dadurch im Beton hervorgerufenen Spannungen dessen maximale Zugbeanspruchung, bilden sich Risse im Baukörper. (siehe Kap. 6.5.2)

Solch ein Schaden ist häufig an Außenbauteilen mit geringer Betondeckung zu beobachten, wenn die Stahleinlagen durch die Karbonatisierung des umhüllenden Betons ihre Passivierung verloren haben (siehe Kap. 6.5.1). Die Risse verlaufen entlang der oberflächennahen Bewehrung und erleichtern zusätzlich den Zutritt von Luft und Feuchtigkeit, wodurch die Korrosionsgefahr der Stahleinlagen weiter ansteigt. In diesem Zusammenhang kann es auch zu Betonabplatzungen bzw. dem Auftreten von Rostfahnen kommen. (vgl. Kap. 6.3.1)

6.5 Atmosphärische Einwirkungen⁷

Während der beinahe einhundertjährigen Nutzungsdauer war die Jahrhunderthalle ständig Umwelteinflüssen ausgesetzt, die sich negativ auf die Bausubstanz ausgewirkt und wesentlich zur Entstehung und Ausbreitung von Schäden beigetragen haben. Durch die relativ niedrige Festigkeit, den großen Porenraum und die damit einhergehende hohe Durchlässigkeit des eingebauten Betons kam es bei Betonbauten dieser Zeit zu einem beschleunigten Ablauf der chemischen Reaktionen. Doch auch die unzureichende Instandhaltung führte bei der Jahrhunderthalle zu einer vermehrten Schadensbildung.

Die wichtigsten Schadensmechanismen werden nachfolgend beschrieben. Sie beruhen zumeist auf chemischen und physikalischen Vorgängen, die durch Witterung und Luftschadstoffe hervorgerufen werden – häufig führt das Zusammenspiel mehrerer Faktoren zur Schadensbildung.

⁷ vgl. Persona 2007, S. 34 f; Doose 2008, S. 40-43; Weber 2013, S. 34-45.

6.5.1 Karbonatisierung

Mit der Umgebungsluft diffundiert Kohlendioxid über das kapillare Porensystem in das Betoninnere und bewirkt die Karbonatisierung des Baustoffs. Dabei reagiert das in der Porenlösung vorhandene Calciumhydroxid mit dem Kohlendioxid zu Calciumcarbonat (Kalkstein) und Wasser $[Ca(OH)_2 + CO_2 + H_2O \rightarrow CaCO_3 + 2 H_2O]$.

Das verbrauchte Calciumhydroxid wird zunächst durch Kalkhydratkristalle ersetzt, die im Zementstein eingelagert sind und bei Bedarf in Lösung gehen. Anfänglich hat dieser chemische Prozess keine schädigende Wirkung auf die Bausubstanz – das Betongefüge wird durch die Umwandlung des leicht löslichen Calciumhydroxids in festen Kalkstein sogar etwas verdichtet. Ist der Nachschub an Kalkhydratkristallen allerdings aufgebraucht, kommt es zu einer Neutralisation der Porenlösung und der pH-Wert des Betons sinkt unter 9. Im Laufe der Zeit wandert die Reaktionsfront langsam von der Oberfläche ins Innere des Betonkörpers. Die Geschwindigkeit hängt dabei maßgeblich von der Dichtheit des Betons und damit von dessen Güte ab.

Dringt die Karbonatisierung bis zur Bewehrung vor, ist durch den verminderten pH-Wert die Voraussetzung für die Ausbildung einer stabilen Passivschicht nicht mehr gewährleistet und der Stahl verliert seinen Korrosionsschutz.

6.5.2 Bewehrungskorrosion

Bewehrungskorrosion stellt eine große Gefahr für Stahlbetonbauwerke dar und ist die maßgebliche Ursache vieler Schadensfälle. An der Jahrhunderthalle wurden keine nennenswerten Schäden infolge chloridinduzierter Lochfraßkorrosion festgestellt. Bewehrungskorrosion der Stahleinlagen, ausgelöst durch deren Depassivierung, trat an der Sichtbetonfassade hingegen häufig auf.

Auf der Bewehrungsoberfläche bewirkt die Alkalinität des Betons die Bildung einer stabilen Passivschicht, die den Stahl vor weiterer Oxidation schützt. Generell besitzt der Beton ein stark basisches Milieu mit einem pH-Wert über 13,5. Es wird durch Alkalien gebildet, die im Porenwasser des erhärteten Zementsteins in Form von Natrium- und Kaliumoxiden sowie gelöstem Calciumhydroxid enthaltenen sind. Sinkt der pH-Wert des umhüllenden Betons – z. B. durch Karbonatisierung – unter 9 oder dringt ein Riss bis zur Bewehrung vor, kommt es zur Depassivierung des Stahls; unter Einfluss von Feuchtigkeit und Sauerstoff kann es nun zur Bewehrungskorrosion kommen (siehe Abb. 6.20).

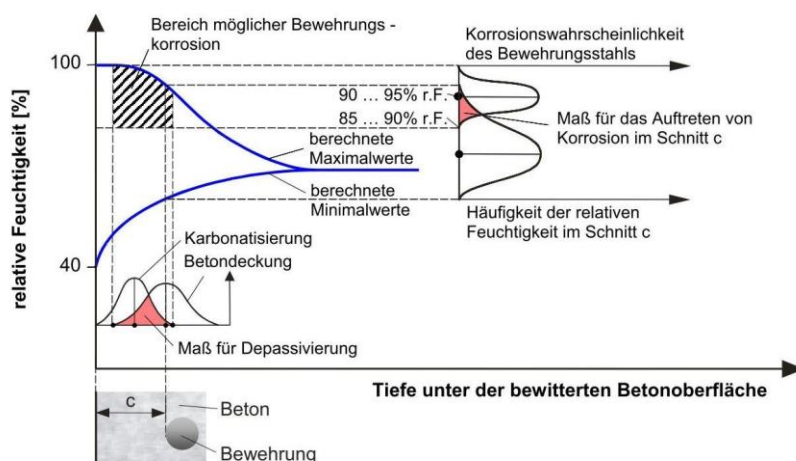


Abb. 6.20: Korrosionswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von Betondeckung, Karbonatisierung und Feuchte

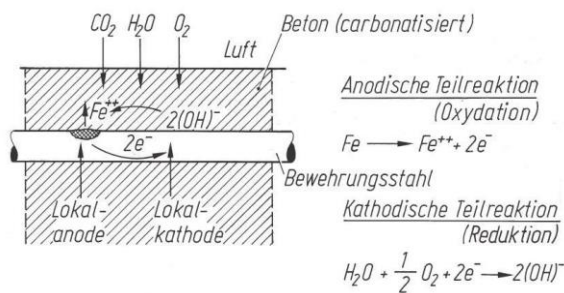


Abb. 6.21: Chemische Prozesse der Bewehrungskorrosion

Abb. 6.22: Fassadendetail mit ausgewaschenem Feinkornanteil der Betonoberfläche



Die Stahlkorrosion ist eine elektrochemische Reaktion (siehe Abb. 6.21). Dabei werden an der Anode Eisenoxide (Rost) gebildet und gleichzeitig kommt es durch die Abgabe von Eisenatomen zu einer Verringerung des Bewehrungsquerschnitts. Durch das entstandene Eisenoxid – es hat etwa 9-mal mehr Volumen als das Eisenatom – wird Druck auf den umliegenden Beton ausgeübt. Die daraus resultierenden Spannungen führen zu Rissbildungen und Betonabplatzungen. Starke Bewehrungskorrosion kann das Bauteil soweit schwächen, dass es zu einer Beeinträchtigung der Tragfähigkeit und im Extremfall zum Versagen kommt.

6.5.3 Lösender Angriff

Aggressive Stoffe, die über Gase, Aerosole und Niederschlag auf den Baustoff einwirken, führen zu Lösungs- und Auslaugungsprozessen. An der Betonoberfläche werden dabei die schwer löslichen Bestandteile des Betons in wasserlösliche Verbindungen umgewandelt, die anschließend durch atmosphärische Einwirkungen abgetragen werden können. Vor allem Säuren stellen für den basischen Zementstein eine große Gefährdung dar. Lösender Angriff kann aber auch durch Fette und Öle, Laugen, austauschfähige Salze sowie weiches Wasser hervorgerufen werden.

Durch die Zersetzung des Zementsteins wird der Verbund der Zuschlagstoffe gelockert. Dies führt in weiterer Folge zu immer größeren Feinkornverlusten an der Betonoberfläche. Durch das Absanden treten im Laufe der Zeit die gröberen Zuschläge immer mehr zum Vorschein, wodurch sich Textur und Farbe der Betonoberfläche ändern. Die fortschreitende Zerklüftung der Betonhaut bewirkt außerdem eine Vergrößerung der Angriffsfläche und dadurch eine Beschleunigung der chemischen Prozesse (siehe Abb. 6.22).

6.5.4 Treibender Angriff

Von treibendem Angriff spricht man, wenn auf den Beton einwirkende Stoffe chemisch mit dessen Bestandteilen reagieren und Produkte mit wesentlich größerem Volumen bilden. Ist der größere Raumbedarf in den vorhandenen Poren nicht ausreichend vorhanden, kommt es durch den Kristallisationsdruck zu Zugspannungen im Betongefüge und in weiterer Folge zu dessen Zerstörung. Typische Beispiele von treibenden Angriffen durch chemische Reaktionen mit dem Zementstein sind das Sulfat-, Kalk- oder Magnesiatreiben wie auch die bereits erwähnte Karbonatisierung.

6.5.5 Temperatur- und Feuchtigkeitsschwankungen

Insbesondere Außenbauteile sind von kurz- und langfristigen Temperaturwechseln betroffen. Diese sind hauptsächlich von der Tages- und Jahreszeit sowie der Sonneneinstrahlung abhängig. Ist das Bauelement direkter Sonneneinstrahlung ausgesetzt, haben insbesondere auch die Oberflächenfarbe und dessen Lage einen wichtigen Einfluss. Die unterschiedlichen Temperaturzustände verursachen innerhalb des Bauteils eine inhomogene und instationäre Temperaturverteilung. Aufgrund der unterschiedlich stark ausgeprägten Wärmedehnungen bilden sich Eigenspannungen im Baukörper, die eine Gefügeschwächung, Festigkeitsminderung oder Rissbildung hervorrufen können. Eine ähnliche Auswirkung auf den Beton haben durch Feuchtewechsel bedingtes Schwinden und Quellen. Feuchtigkeit und Temperatur beeinflussen gegenseitig ihre Auswirkung auf das Verformungsverhalten von Beton.

Besonders anfällig für Schäden infolge Temperatur- und Feuchtigkeitsschwankungen sind jene Bauteile, deren Verformung beispielsweise durch Einspannungen oder zu große Abstände zwischen Dilatationsfugen behindert wird. Hier wirken zusätzliche Momenten- und Normalkraftbeanspruchungen.

6.5.6 Frost-Tau-Wechsel

Der Wechsel von Temperaturen um den Gefrierpunkt von Wasser wirkt sich schädigend auf das Betongefüge aus. Gefriert Wasser zu Eis, nimmt dessen Volumen aufgrund der Dichteanomalie um etwa 9 % zu. Wird es in seiner Ausdehnung behindert, dann wirkt ein Kristallisationsdruck auf den umschließenden Körper. Durch die poröse und kapillare Struktur von Beton werden daher Spannungen innerhalb des durchfeuchteten Baustoffs hervorgerufen, wenn das Wasser in den Hohlräumen gefriert und sich nicht frei ausdehnen kann. Bei Überschreitung der Betonzugfestigkeit kommt es zur Rissbildung. Eine Schädigung des Betongefüges tritt insbesondere dann ein, wenn dessen Poren beim Gefrieren zu etwa 90 % mit Wasser gesättigt sind. Der exakte kritische Wassersättigungsgrad hängt maßgeblich von der Porenstruktur der Betonmatrix ab. Die Gefrieretemperatur von Wasser wird in sehr feinen Poren durch Oberflächeneffekte herabgesetzt. Bei jedem Frost-Tau-Wechsel entstehen Mikrorisse, die den Beton nach mehreren Wiederholungen zermürben und schließlich zu Makrorissen führen. Daher hängt der Schädigungsgrad wesentlich von der Anzahl der Zyklen ab.

Typische Schadensbilder sind Risse, die netzartig über die Oberfläche verteilt sind oder der Bauteilgeometrie folgen. Zuerst äußern sich Risse und Abplatzungen vorwiegend an freiliegenden Ecken und Kanten von Außenbauteilen, weil der Beton an diesen Stellen das Wasser über zwei oder drei Oberflächen aufnehmen kann und daher am stärksten durchfeuchtet ist; außerdem haben Temperaturschwankungen einen besonders großen Einfluss auf solch exponierte Bereiche.

6.5.7 Beläge der Betonoberfläche

Das Erscheinungsbild des Sichtbetons wird auch durch Beläge in Form von Ausblühungen, Verschmutzungen und biogenem Aufwuchs geprägt, deren Bildung u. a. auf komplexen biochemischen Vorgängen beruht. Dabei spielen stets das Vorhandensein und der Transport von Feuchtigkeit eine große Rolle. (vgl. Abb. 6.7, Abb. 6.8, Abb. 6.13, Abb. 6.16 und Abb. 6.23)



Abb. 6.23 (o.): Detail einer Fensterstütze mit Schaden aufgrund eines undichten Fallrohrs sowie unsachgemäßer Reparaturen von Kantenabplatzungen.



Abb. 6.24 (re.): Fragment des externen Stiegenhauses: Laienhaft ausgeführte, abplatzende Reparaturen; korrodierende Bewehrung mit abgesprengter Betondeckung und Rostfahnen.

6.6 Außergewöhnliche Belastungen⁸

Die Bausubstanz der Jahrhunderthalle wies folgende Schäden aufgrund mechanischer Einwirkungen auf:

- Vereinzelte Einschüsse aus dem Zweiten Weltkrieg an Außenwänden und im Innenraum. Zumeist handelt es sich hierbei nur um lokale Ausbrüche der Betonoberfläche, nur in seltenen Fällen ist auch die Bewehrung davon betroffen.
- Unsachgemäß durchgeführte Öffnungen und Durchbrüche in den Stahlbetonelementen.
- Kleinere Schäden der Bausubstanz im Parterre, die durch den Anprall von Fahrzeugen oder Maschinen verursacht worden sind.

Es wird außerdem vermutet, dass der Betrieb von technischen Einrichtungen, insbesondere die Ventilatoren und die von ihnen verursachten Vibrationen, einen Einfluss auf die Entstehung und Ausweitung von Rissen hatten.

An den Wänden im Erdgeschoss des nördlichen Teils der Jahrhunderthalle ließen einige wenige Risse eine ungleichförmige Fundamentsetzung vermuten. Das Schadensbild deutete darauf hin, dass diese Risse bereits vor dem Hochwasser im Juli 1997^{*} entstanden sind.

⁸ vgl. Persona 2007, S. 34 f; 2008, S. 45.

^{*} Bei dem Oder-Rekordhochwasser 1997 wurden etwa 30 % der Breslauer Stadtfläche überflutet. Die Jahrhunderthalle entging zwar knapp einer Überschwemmung, dennoch ist es möglich, dass der extrem hohe Grundwasserspiegel negative Auswirkungen auf deren Baugrund und Fundamente hatte.



Abb. 6.25: Südost-Fassadenwand des Rundgangs mit dichtem Efeubewuchs

6.7 Sonstige Schadensursachen

6.7.1 Schäden durch unsachgemäße Ausbesserungen⁹

Zahlreiche Schäden an der Jahrhunderthalle waren auf das Fehlen einer regelmäßigen und fachkundigen Instandhaltung der Fassade zurückzuführen. Die fortbestehende Einwirkung ungünstiger Umwelteinflüsse führte außerdem zu Folgeschäden (siehe Abb. 6.23). Es wurden zuvor zwar zahlreiche Versuche unternommen Fehlstellen auszubessern und mit Schutzschichten zu behandeln, meist wurden diese Reparaturarbeiten jedoch mangelhaft ausgeführt und bewirkten teilweise sogar einen größeren Schaden als Nutzen. Beispielsweise wurde der Betonuntergrund nicht entsprechend vorbereitet, die freiliegende Bewehrung nicht sorgfältig entrostet und falsche Reparaturmaterialien verwendet. Das Resultat war oft nur ein kurzzeitiges Kaschieren der schadhafte Stellen und ein ungehindertes Fortschreiten der Korrosion (siehe Abb. 6.24).

6.7.2 Schäden durch Bewuchs¹⁰

Die Außenwände des Rundgangs der Jahrhunderthalle sind großflächig mit dichtem Efeubewachsen (siehe Abb. 6.25). Grundsätzlich stellt ein gepflegter Efeubewuchs für eine intakte Fassade keine Gefährdung dar und bietet sogar zusätzlichen Schutz vor Niederschlag und Verunreinigung.

Die Betonoberfläche der Jahrhunderthalle wies allerdings weitläufige Schäden auf, deren Zustand sich durch den Bewuchs verschlechtern hätte können. Junge Triebe des Efeus können in Fugen und Rissen eindringen und durch weiteres Wachstum zu einer Aufweitung dieser Öffnungen führen und das Abplatzen korrodierteter Betonschichten bewirken. Um an den Wänden emporklettern zu können, bildet die Pflanze außerdem starke Haftwurzeln aus, die zum Teil auch in die groben Poren und Lunker der Betonoberfläche einwachsen. Durch die Last des Efeus oder beim Entfernen der Pflanze könnte dies zu einer weiteren Beschädigung der korrodierten Betonfläche führen.

⁹ vgl. Persona 2007, S. 34.

¹⁰ vgl. Persona 2007, S. 18.

6.7.3 Schäden durch Biokorrosion¹¹

Zahlreiche Schadensbilder (siehe Abb. 6.26) lassen den Autor dieser Arbeit darauf schließen, dass die Bausubstanz der Jahrhunderthalle mit hoher Wahrscheinlichkeit zumindest kurzzeitig unter einem Steinlausbefall gelitten hat.

Die Existenz der zur Familie der Lapivora gehörigen Steinlaus (*Petrophaga lorioti*, siehe Abb. 6.27) wurde erst 1976 durch Prof. Grzimek bekannt. Mit einer Größe von 0,3-3,0 mm handelt es sich bei der zur Familie der Lapivora gehörigen Steinlaus um die kleinste einheimische Nagetiergattung. Das besonders scheue Lebewesen ernährt sich vorwiegend von Silikaten und in seltenen Fällen von Ferriten. Der Tagesbedarf des geschlechtsreifen Männchens liegt bei etwa 28 Kilogramm Beton oder Ziegelstein; das Weibchen verzehrt in der Schwangerschaft beinahe die doppelte Menge. Der immer noch weit verbreitete Irrglaube, Beton sei gegen Schädlinge resistent, wurde bereits des Öfteren widerlegt. Friedolin Kohlberg, Biologe und Steinlausforscher an der Humboldt-Universität Berlin, hat herausgefunden, dass die zerkleinerten Silikat-Mischungen des Betons „wie vorverdaut – also quasi das Fast Food der Steinlaus“ sind.

Mitte der 80er-Jahre hat sich vermutlich eine Kolonie der *Gemeinen Steinlaus* (*Petrophaga lorioti communis*) in den oberen Fassadenebenen der Jahrhunderthalle eingenistet. Berücksichtigt man den enormen Nahrungsbedarf nur eines Individuums, dann hat die Steinlauspopulation der Jahrhunderthalle glücklicherweise nur geringe Spuren an deren Bausubstanz hinterlassen. Es wird angenommen, dass die Kolonie durch den Lärm und die Menschenmassen wiederkehrender Großveranstaltungen gestört wurde und wahrscheinlich Richtung Westen weitergezogen ist.

Welches Potential hinter dem kleinen possierlichen Tierchen steckt, hat es 1989 am Beispiel des Berliner Mauerfalls unter Beweis gestellt. Nach diesem bedeutenden Ereignis war die Existenz der Steinlaus jahrelang jedoch gefährdet – teilweise wurde sie gar dementiert. Im Jahr 1999 wurde sie vom Geomikrobiologen Wolfgang Krumbein schließlich am Wiener Stephansdom wieder gesichtet.

Mit dem Bekanntwerden zahlreicher Subspezies der Steinlaus, u. a. der Nieren-, Blasen- und Gallensteinlaus, gewann sie zunehmend auch medizinische Bedeutung. Typische Symptome bei einem Steinlausbefall des Menschen sind: Reizung des Zwerchfells, Euphorie mit typ. Mimik – Kontraktion des Musculus risorius u. Musculus orbicularis oculi – sowie allgemeines Wohlbefinden.



Abb. 6.26: Steinlausschaden an der Jahrhunderthalle

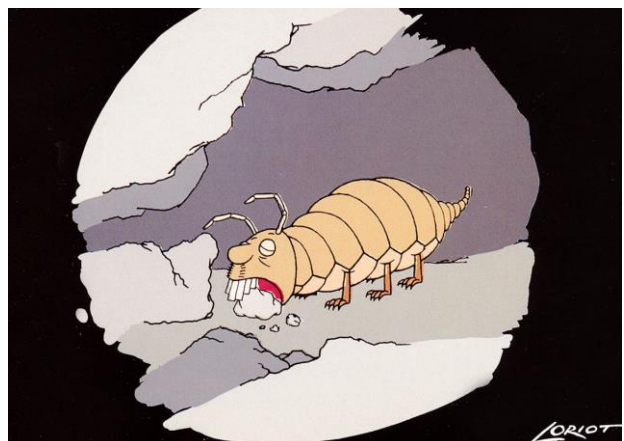


Abb. 6.27: *Petrophaga lorioti*, mikroskopische Aufnahme

¹¹ vgl. Psyhyrembel klinisches Wörterbuch 2011; Ullrich 2012; o. V. diesteinlaus.wordpress.com 2014

Kapitel 7

Untersuchungen des Stahlbetons

Das Ziel der der Beton- und Bewehrungsuntersuchungen war die Bestimmung der physikalischen Eigenschaften sowie der chemischen Belastung und des technischen Zustands der Baustoffe der Jahrhunderthalle. Die gewonnenen Erkenntnisse waren einerseits von großer Bedeutung für die Tragfähigkeitsuntersuchungen und andererseits waren sie für die darauffolgenden Sanierungsarbeiten essentiell – insbesondere für die Wahl der richtigen Instandsetzungsmaterialien. Neben der augenscheinlichen Prüfung der Betonoberflächen wurden vor Ort bzw. im Labor folgende Untersuchungen vorgenommen: ¹

- Messung der einaxialen Betondruckfestigkeit an Bohrkernen
- visuelle Prüfung des Betongefüges
- Ermittlung der Betonrohddichte
- Prüfung der Wasseraufnahmefähigkeit des Betons
- zerstörungsfreie Messung der Betondruckfestigkeit
- Bestimmung der Oberflächenzugfestigkeit
- Messung der Karbonatisierungstiefe
- chemische Untersuchung des Betons auf bauschädliche Salze
- chemische und metallografische Untersuchung des Bewehrungsstahls
- lokale Bewehrungsfreilegung und visuelle Bewertung des Korrosionszustandes
- lokale Ortung der Bewehrung und Abschätzung der Betondeckung

7.1 Untersuchungen an Bohrkernen ²

Zur Bestimmung der Druckfestigkeit, Dichte, Porosität und Wasseraufnahmefähigkeit wurden über das gesamte Bauwerk verteilt insgesamt 11 Bohrkern mit einem Durchmesser von 80 mm gezogen (siehe Abb. 7.1). Die Entnahmestellen wurden in der Bestandskartierung verzeichnet und der Probenzustand fotografisch dokumentiert. Die Bohrkern wurden Anschließend am Bautechnischen Institut* in Kattowitz geprüft.

Die Bohrkern H7 und H8 wurden gezielt aus dem haufwerksporigen Beton im Inneren von massiven Konstruktionselemente entnommen. Sie waren aufgrund ihres Zersetzungsgrades für einen maschinellen Druckversuch nicht geeignet. Die Kerne einiger anderen längeren Proben (40-50 cm) zerbröckelten ebenfalls vor ihrer Entnahme.

¹ vgl. Persona 2008, S. 15.

² vgl. Persona 2008, S. 15 f, 61.

* Instytut Techniki Budowlanej, Oddział Śląski, Laboratorium Łączników i Wyrobów Budowlanych



Abb. 7.1: Bohrkern aus gewählten Stahlbetonelementen

Die Zylinderdruckfestigkeit der prüfbaren Proben lag zwischen 9,0 und 56,5 N/mm². Die geringe Versuchszahl einhergehend mit der weiten Streuung der Ergebnisse ist für eine repräsentative Aussage über die Güte des eingebauten Betons nicht ausreichend. Dem Gutachter zufolge stellen Proben mit einer Druckfestigkeit von über 30 N/mm² statistische Ausreißer dar und spiegeln nicht die allgemein niedrige Festigkeit des Betons der Jahrhunderthalle wider.

Bei den Untersuchungen fiel vor allem die hohe Inhomogenität des Betongefüges auf. Große Unterschiede in der Gesteinskörnung und Sieblinie sind für den Beton der Jahrhunderthalle charakteristisch. Die visuelle Prüfung der Betonkerne ergab, dass für die konstruktiven Elemente vorwiegend Granit als Zuschlagsstoff verwendet wurde. In geringem Ausmaß wurde auch Marmor, Quarzit, Basalt und Schiefer zugegeben. Das Größtkorn hat einen Durchmesser von über 20 mm. Der Feinkornanteil ist relativ gering.

Basierend auf den Ergebnissen aller Betonprüfungen stellte Persona fest, dass für die Tragfähigkeitsberechnungen ein Beton der Klasse B 12,5* angenommen werden kann. Das bedeutet, die Würfeldruckfestigkeit des Betons wurde mit 12,5 N/mm² festgelegt, dies entspricht laut EN 206-1 einer Festigkeitsklasse zwischen C 8/10 und C 16/20.

7.2 Oberflächendruckfestigkeit³

Die Druckfestigkeit des oberflächennahen Betons wurde mit einem Rückprallhammer geprüft. Bei dieser zerstörungsfreien Messung wird ein Schlagbolzen mit einer definierten Energie gegen die Betonoberfläche geschleudert. Die Druckfestigkeit wird anschließend über die Rückprallstrecke mit Hilfe einer Umwertungskurve ermittelt. Die Prüfung erfolgte mit einem *Original Schmidt Hammer Typ N* der Firma Proceq SA.

Die Messungen der Oberflächendruckfestigkeit erfolgten stichprobenartig an 31 Stellen des gesamten Bauwerks. Schadhafte und unregelmäßige Betonoberflächen wurden vor der Untersuchung abgeschliffen und gereinigt. Jede Probestelle wurde an jeweils sechs Punkten fünf Einzel-

* nach alter polnischer Norm PN-B/06250

³ vgl. Persona 2008, S. 18 f.

prüfungen unterzogen. Aus den einzelnen Messwerten wurde schließlich der Durchschnittswert für jede Prüfstelle ermittelt.

Auch diese Untersuchung bestätigte die große Inhomogenität des Betons. Die festgestellten Druckfestigkeiten lagen zwischen 14,0 und 31,5 N/mm².

7.3 Oberflächenzugfestigkeit⁴

Bei der Wahl passender Reparaturmörtel, der Bewertung möglicher Instandsetzungsmaßnahmen und der Prognose ihrer Dauerhaftigkeit spielt die Oberflächenzugfestigkeit des Betons eine wesentliche Rolle. Lt. Gutachter muss der Betonuntergrund für eine fachgemäße Instandsetzung folgende Anforderungen an die Zugfestigkeit erfüllen:

- für tragende Elemente: Mittelwert $\geq 1,5 \text{ N/mm}^2$ und Minimalwert $\geq 1,0 \text{ N/mm}^2$
- für sonstige Elemente: Mittelwert $\geq 1,0 \text{ N/mm}^2$ und Minimalwert $\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$

Die Ermittlung der Oberflächenzugfestigkeit erfolgte zerstörungsfrei durch Abreißversuche mit dem Haftzugprüfgerät *Dyna Z15* der Firma Proceq. Es wurden Proben an 15 zufällig gewählten Stellen der Sichtbetonfassade durchgeführt. Für die Untersuchung wurde zunächst eine Ringnut in die Betonoberfläche eingefräst, gereinigt und darauf eine Prüfscheibe mit 50 mm Durchmesser geklebt. Anschließend wurde mit den Abreißversuchen die Bruchkraft sowie das Bruchbild ermittelt.

Die Messungen ergaben Zugfestigkeiten zwischen 0,7 N/mm² und 2,1 N/mm², wobei die Bruchflächen stets durch den Beton verliefen. Die geringsten Festigkeiten wurden an den südlichen Außenwänden des Erdgeschosses festgestellt und sind auf die in diesem Bereich besonders fortgeschrittene oberflächennahe Betonkorrosion zurückzuführen. Die geforderten Mindestkriterien für die Betoninstandsetzung waren grundsätzlich erfüllt.

7.4 Karbonatisierungstiefe⁵

Die Ermittlung der Karbonatisierungstiefe erfolgte sowohl an den Bohrkernen als auch unmittelbar am Bauwerk. Sie wurde über den pH-Wert des Zementsteins mittels einer Phenolphthaleinlösung als Indikator bestimmt. Die Indikatorlösung bleibt im karbonatisierten Bereich farblos und nimmt ab einem pH-Wert zwischen 8,2 und 10 eine rotviolette Färbung an. Die verfärbte Lösung zeigt somit jenen Beton an, der über eine ausreichende Alkalinität verfügt, um den Korrosionsschutz der Bewehrung zu gewährleisten.

Die ermittelten Karbonatisierungstiefen betrugen zwischen 71 und 105 mm. Dies bedeutet, dass sich ein Großteil der Oberflächenbewehrung der Jahrhunderthalle in einem alkalisch verminderten Milieu befindet und somit korrosionsanfällig ist. Die Schwankungsbreite der Karbonatisierungstiefe ergibt sich vorwiegend aus den lokalen Unterschieden in der Struktur, Festigkeit und Durchlässigkeit des oberflächennahen Betons. Die größten Karbonatisierungstiefen befinden sich an Stellen, wo die Betonkorrosion am weitesten fortgeschritten war und Risse den Eintritt von Kohlendioxid und Feuchtigkeit begünstigten.

⁴ vgl. Persona 2008, S. 16 f.

⁵ vgl. Persona 2008, S. 19 f.

7.5 Bauschädliche Salze⁶

Charakteristisch für bauschädliche Salze ist ihre hohe Löslichkeit. Durch den Kristallisationsdruck wird das Betongefüge zerstört und es kommt zu Ausblühungen und Abplatzungen. Der Schadensumfang ist vom Feuchtigkeitsgehalt sowie von der Art und Quantität der vorhandenen Salze abhängig. An den Stahlbetonelementen der Jahrhunderthalle wurden keine Schäden gefunden, die auf Taumittel oder bauschädliche Salze zurückgeführt werden konnten.

An 15 Bohrmehlproben wurden stichprobenartig chemische Untersuchungen über den Gehalt von bauschädlichen Salzen durchgeführt. Die vorgefundene Konzentration von Chloriden und Nitraten ($\leq 0,010$ M.-% und $\leq 0,025$ M.-%) stellt für das Baumaterial keine Gefährdung dar. Der Sulfatgehalt des Betons erreichte nur an zwei Stellen der Fassade den Grenzwert von 0,5 M.-%.

7.6 Lokale Bewehrungsfreilegung⁷

Aus Rücksicht auf den Denkmalschutz waren Bewehrungsfreilegungen bei der Jahrhunderthalle nur sehr eingeschränkt möglich. Um die Beschaffenheit der Stahleinlagen festzustellen und zur Überprüfung der Bewehrungsführung, wurde der Beton lediglich probeweise an sechs Stellen der Stahlbetondecken der Apsiden aufgestemmt. Drei dieser Freilegungen werden im Folgenden exemplarisch näher beschrieben.

Im Allgemeinen wurde der Zustand der freigelegten Bewehrungselemente als gut bewertet. Es wurde insbesondere keine übermäßige Korrosion festgestellt. Dem Gutachter fielen allerdings zahlreiche Mängel in der Bewehrungsführung auf. Außerdem wurden Unstimmigkeiten zwischen den Angaben der Durchmesser in den Originalplänen und den tatsächlich eingebauten Stahleinlagen festgestellt.

In Abb. 7.2 ist die Bewehrungsfreilegung über dem längsten Unterzug des obersten Apsidendachs zu sehen. Der Betonzuschlag ist an dieser Stelle auffällig feinkörnig. Es wurde festgestellt, dass die Deckenbewehrung relativ unregelmäßig verteilt ist und nicht normal zur Achse des Unterzugs liegt – Abstandhalter wurden nicht gefunden. Außerdem ist die Lage der Bewehrungsstäbe nicht optimal; anstatt oberflächennah zu liegen wurden sie relativ tief im Querschnitt einbetoniert. Ähnliche Beobachtungen wurden auch bei einer weiteren Freilegung auf einer höher gelegenen Dachebene gemacht.

In Abb. 7.3 ist die Freilegung der Bewehrung des Unterzuges von der Apsidendecke aus dokumentiert. Vier der Bewehrungsstäbe haben einen Durchmesser von 20 mm, der fünfte ist 24 mm dick. Auch in diesem Stahlbetonteil ist die unregelmäßige Verteilung der Bewehrung auffällig – zwei Stäbe berühren sich. Die Bügelbewehrung hat einen Durchmesser von 6 mm und eine Betondeckung von nur 3 mm.

Abb. 7.4 zeigt die Freilegung der Bewehrung an der Unterseite einer Deckenplatte in Feldmitte. Die regelmäßig verlegten Stahleinlagen haben einen Durchmesser von 6 mm und eine Betondeckung von 3-5 mm. Der freigelegte Verteilerstab hat ebenfalls 6 mm Durchmesser. Mit Hilfe eines Profometers konnte der benachbarte Verteilerstab in etwa 50 cm Entfernung geortet werden.

⁶ vgl. Persona 2008, S. 17 f.

⁷ vgl. Persona 2007, S. 13, 16 f.



Abb. 7.2: Vom Apsidendach aus freigelegte obere Bewehrung des Deckenunterzugs



Abb. 7.3: Freigelegte untere Bewehrung des Deckenunterzugs



Abb. 7.4: Freigelegte untere Deckenbewehrung in Feldmitte

7.7 Untersuchungen von Bewehrungsproben⁸

Insgesamt wurden drei Bewehrungsproben von verschiedenen Konstruktionselementen der Jahrhunderthalle entnommen. Die Bewehrungsstäbe waren stark korrodiert; ihre Durchmesser betrugen 6, 7 und 10 mm. Die Proben wurden chemisch und metallografisch am Institut für Materialwissenschaften und Mechanik* der Technischen Universität Breslau geprüft.

Die Analysen ergaben, dass der eingebaute Bewehrungsstahl in seiner chemischen Zusammensetzung der Stahlgüte StOS nach polnischer Norm PN-88/H-84020 entspricht. Das bedeutet, es handelt sich um einen unlegierten und kohlenstoffarmen Flussstahl mit einer Streckgrenze von 195 N/mm^2 . Die mikroskopischen und chemischen Untersuchungen belegten, dass der Stahl schweißgeeignet ist. Für die geplante Instandsetzung des Bauwerks war dies eine wichtige und positive Erkenntnis hinsichtlich der Möglichkeiten zur Ausbesserung und Ergänzung von korrodierten oder beschädigten Bewehrungsstäben.

⁸ vgl. Persona 2008, S. 20.

* Politechnika Wrocławska, Instytut Materiałoznawstwa i Mechaniki Technicznej

Kapitel 8

Bestandsaufnahme und Schadensanalyse

Als maßgeblicher Teil der Gebäudezustandsanalyse wurde die Dokumentation von Schäden und Mängeln der Jahrhunderthalle von August bis Dezember 2007 durchgeführt. Der Zustand der einzelnen Bauelemente wurde dabei detailliert beschrieben und fotografisch dokumentiert. Von der gesamten Jahrhunderthalle wurde außerdem eine Bestands- und Schadenskartierung angefertigt, in der auch Messstellen, Probeentnahmen und sonstige Besonderheiten der Bausubstanz verzeichnet wurden.¹

Alle wesentlichen Konstruktionselemente wie auch Bauteile mit kritischen Schäden wurden in weiterer Folge auf ihre Standsicherheit überprüft. Die Analysen basierten auf den Bauunterlagen, die unvollständig im Bauarchiv der Stadt Breslau erhalten sind, ebenso wie auf den gewonnenen Erkenntnissen der Materialuntersuchungen, Bestandsaufnahmen und Schadensanalysen; auch Dokumentationen früherer Sanierungs- und Modernisierungsarbeiten sowie ehemalige Gutachten wurden einbezogen. Bewehrungsfreilegungen waren wegen des Denkmalschutzes nur sehr eingeschränkt möglich und wurden ausschließlich zur Beurteilung des Korrosionszustands der Stahleinlagen in den Decken durchgeführt. Für die statischen Überprüfungen wurde die Ausbildung der Bewehrungseisen daher großteils so angenommen, wie in den originalen Bauplänen beschrieben.

Für die Analyse der Tragkonstruktion wurde die Statik der Jahrhunderthalle mit Hilfe des Programms Robot Millennium v. 20.1. über ein räumliches Stabwerksmodell neu ermittelt. Die Berechnungen der Stabkräfte erfolgten mittels Finte-Elemente-Methode unter Annahme eines linear-elastischen Werkstoffverhaltens nach Theorie Erster Ordnung. Eigengewicht sowie Wind- und Schneelasten wurden dabei nach aktuellen Normen berücksichtigt.

Des Weiteren wurden unterschiedliche Belastungsschemata für spezielle Nutzlasten einbezogen, die von der Kuppelkonstruktion abgehängt werden. Bei zahlreichen Veranstaltungen in der Jahrhunderthalle ist es nämlich wünschenswert, diverse Installationen wie Dekoration, Beschallungs- und Beleuchtungsanlagen, Arbeitsstege, etc. direkt am Tragwerk der Kuppel zu montieren. Mit der Festlegung und Berechnung von vorgegebenen Belastungsvarianten soll der zukünftige Bewilligungsprozess für die Montage solcher Installationen erleichtert werden – bisher musste dafür stets ein individuelles Gutachten eingeholt werden.²

Im folgenden Abschnitt werden der Bauwerkszustand im Jahr 2007, die wichtigsten Schadensbilder sowie die Ergebnisse der Tragfähigkeitsuntersuchungen ausgewählter Bauwerkselemente beschrieben.

¹ vgl. Persona 2008, S. 23.

² vgl. Persona 2008, S. 45 f, 60; Zajac, Persona, Podolski 2008

8.1 Sichtbetonfassade³

Die Bestandsaufnahme der knapp 11 000 m² Fassadenfläche der Jahrhunderthalle war aufgrund zahlreicher und verschiedenartiger Schäden außerordentlich arbeitsintensiv. Insgesamt machte die Fassade einen sehr schmutzigen und desolaten Eindruck. Die Bauelemente wiesen Risse, Ausbrüche und Abplatzungen auf – teilweise mit freiliegender und korrodierte Bewehrung. Häufig waren an der Oberfläche Betonnester zu finden, vereinzelt mit besonders tiefen Auswaschungen des Bindemittels. An einigen Stellen der Fassade waren Ausbesserungen sichtbar, die zumeist nur oberflächlich und unsachgemäß durchgeführt worden sind. Auf lange Sicht führten diese vermeintlichen Reparaturen eher zu einer Verschlechterung des Zustandes, als zu einer Verbesserung. (vgl. Kap. 6.7.1)

Über die gesamte Fassade verteilt, insbesondere an witterungsgeschützten Stellen, waren gelbliche Farbreste zu finden. Voruntersuchungen ergaben, dass es sich hierbei um sehr dünne Anstriche einer Mineralfarbe handelt.

Entsprechend ihrer Beschaffenheit, konnten die Fassadenflächen lokal folgendermaßen kategorisiert werden:

- Ursprünglicher Sichtbeton mit vertikaler Schalbrettstruktur (Pilaster und Wandecken)
- Ursprünglicher Sichtbeton mit horizontaler Schalbrettstruktur (Wände und Stürze)
- Ursprünglicher Sichtbeton mit abgezogener Oberfläche (Fertigteil-Fenstersäulen, Gesimse, Attika über dem Haupteingang)
- Nachträglich hergestellte Betonelemente (Attika des Rundgangs)
- Beton mit oberflächlichen Auswaschungen und freigelegtem Korngerüst
- Beton mit tief greifender Beschädigung in Form von Abplatzungen, Ausbrüchen oder Rissen
- Verputzte Oberfläche zugemauerter Tür- und Fensteröffnungen

8.1.1 Wände des ebenerdigen Rundgangs

Die Wände des ebenerdigen Rundgangs sind in Ortbetonbauweise ausgeführt worden. Sie sind 5,70 m hoch und monolithisch mit der Flachdachkonstruktion verbunden. In den Stahlbetonwänden wurde relativ wenig Oberflächenbewehrung eingebaut. Die Dehnfugen sind in großen Abständen ausgebildet worden. Außer den vier, in den Hauptachsen des Bauwerks liegenden Eingängen, befinden sich entlang des Rundgangs noch zahlreiche Nebeneingänge bzw. Notausgänge. Die meisten davon besitzen kleine Vordächer aus Stahlbeton, die sich in einem sehr schlechten Zustand befanden (vgl. Abb. 6.3).

Während der Begutachtung im Jahr 2007 war die Fassade im Erdgeschoss zu ca. 40 % mit Efeu bedeckt. Der Bewuchs ist regelmäßig gepflegt und zurückgeschnitten worden. Er prägte das Erscheinungsbild der Jahrhunderthalle stark und sollte daher grundsätzlich bewahrt werden (vgl. Abb. 6.25). Die Betonoberfläche der Jahrhunderthalle wies jedoch flächenhafte Schäden auf, deren Zustand durch die Haftwurzeln, das Wachstum junger Triebe sowie die Last der Pflanzen weiter verschlechtert werden hätte können. Der dichte Bewuchs behinderte außerdem die vollständige Begutachtung der Stahlbetonwände. Dies war besonders für jene Fehlstellen problematisch, die einer möglichst raschen Reparatur bedurften, z.B. undichte Fallrohre.

³ vgl. Persona 2007, S. 9 f, 14, 18-24, 36-42; Konarzewski 2009a

In Absprache mit dem Bauherrn wurde beschlossen, den Efeu für die Bauzustandsanalyse zu belassen und den Zustand der dahinter verborgenen Oberflächen auf Basis des Zustandes der restlichen Erdgeschosswände abzuschätzen. Im Zuge der nachfolgenden Instandsetzungsarbeiten sollte der Bewuchs behutsam und nur temporär entfernt werden, um den darunterliegenden Beton fachgerecht sanieren zu können.

8.1.2 Wände der oberen Fassadenebenen

Die Fassadenfläche der höheren Ebenen des Unterbaus besteht zwischen den Apsiden aus gekrümmten Stahlbetonwänden. Sie schließen jenen Raum nach außen hin ab, der von den Hauptbögen sowie der Windrahmen-Konstruktion begrenzt wird und nun für Haustechnik-Einrichtungen genutzt wird. Die vergleichsweise dünnen Stahlbetonwände besitzen deutlich geringere Festigkeiten als das umliegende Tragwerk. Aufgrund innerer Spannungen haben sich an den Kontaktflächen Trennrisse ausgebildet. Diese an der Fassade in regelmäßigen Abständen ausgeprägten Risse waren sogar aus größerer Distanz in sichtbar (vgl. Abb. 6.16 und Abb. 6.17).

Die Außenwände der Apsiden und Kuppel bestehen – mit Ausnahme der Orgelapside – aus horizontalen Fensterbändern. Einige Teile der Fassade, z. B. die schlanken Stützen zwischen den Fenstern, wurden in Fertigteilbauweise ausgeführt. Die Verbindungsstellen wurden zum Teil jedoch nicht sorgfältig ausgeführt, sodass deutliche Fugen sichtbar waren (vgl. Abb. 6.11). Bei genauerer Betrachtung waren Unterschiede in den Körnungen und Texturen der Oberflächen des Ortbetons und der Fertigteile erkennbar. Die Wand des außenliegenden Stiegenhauses, das in den 1930er-Jahren zugebaut wurde, befand sich in einem ähnlich schlechten Zustand wie die restlichen Betonelemente (vgl. Abb. 6.7, Abb. 6.16 und Abb. 6.24). Im Allgemeinen werden festgestellt, dass sich der Beton der Fertigteilelemente in einem etwas besseren Zustand als der Ortbeton befand.

8.1.3 Beurteilung der Gefahren

Eine sorgfältige Untersuchung der gesamten Fassade ergab, dass die Entstehung vieler Risse schon längere Zeit zurück lag und deren Ausbreitung bereits zu einem Stillstand gekommen war. Es wurden insbesondere keine neuen Trennrisse festgestellt. Betonabplatzungen und -ausbrüche reichten generell maximal bis zu den Stahleinlagen. Messungen belegten, dass die Querschnittsreduktion der Hauptbewehrung aufgrund von Korrosion nicht mehr als 2 mm betrug. Allerdings war die Bügelbewehrung wegen der geringeren Betondeckung stellenweise stärker korrodiert.

Im Allgemeinen wurde das Tragvermögen der statischen Konstruktion der Jahrhunderthalle durch die zahlreichen Fehlstellen der Fassade nur geringfügig gemindert. Die bröckelnden Wände und Dachrinnen stellten aber entlang des ebenerdigen Rundgangs eine Gefährdung für Passanten dar. In den darüberliegenden Ebenen war eine derartige Bedrohung für den Menschen aufgrund des pyramidenartigen Aufbaus der Jahrhunderthalle nicht gegeben – größere herabfallende Bruchstücke hätten jedoch Schäden der Dachhaut verursachen können.

Basierend auf aktuellen Normen und unter Berücksichtigung des verminderten Querschnitts zufolge dokumentierter Schäden, wurde die Tragfähigkeit ausgewählter Fassadenelemente der Apsiden berechnet. Dabei wurde eine zufriedenstellende Standsicherheit der Fenstersäulen und -stürze festgestellt. Aufgrund des gleichartigen Aufbaus konnten diese Ergebnisse auch für die restlichen oberen Fassadenflächen übernommen werden. Somit wurde den Außenwänden allgemein eine hinreichende Standsicherheit bescheinigt.



Abb. 8.1: Die 8 Riegel des Laternenrahmens laufen im Schlussstein zusammen. Holzfaserplatten an Unterseite des Schlusssteines; Schutznetz zwischen den Riegelbindern; Wasserflecken.

8.1.4 Empfehlungen zur Instandsetzung

Eine weitere Ausbreitung der Schäden sollte möglichst rasch durch eine behutsame Instandsetzung der Fassade gestoppt werden. Im Rahmen seines Gutachtens gab Marian Persona Vorschläge und spezifische Hinweise für die fachgerechte und dauerhafte Reparatur diverser Fehlstellen. Bei deren Beseitigung ist insbesondere auch darauf zu achten, dass die Bausubstanz vor einer neuerlichen Schadensbildung sowie dem Fortschreiten der Korrosion geschützt wird. Alle für die Instandsetzung verwendeten Materialien sollten zertifiziert sein und vorab auf ihre Eignung geprüft werden. Ein wesentliches Kriterium bei der Wahl von Reparaturmörteln sollten neben der Dauerhaftigkeit, auch die Wiederherstellung der ursprünglichen Struktur und Farbe des Sichtbetons sein.

Aufgrund des farblich heterogenen Erscheinungsbildes der Fassade – hervorgerufen durch Schäden, Flecken, Reparaturen etc. – empfahl Persona nach Abschluss der Reparaturarbeiten auch die koloristische Anpassung der Sichtbetonoberflächen. Durch das Auftragen eines lasierenden Anstrichs würde die Oberflächenstruktur weitestgehend erhalten bleiben und eine zusätzliche Schicht die Bausubstanz gegen Witterungseinflüsse schützen. Dem Gutachter zufolge sollte die Farbe entsprechend der originalen Betonfarbe gewählt werden, so wie sie nach der Reinigung der Sichtbetonflächen erkenntlich werden würde. Die Transparenz und der exakte Farbton der Lasur müssten stets auf den jeweiligen Untergrund abgestimmt werden und sollten durch Probeanstriche ermittelt werden.



Abb. 8.2: Deckenkonstruktion der Laterne. Abhängungen des Schutznetzes von den Unterzügen. Mit Stahlplatten verschlossene Öffnungen der ehemaligen Oberlichten der Laterne

8.3 Laterne⁴

Am Rahmentragwerk der Laterne wurden lokale Betonabplatzungen, einige freiliegende Bewehrungsstäbe und, vorwiegend in den Knotenpunkten, Risse festgestellt. Der Schlussstein und die Riegelbinder wiesen keine nennenswerten Schäden auf. Die Stahlbetondecke der Laterne war mit zementgebundenen Holzfaserplatten verkleidet, die eine Begutachtung der darunter liegenden Konstruktionselemente behinderten. Diese Platten wurden in den 1930er-Jahren an beinahe allen flächigen Elementen des Innenraums montiert und sollten vor allem die Raumakustik verbessern, aber auch der Wärmedämmung dienen. Zahlreiche Wasserflecken an den Betonoberflächen und Dämmplatten zeugten von einem jahrelang undichten Dach. Zwischen den Bindern befanden sich ursprünglich sechseckige Oberlichten. Einst waren sie mit Glasbausteinen verbaut, nun waren die Öffnungen mit Stahlplatten verschlossen und thermisch isoliert – es ist nicht bekannt, wann genau diese bauliche Änderung erfolgte. (siehe Abb. 8.1 und Abb. 8.1: Die 8 Riegel des Laternenrahmens laufen im Schlussstein zusammen. Holzfaserplatten an Unterseite des Schlusssteines; Schutznetz zwischen den Riegelbindern; Wasserflecken.)

Ein Schutznetz, das mittels Holzleisten am Laternenragwerk befestigt und von den Unterzügen der Decke abgehängt ist, soll gegebenenfalls herabfallende Bruchstücke der Laterne abfangen. Sowohl das Drahtnetz als auch der Stahlrahmen, auf dem es gespannt ist, bedurften stellenweise einer Reparatur und sollten mit einem Korrosionsschutz versehen werden.

⁴ vgl. Persona 2008, S. 25, 48, 50 f.

8.3.1 Unterdimensionierte Steher der Laternenkonstruktion

Die Steher der Rahmenkonstruktion sind zweiteilig ausgeführt und direkt in den Druckring der Rippenkuppel eingelassen (vgl. Abb. 3.7). Die Öffnung zwischen dem inneren und äußeren Steher ermöglicht die Begehung des Druckrings, vermindert allerdings die Steifigkeit der Konstruktion. Im Einspannbereich der inneren Steher hatten sich aufgrund von Überbelastung Risse gebildet. (siehe Abb. 8.4)

Zur Ermittlung der Schadensursache wurde eine genaue Untersuchung der Laternenkonstruktion vorgenommen. Der maßgebliche Fehler konnte auf die Originalstatik zurückgeführt werden: Aufgrund fehlerhafter Lösungsansätze konnte der Einfluss der Öffnungen auf den Kräftefluss des Rahmentragwerks nicht korrekt bestimmt werden, wodurch die Steher unzureichend dimensioniert worden sind. Die aktuelle statische Analyse ergab, dass die ausgeführten Stahlbetonrahmen als Scheiben mit Öffnung behandelt werden hätten müssen.

Die Laterne wurde vor der Demontage des Lehrgerüsts ausgeführt. Die Zwangskräfte, die beim Absenken des Gerüsts durch die Stauchung des Druckrings auf das Rahmentragwerk wirkten, führten in den Ecken der Steher-Öffnungen zu erheblichen Spannungskonzentrationen. Durch die Unterdimensionierung der Bewehrung, insbesondere der inneren Steher, kam es zum lokalen Versagen des überbeanspruchten Betons, das sich in Form von Rissen und Betonabplatzungen äußerte.

Anfänglich war durch diesen Mangel auch die Standsicherheit der Laterne gefährdet. Erste Sanierungsmaßnahmen zur Entlastung der inneren Steher wurden bereits in den 1920er-Jahren durchgeführt. An den äußeren Rahmenecken wurden damals zwei umlaufende Zugglieder mit 50 mm Durchmesser montiert. Deren Vorspannkraft kann mit Spannschrauben reguliert werden. Durch die Umschnürung der Riegel konnte die Verformung der Steher vorerst zwar gemindert werden, schon bald wurde allerdings eine weitere Verstärkung der Konstruktion notwendig. In den 1930er-Jahren brachte man daher an den Seitenflächen der inneren Steher zusätzlich zwei 50 x 10 mm Flacheisen an. (siehe Abb. 8.3)

Durch diese beiden konstruktiven Eingriffe konnte eine weitere Schadensausbreitung verhindert und eine gefahrenlose Nutzung der Jahrhunderthalle sichergestellt werden. Die getroffenen Maßnahmen zur Verstärkung des Tragwerks zeugen davon, dass die Ursachen der Schäden richtig erkannt worden sind. Die Wirkung der seitlich angebrachten Flacheisen wurde jedoch als nur mehr gering bewertet, da die vorgespannten Elemente mittlerweile einer wesentlichen Relaxation unterlegen waren. Hingegen zeigten die beiden umlaufenden Anker weiterhin eine gute Wirkung. Es wurde allerdings festgestellt, dass die Zugglieder inzwischen unterschiedlich stark gespannt waren.

Aufgrund von Berechnungen und Beobachtungen am Bauwerk wurden das aktuelle Tragverhalten und die Sicherheit der Laternenkonstruktion als gemindert bewertet. Die Tatsache, dass es in den letzten Jahrzehnten zu keiner Ausweitung und Neubildung von Schäden mehr gekommen war, ließ darauf schließen, dass keine akute Gefährdung bestand.

Eine Instandsetzung der Steher und die Neuregulierung der Zugglieder sollten dennoch bald durchgeführt werden. Der Gutachter empfahl die inneren Steher mit Kohlefaserbändern zu verstärken. Diese sollten eine Zugkraft von jeweils ca. 334 kN aufnehmen können – entsprechend jener Belastung, mit der die Bewehrung der inneren Steher korrekterweise hätte bemessen werden sollen.



Abb. 8.3 (li.): Zweiteiliger Steher der Laternenkonstruktion mit nachträglich eingebauten Verstärkungselementen. Umlaufende Zugglieder mit Spannschrauben aus den 1920er-Jahren (orange hervorgehoben) und Flacheisen-Verstärkung am inneren Steher (blau hervorgehoben).

Abb. 8.4 (re. o.): Risse im Einspannbereich der inneren Laternen-Steher

Abb. 8.5 (re. u.): Holzfaserplatten an Druckring-Innenfläche

8.4 Druckring⁵

Die innere und untere Fläche des Druckrings waren mit schalldämmenden Holzfaserplatten bedeckt (siehe Abb. 8.5). Da manche von ihnen beschädigt waren, war die Begutachtung des Bauteils an einigen wenigen Stellen dennoch möglich. Die ersichtlichen Betonoberflächen befanden sich in einem guten Zustand, auch sonst wies der Druckring keine erkennbaren Fehlstellen auf.

Berechnungen des Druckrings ergaben, dass dessen Tragfähigkeit zufolge Druck und Biegung doppelt so groß wie gefordert ist. Aufgrund der beträchtlichen Querschnittserweiterungen durch die gevouteten Anschlüsse der Kuppelrippen wurde auch zufolge Torsion ein ausreichendes Tragvermögen bescheinigt.

⁵ vgl. Persona 2008, S. 26, 49.

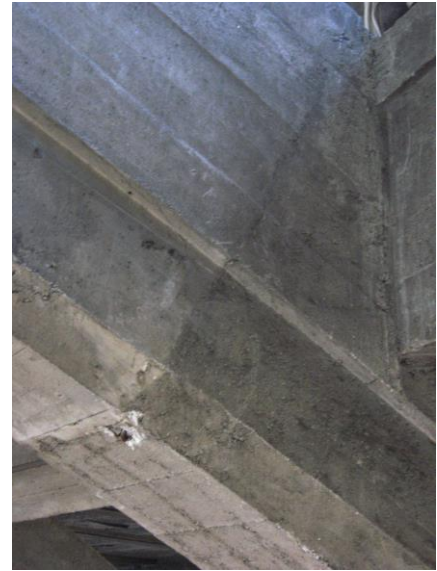


Abb. 8.6 (li.): Knotenpunkt von Kuppelrippe und oberstem Aussteifungsring: Wasserflecken an Stahlbetonrippen und Holzfaser-Dämmplatten der Decke

Abb. 8.7 (re.): Arbeitsfuge einer Kuppelrippe über dem mittleren Aussteifungsring

8.5 Kuppelrippen und Aussteifungsringe⁶

An den Kuppelrippen und Aussteifungsringen konnten zahlreiche Wasserflecken (siehe Abb. 8.6) und Kiesnester beobachtet werden. Direkt über dem mittleren Aussteifungsring befanden sich bei allen Rippenbögen deutlich sichtbare Arbeitsfugen (siehe Abb. 8.7), die beim Bau der Jahrhunderthalle unsachgemäß ausgeführt worden waren. Der Beton wurde in diesem Bereich schlecht verdichtet und mancherorts lagen sogar kurze Bewehrungsabschnitte frei. Am gesamten Kuppeltragwerk wurde keine bedenkliche Bewehrungskorrosion festgestellt.

Abbildung 8.8 zeigt eine Arbeitsfuge, die sich am oberen Aussteifungsring im Knotenpunkt mit einer Kuppelrippe befindet. Sie ist bei Reparaturarbeiten eines Schadens aus dem Zweiten Weltkrieg entstanden. Der Einfluss dieser mangelhaft ausgeführten Arbeitsfuge auf den technischen Zustand des Aussteifungsringes ist vernachlässigbar, weil das Bauelement im Allgemeinen mit großen Tragreserven ausgeführt worden war und es nur gering belastet wird.

An der gesamten Kuppelkonstruktion wurden einige mechanische Beschädigungen der Betonoberflächen dokumentiert, die durch den Aufprall von Projektilen im Zweiten Weltkrieg verursacht wurden. Prinzipiell handelt es sich dabei allerdings nur um kleine und oberflächennahe Betonabplatzungen. Nur in wenigen Fällen treten auch die Stahleinlagen zum Vorschein (siehe Abb. 8.9). In Abbildung Abb. 8.10 ist die größte Beschädigung dieser Art dargestellt, wo durch das Geschoss ein Bewehrungsstab der Kuppelrippe leicht beschädigt wurde.

⁶ vgl. Persona 2008, S. 27-30, 46.



Abb. 8.8: Arbeitsfuge einer Kriegsschaden-Reparatur am oberen Aussteifungsring



Abb. 8.9: Kriegsschaden an Kuppelrippe mit freiliegender Bewehrung



Abb. 8.10: Detail beschädigter Hauptbewehrung durch Projektilaufprall an einer Kuppelrippe

8.5.1 Beurteilung der Tragsicherheit

Die statische Analyse ergab, dass dank der korrekten geometrischen Ausbildung des Tragwerks in den Kuppelrippen im Wesentlichen nur Druckspannungen auftreten. Trotz Berücksichtigung der zusätzlichen Belastungen in Form diverser Abhängungen von der Konstruktion und einer vom Gutachter zu gering angenommenen Bewehrungsfläche*, ergaben die Berechnungen der Kuppelrippen eine Tragfähigkeit, die etwa dreimal höher als gefordert ist. Daher haben die dokumentierten Schäden und die etwaig damit verbundenen Abminderungen des Querschnitts weder einen relevanten Einfluss auf die Standsicherheit der betroffenen Konstruktionselemente, noch auf das gesamte Kuppeltragwerk. Der Gutachter wies darauf hin, dass alle Fehlstellen während der Instandsetzungsarbeiten des Innenraums fachgerecht repariert werden müssen.

* Bei der Tragfähigkeitsuntersuchung ist dem Gutachter scheinbar aufgrund von irreführenden Angaben in den originalen Bauplänen ein Fehler bei der Festlegung des Bewehrungsquerschnitts unterlaufen.

8.6 Zugring⁷

Der Zugring ist der wichtigste Teil des Kuppeltragwerks. Von diesem Schlüsselement ist die Standsicherheit der gesamten Konstruktion abhängig – ein lokales Versagen würde unweigerlich zur Katastrophe führen. Aus diesem Grund wurde besonderes Augenmerk auf die gründliche Untersuchung dieses Konstruktionselementes gelegt.

8.6.1 Zustand und Schadensanalyse

Sowohl an der Oberseite der Betonummantelung als auch an den Seitenflächen der in den Zugring mündenden Rippenbögen waren zahlreiche technische Einrichtungen unterschiedlichen Alters montiert – beispielsweise Schaltkästen, Kabeltassen, Winden, Scheinwerfer und Arbeitsstege (siehe Abb. 8.11). Diese Installationen erschwerten nicht nur die Begutachtung und allenfalls nötige Reparaturen des Stahlbetons, sie riefen insbesondere auch Belastungen des Zugrings hervor, die ursprünglich nicht berücksichtigt worden sind. Die zum Teil sehr tiefen Öffnungen, die zur Befestigung dieser Installationen oder als Kabeldurchführungen in die Betonummantelung des Zugrings gebohrt wurden (siehe Abb. 8.12), schwächten das Bauteil zusätzlich. Besonders im Mittelfeld, d.h. im Bereich zwischen zwei Kuppellagern, wirkten sich die Belastungen und Schwächungen des Zugrings gravierend aus.

Durch die Bohrungen könnten außerdem die Streben der Stahlfachwerke beschädigt worden sein. Ohne das Abtragen von Beton ließ sich diese Frage jedoch nicht mit Sicherheit klären. Eine derartige Untersuchung wurde aufgrund des historischen Charakters des Bauwerks und einer möglichen zusätzlichen Schwächung des Zugringes nicht durchgeführt.

Die Betonummantelung der beiden ringförmigen Fachwerke wies in regelmäßigen Abständen Risse auf, die zum Teil deutlich an der Fassade sichtbar waren. Die besorgniserregenden Risse waren vorwiegend in vertikaler Richtung, d.h. normal zur Zugringachse, orientiert und zogen sich teils durch den gesamten Betonquerschnitt. Auch im Innenraum wurden an der Zugring-Oberseite zahlreiche Risse festgestellt. Diese verliefen häufig parallel zu den darunter liegenden Streben des Fachwerksrings.

Vermutlich wurden die Risse im Zugring bereits durch das Schwinden des jungen Betons initiiert; beim Aufbringen der vollen Last weiteten sie sich aus, während gleichzeitig aufgrund der erhöhten Spannungen auch neue Risse entstanden. Durch zusätzliche Längs- und Bügelbewehrung hätte die Rissbildung deutlich reduziert werden können.

Die Risse in der Betonummantelung haben Steifigkeitsverluste des Zugrings zur Folge, außerdem könnten sie jahrelang den Zutritt korrosionsfördernder Stoffe in den Kern dieses Tragelements ermöglicht haben. Somit besteht die Gefahr, dass die Gurte der beiden etwa 210 m langen Stahlfachwerke stellenweise stark korrodiert sind. Ebenso kann aufgrund der langen Nutzungsdauer eine Ermüdung der Nietverbindungen nicht ausgeschlossen werden. Während der Instandsetzungsarbeiten im Jahr 2009 wurde ein Fragment des Zugring-Fachwerks freigelegt, dessen Zustand als „überraschend gut“ bewertet wurde (siehe Kap. 0).

⁷ vgl. Persona 2008, S. 32 f, 44, 46-48, 52-59; Persona, Podolski 2008, S. 4 f.



Abb. 8.11: Technische Einrichtungen am Zugring und an den Kuppelrippen



Abb. 8.12: Elektrische Installationen mit Kabeldurchführungen am Zugring

8.6.2 Beurteilung der Tragsicherheit

Zur Bestimmung der Tragsicherheit des Zugrings wurden ausschließlich die beiden Stahlfachwerke berücksichtigt, die Mitwirkung der Betonummantelung wurde wegen der vorhandenen Trennrisse vernachlässigt. Für die Analyse gemäß der polnischen Norm PN-90/B-03200 (Stahlkonstruktionen – Statische Berechnung und Projektierung) wurde angenommen, dass der Stahl der Fachwerke einem Stahl der Sorte St3SX entspricht und demnach eine Streckgrenze von 215 N/mm^2 aufweist – weit mehr als die ursprünglich von den Erbauern angesetzten maximal zulässigen Zugspannungen von 125 N/mm^2 . Aufgrund des monumentalen Charakters der Jahrhunderthalle sowie der Schadensfolgeklasse des Zugrings war es erforderlich, für Eigengewicht, Wind- und Schneelasten einen zusätzlichen Teilsicherheitsbeiwert von 1,2 einzurechnen. Es wurden insbesondere auch zusätzliche Belastungen in Form von Abhängungen von der Kuppel berücksichtigt.

Die statische Untersuchung ergab, dass die Fachwerke bereits bei gewöhnlichen Belastungen nicht nur mit Normalkräften, sondern auch durch Biegemomente beansprucht werden, die einen wesentlichen Einfluss auf die Maximalspannungen in den Stahlträgern haben. Die Momente wirken sowohl in vertikaler als in horizontaler Ebene und werden durch die technischen Installationen am Zugring zusätzlich verstärkt. Von den Planern der Jahrhunderthalle wurden diese Biegebeanspruchungen aufgrund inkorrekt vereinfachter Berechnungsmodelle allerdings nicht ausreichend berücksichtigt und die Fachwerke daher mit mangelnden Tragsicherheitsreserven ausgeführt. Aus seinen Untersuchungsergebnissen zog Persona folgende Schlüsse:

- Der Zugring ist lt. Norm deutlich unterdimensioniert: Bereits ohne der Berücksichtigung der zusätzlichen Abhängungen wurde bei der ungünstigsten Lastfallkombination eine Überbeanspruchung der Fachwerke um etwa 45 % errechnet (siehe Anh. B). Der Zugring muss daher dringend verstärkt bzw. abgesichert werden. Wird die vorgeschriebene Schadensfolgeklasse vernachlässigt, beträgt die Überbelastung des Zugrings immer noch 18 %. Solch ein Zustand könne nur für eine eingeschränkte Wirkungsdauer der maximalen Beanspruchungen akzeptiert werden.

- Die untersuchten Varianten von Abhängungen am Kuppeltragwerk haben mit bis zu 18 % einen erheblichen Einfluss auf die Tragsicherheit des Zugrings. Aus diesem Grund seien solche temporären Installationen bis zur dauerhaften Sicherung des Zugrings zu vermeiden.
- Nach der Sanierung des Zugrings ist unter speziellen Voraussetzungen das Anbringen von technischen Installationen ohne explizites Gutachten möglich. Die zulässige Gesamtlast aller Abhängungen beträgt maximal 40 t, wobei die Einzellasten je nach Angriffspunkt 2-5 t nicht überschreiten dürfen. Die Belastung je Kuppelrippen ist auf höchstens 3 t beschränkt. Die zusätzlichen Kräfte dürfen nur in den Knoten der Rippenkonstruktion angreifen, keine punktuellen Lastkonzentrationen hervorrufen und ihre Wirkungsrichtung darf nicht mehr als 10 % von der Vertikalen abweichen. Die Verteilung der Einzellasten muss speziell vorgegebenen Schemata entsprechen und möglichst gleichmäßig über die gesamte Kuppelkonstruktion erfolgen. Mit Ausnahme des Druckrings ist die Belastung des Laternentragwerks nicht gestattet. Wenn größere Schneelasten zu erwarten sind, ist aufgrund der hohen Auslastung der Kuppellager das Anbringen von Abhängungen untersagt.
- Bei der Untersuchung möglicher Befestigungsvarianten von technischen Installationen wurden u. a. auch die Auswirkungen eines horizontal über den Durchmesser des Zugrings gespannten Trageisls geprüft. Solch eine Vorrichtung würde eine erhebliche Zusatzbelastung der Konstruktion in Form von Biegemomenten bewirken: Eine Zugkraft von lediglich 5 kN hätte bereits eine Überbelastung des Bauteils von über 60 % zur Folge. Daher ist solch eine Maßnahme selbst nach der Sanierung des Zugrings nicht zulässig.

Für die konstruktive Sicherung des Zugrings schlug der Gutachter zwei Varianten vor: Das Aufbringen von Kohlefaserlamellen an der Außenfläche des Zugrings oder die Montage mehrerer Vorspannkabel entlang dessen Umfangs. Es wurde empfohlen die Sicherungsmaßnahme so zu bemessen, dass die gesamte im Querschnitt wirkende Zugkraft von ca. 6 000 kN aufgenommen werden kann. Marian Persona empfiehlt in seinem Gutachten die Verstärkung mittels Kohlefaserlamellen, da diese Variante einen geringeren Eingriff für die bestehende Bausubstanz bedeuten und keine aktive Krafteinwirkung auf das Tragwerk ausüben würde.

8.7 Kuppellager und Revisionsschacht⁸

Zwischen Zugring und Unterbau befindet sich ein Kontrollschacht über den die 32 Kuppellager zugänglich sind (siehe Abb. 8.13: Zustieg zum Kontrollschacht). Den äußeren Abschluss des Schachts bildet eine dünne Stahlbetonschürze, die vom Zugring abgehängt ist. Der Revisionsschacht ist durch vier kleine Einstiege von den Apsidendächern aus (siehe Abb. 8.13) erschlossen. Die Bewegungsfuge zwischen Kuppel und Unterbau befindet sich unterhalb der Schürze direkt über den obersten Apsidendächern. An einigen Stellen waren die Blechabschlüsse der Fuge nicht sorgfältig ausgeführt worden, sodass bei größeren Niederschlägen oder Schneeschmelze Wasser unter die Dachhaut gelangen konnte.

⁸ vgl. Persona 2008, S. 34, 63; Persona, Podolski 2008, S. 20-22, 25-31; Persona 2007, S. 10, 30



Abb. 8.13: Zustieg zum Kontrollschacht



Abb. 8.14: Kontrollschacht und Kuppelaufleger; re. Lüftungskanal

Innenliegend ist die Stahlbetonschürze mit Holzfaserplatten gedämmt. Auch die Decke des Revisionsschachts bzw. die Unterseite des Zugrings ist mit einer 2-5 cm dicken faserigen Asbestmasse ausgekleidet – der Zweck dieser Beschichtung ist nicht bekannt.

Die innere Hälfte des Schachtquerschnitts wird durch einen Lüftungskanal in Anspruch genommen. Das gesamte Lüftungssystem ist in acht geschlossene Segmente unterteilt und wird über vier Radialventilatoren, die sich im Windrahmen über den massiven Pfeiler der Hauptbögen befinden, mit Warmluft gespeist. Der Lüftungsschacht wies keine sichtbaren Schäden auf. Er besteht aber vorwiegend aus Asbestzementplatten und daher empfahl der Gutachter, sie im Zuge der bevorstehenden Renovierungsarbeiten zu ersetzen.

Im Anschlussbereich jeder Kuppelrippe ist an der Unterseite des Zugrings ein Betonblock angeordnet, der als Auflagerpunkt des Zugrings für die Kopfplatten der 32 radial beweglichen Stelzenlager dient. Die Fußplatten liegen direkt auf dem oberen Abschlussring des zylinderförmigen Unterbaus auf. Ein umlaufendes Stahlseil verbindet die Kuppellager untereinander und mit dem restlichen Blitzschutzsystem des Bauwerks.

Im Rahmen der Tragfähigkeitsuntersuchung wurde nachgewiesen, dass lt. Norm die maximale Betonpressung an den 55 x 105 cm großen Auflagerplatten eingehalten wird. Der Baudokumentation zufolge beträgt die zulässige Höchstbelastung der Stelzenlager 2 000 kN. Ein aktueller Tragfähigkeitsnachweis ergab für die ungünstigste Lastfallkombination bei gewöhnlichen Belastungen und einer normalen Schadensfolgeklasse eine Überlastung der Auflager um etwa 15 %.

Allgemein befanden sich die Stelzenlager jedoch in einem guten technischen Zustand. Wahrscheinlich sind sie aus einem Stahl mit besseren Materialeigenschaften gefertigt worden, als damals angenommen. Daher geht man davon aus, dass das Tragverhalten der Auflager nicht beeinträchtigt bzw. gefährdet ist. Die völlige Auslastung dieses Konstruktionselements ist maßgeblich für die Einschränkungen hinsichtlich der Abhängungen von der Kuppelkonstruktion.



Abb. 8.15 (li.): Typische Schadensbilder in den Haustechnikräumen der Windrahmen: Risse und Betonausbrüche an der Wand und Decke.

Abb. 8.16 (o.): Biegeriss an Balken unterhalb einer Lüftungsanlage

8.8 Tragkonstruktion des Unterbaus⁹

An den Konstruktionselementen des Unterbaus waren keine größeren Schäden vorhanden. Es wurden lediglich lokale Fehlstellen der Betonoberflächen in Form von Rissen und Ausbrüchen festgestellt, die aber weder die Tragsicherheit der Konstruktion gefährdeten noch auf ungleichmäßige Setzungen des Untergrundes schließen lassen würden.

In den Haustechnikräumen, die in den Öffnungen des Windrahmens untergebracht sind, wurden an den sekundären Konstruktionselementen der Decken und Wände lokale Risse und Brüche dokumentiert (siehe Abb. 8.15 und Abb. 8.16). Diese Schäden haben sich vorwiegend an Kontaktstellen von Bauteilen gebildet, die aus unterschiedlichen Materialien hergestellt oder in größeren Zeitabständen eingebaut worden sind. Hervorgerufen wurden sie durch thermische Einflüsse, das Schwinden von Bindemitteln und Vibrationen der technischen Einrichtungen.

Durch eine Untersuchung der Bauunterlagen konnte bestätigt werden, dass die Konstruktionselemente des Unterbaus hinreichend dimensioniert worden sind. Die Risse und Brüche stellen keine Gefährdung für die Tragsicherheit dar, sollten aber dennoch repariert werden. Zugleich sollten Maßnahmen getroffen werden, die deren Neubildung verhindern.

In den Jahren 1995-1997 wurden die konstruktiven Elemente der Innenausstattung, u. a. die Balkone und Tribünen, einer Sanierung und Modernisierung unterzogen. Im Zuge dessen wurden zahlreiche beschädigte Elemente repariert, verstärkt und einige davon neu errichtet. Bei einer augenscheinlichen Begutachtung dieser Einrichtungen wurden keine Schäden festgestellt, die eine Beeinträchtigung der Nutzung darstellen würden.

⁹ vgl. Persona 2008, S. 35-43, 49 f, 63.

8.9 Tragkonstruktion des Rundgangs¹⁰

Im Rundgang der Jahrhunderthalle waren die ehemaligen Sichtbetondecken mit Gipskartonplatten verkleidet. Eine Schadensfeststellung und genaue Untersuchung der Deckenkonstruktion vor Ort war daher nicht möglich. An den Decken und Wänden waren stellenweise Wasser- und Schimmelflecken sichtbar, die allerdings noch aus der Zeit vor der Sanierung des Rundgang-Dachs im Jahr 2007 stammen. An den Außenwänden wurden Risse festgestellt, die jedoch keinen wesentlichen Einfluss auf die Tragkonstruktion hatten.

Zur Überprüfung der Konstruktion des Rundgangs wurden vorhandene Archivunterlagen, einschließlich der Originalberechnungen, herangezogen und gesonderte Tragfähigkeitsberechnungen für ausgewählte Elemente des Flachdachs durchgeführt. Unter der Annahme, dass keine wesentlichen Schäden aufgetreten sind, waren die statischen Anforderungen aktueller Normen sowohl für die Deckenkonstruktion samt Oberlichtern als auch für die Wände des Rundgangs erfüllt.

8.10 Deckenkonstruktion der Kuppel und Apsiden¹¹

Die Deckenkonstruktion der Jahrhunderthalle wurde vorwiegend in Ortbetonbauweise hergestellt. Laut originalen Bauplänen sollte die Dicke der Stahlbetonplatten nur 6-8 cm betragen, sie wurden aber bis zu 9 cm dick ausgeführt. Die Unterzüge haben einen Abstand von 2-3 m und wurden, wahrscheinlich aus ästhetischen Gründen, relativ flach mit einer Gesamthöhe von nur 25 cm ausgebildet.

In den 1930er-Jahren wurden an den Decken Holzfaserplatten montiert (siehe Abb. 8.17). Sie sollten vorwiegend die Raumakustik aber auch die Wärmedämmung der Decken verbessern. Für diese Zwecke galten die Holzfaserplatten damals als am besten geeignetes Material. Zur Zeit der Untersuchungen waren sowohl ihr Zustand als auch der Wirkungsgrad allerdings relativ schlecht. Außerdem behinderten sie die Überprüfung der darunterliegenden Betonoberflächen. Der Gutachter empfahl im Zuge der bevorstehenden Innenraumsanierung auch die Schalldämmung unter fachkundiger Leitung zu verbessern.



Abb. 8.17: Holzfaserplatten an der Decke

¹⁰ vgl. Persona 2008, S. 31, 50.

¹¹ vgl. Persona 2008, S. 29 f; 2007, S. 14, 37, 42 f.

Die Decken der Kuppel und Apsiden befinden sich zum Teil in großen Höhen über dem Versammlungsraum, sodass bei einem Schadensfall zahlreiche Personen gefährdet werden könnten. Daher wurde die Überprüfung der Tragsicherheit der Kuppel- und Apsidendecken mit besonderer Sorgfalt durchgeführt.

Die Unterzüge mit der längsten Spannweite befinden sich in der Deckenkonstruktion der Apsiden. Durch Bewehrungsfreilegungen wurden grobe Mängel bei der Anordnung der Armierung festgestellt, die zu einer Abminderung des Tragvermögens dieser Elemente führen (vgl. Kap. 7.6). Für die Standsicherheit wurde unter Berücksichtigung dieser Erkenntnisse nach aktuellen Normen ein Defizit von ca. 5 % berechnet. Dem Gutachter zufolge stellt solch eine geringfügige Unterdimensionierung bei normaler Belastung keine Sicherheitsgefährdung dar.

Wegen denkmalpflegerischer Auflagen und der intensiven Nutzung der Jahrhunderthalle war es nicht möglich, die Bewehrung der Flachdächer aller Ebenen zu untersuchen. Basierend auf originalen Bauplänen wurden Berechnungen für einen weiteren Unterzug durchgeführt, der in einer Höhe von 27,2 m liegt. Auch diesem Bauteil wurde ein zufriedenstellendes Tragvermögen bescheinigt. Das Ergebnis ließ zugleich auf eine befriedigende Sicherheit der übrigen, in ähnlicher Weise konstruierten, Deckenelemente der Kuppel schließen. Solange keine außergewöhnlichen Belastungen auf die Dachkonstruktion wirkten, sei lt. Gutachter keine Gefährdung der Standsicherheit zu befürchten.

Es wurde explizit darauf hingewiesen, dass bei den bevorstehenden Instandsetzungsarbeiten die fehlenden Tragreserven der Deckenkonstruktion besonders berücksichtigt werden müssen. Konzentrierte Lasten auf den Flachdächern seien dabei unbedingt zu vermeiden. Aufgrund der absehbaren statischen und dynamischen Belastungen durch Baumaterialien und Maschinen sei diesbezüglich eine gesonderte Untersuchung im Zuge der Bauplanung nötig.

8.11 Flachdächer¹²

Die ringförmigen Flachdächer der Jahrhunderthalle haben eine Gesamtfläche von etwa 13 500 m². Sie weisen ein Gefälle von ca. 4 % auf. Ihr ursprünglicher Aufbau wurde bereits bei früheren Sanierungen verändert. Im Rahmen des Gutachtens wurde festgestellt, dass die Dach- und Deckenkonstruktion von Kuppel und Apsiden prinzipiell folgendermaßen zusammengesetzt waren:

- einlagige Bitumen-Schweißbahn
- 5 cm mineralische Dämmung
- fünflagige Bitumen-Dachbahn
- 6-9 cm Stahlbetonplatte
- 2,5 cm Korkplatte
- 5 cm Luftschicht
- 3 cm zementgebundene Holzfaserplatte

Die Apsiden- und Kuppeldächer schienen seit ihrer letzten Sanierung im Jahr 1998 dicht zu sein; ihre thermische Isolierung war jedoch weiterhin unzureichend. Im Zuge der bevorstehenden Fassadeninstandsetzung hätten die Schweißbahnen teilweise gelöst werden müssen. Außerdem entsprach die Abdichtung der oberen Dachebenen nicht mehr dem aktuellen Stand der Technik und es bestand das Risiko, sie während der Bauarbeiten zu beschädigen. Daher wurde vom Gutachter nahegelegt, die Abdichtung der Apsiden- und Kuppeldächer nach Abschluss der Betonsanierung zu

¹² vgl. Persona 2007, S. 14, 37, 42 f; Konarzewski et al. 2009.

erneuern und zugleich eine angemessene Wärmedämmung einzubauen – ähnlich wie es im Jahr 2007 bereits am Flachdach des Rundgangs durchgeführt worden war.

Im Dachbereich befinden sich außerdem technische Einrichtungen unterschiedlichen Alters. Der Großteil der Installationen – z. B. zahlreiche Leitern mit einer Gesamtlänge von 64 m und der 8,5 m hohe Fahnenmast der Laterne samt Podest und Balustrade – stammt aus der Zeit der Dachsanierung von 1998. Einige weitere kurze Leitern mit einer Gesamtlänge von etwa 6 m sowie die Balustrade des externen Stiegenhauses stammen aus der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts. Generell befanden sich die Metallelemente in einem guten Zustand, sollten aber im Zuge der Sanierungsarbeiten revitalisiert werden.

8.12 Holzfenster¹³

Die Jahrhunderthalle besitzt großzügige Fensterflächen von insgesamt knapp 2 800 m² – ca. 25 % der Fassadenfläche. Die Form der von außen eingepassten Einfachfenster variiert je nach Fassadenebene sowohl in den Abmessungen als auch in der Anzahl der Fensterflügel. Die Größen der Holzfenster betragen zwischen 1,2 und 7,7 m². Auf den oberen Fassadenebenen sind sie prinzipiell nach außen öffnend, im ebenerdigen Rundgang öffnen sie nach innen.

Die Glasfläche der Fensterflügel wird durch einen Sprossenrahmen zumeist in sechs Felder geteilt. Die größten Fensteranlagen befinden sich auf den Ebenen III und V, sie sind etwa 4,4 m hoch und 1,8 m breit und als Doppelkreuzstock mit drei übereinander angeordneten Fensterflügel-paaren ausgebildet. Auch die aus 3 x 3 Flügeln bestehende Fensteranlage des nachträglich zugebauten Stiegenhauses sticht aufgrund ihrer Größe und insbesondere wegen ihrer gekrümmten Form hervor.

Die Originalfenster der Jahrhunderthalle wurden aus dem Eisenholz des Kasuarinabaumes (*Casuarina equisetifolia*) gefertigt – einem tropischem Hartholz mit rostroter Färbung, das aufgrund seiner Beständigkeit speziell aus Australien importiert worden war. Die ursprüngliche eingebaute Verglasung bestand aus 3 mm dickem und relativ dunklem Ornamentglas, diese Scheiben wurden jedoch spätestens nach dem Ende des Zweiten Weltkriegs durch gewöhnliches Fensterglas ersetzt.

Im Zuge der Bauzustandsanalyse konnte bestätigt werden, dass die Fenster der oberen Fassadenebenen mehrheitlich noch im Original erhalten waren. Das Holz der zum Teil knapp einhundert Jahre alten Fenster war allerdings stellenweise sehr stark verwittert und vereinzelt war auch die Verglasung beschädigt. Angesichts der jahrzehntelangen Einwirkung atmosphärischer Einflüsse, der mangelhaften Instandhaltung und der unsachgemäß durchgeführten Reparaturen, befanden sich die Fenster generell in einem sehr schlechten Zustand und bedurften einer dringenden Restaurierung.

Die Dauerhaftigkeit der Originalfenster war schon durch die ursprünglich etwas zu klein gewählten Querschnitte der Holzelemente gemindert, vor allem die Sprossen wurden sehr filigran ausgeführt. Zudem wurden bei vorhergehenden Reparaturarbeiten unpassende Ersatzhölzer wie Kiefer oder Fichte verwendet und die Fensterflügel häufig nicht wieder an ihrem ursprünglichen Ort montiert. Durch die ungenaue Einpassung traten zum Teil Vibrationen auf, die eine weitere Beeinträchtigung der Lebensdauer bewirkten.

¹³ vgl. Konarzewski, Konarzewski, Pawłowska 2009, S. 1 f, 5 f, 8; Maciejewska 2009.

Tendenziell waren die Fenster der höheren Ebenen sowie jene, die nach Süden und Westen ausgerichtet sind, stärker verwittert. Eine Ausnahme bilden die Fenster der obersten drei Ebenen, die bereits in den 80er-Jahren instandgesetzt worden sind.

Die 33 Fenster im Erdgeschoss weisen eine Gesamtfläche von ca. 440 m² auf. Da die Räumlichkeiten des Rundgangs ständig genutzt wurden, sind dessen historische Fenster zwischen 1997 und 2006 etappenweise komplett ausgetauscht worden. Ursprünglich handelte es sich ebenfalls um Einfachfenster mit Sprossen, doch die neu eingebauten Exemplare unterschieden sich wesentlich von den Originalen: Es waren neuartige Holzfenster mit Isolierglas, die nur eine innenliegende Scheinsprosse besaßen. Außerdem bestanden die einst hölzernen Tropfleisten nun aus Aluminium und fehlten bei Blindflügen gänzlich. Mit den ehemaligen Sprossenfenstern stimmten nur noch die Abmessungen und weitgehend die Farbe überein. Diese stilistisch unpassenden Fenster sollten im Zuge der Instandsetzung so umgebaut werden, dass sie den Anforderungen des Denkmalschutzes genügen.

Kapitel 9

Schlussfolgerungen aus der Bauzustandsanalyse¹

Im Rahmen der Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass sich der Großteil der Konstruktionselemente der Jahrhunderthalle in einem technisch guten Zustand befand. Diese Tatsache wurde auch durch die bis dahin beinahe einhundertjährige intensive Nutzung ohne wesentliche Schadensfälle bestätigt.

Die meisten Mängel der untersuchten Konstruktionselemente waren auf die Betonoberfläche begrenzt, ebenso wie die Hauptbewehrung der konstruktiven Elemente keine besorgniserregende Korrosion auf. Die vorhandenen Schäden stellten daher keine direkte Gefährdung für die globale Standsicherheit des Bauwerks dar.

Auffallend waren die großen Unterschiede in der Auslastung einzelner Konstruktionselemente. Besonders große Tragreserven besitzen z. B. die Rippenbögen der Kuppel; unzureichende hingegen der Zugring sowie die Stelzenlager. Durch die umfassende Standsicherheitsanalyse kam man zum Schluss, dass die weitere Nutzung der Jahrhunderthalle, unter gewissen Auflagen, wie bisher möglich sei.

Die wichtigste Voraussetzung dafür war, dass bis Ende 2009 eine Absicherung des Zugrings durchgeführt werden sollte. Der unterdimensionierte Zugring stelle zwar keine akute Gefährdung dar – auf längere Sicht würde er jedoch die Sicherheit des Tragwerks stark beeinträchtigen. Daher war eine baldige Verstärkung bzw. Sicherung des Zugrings notwendig. Außerdem sollten in den kommenden Jahren auch die technischen Einrichtungen am Zugring ausgemustert bzw. ordnungsgemäß angebracht werden.

Es wurde empfohlen, eine Sicherung des Zugrings durch das Aufkleben von Kohlefaserbändern an dessen Außenfläche durchzuführen und diese auf die im Querschnitt wirkende Gesamtzugkraft von 6 MN zu bemessen. Ein entsprechender Entwurf sollte unter fachkundiger Leitung im Zuge der Entwurfsplanung entwickelt werden. Die Ausführung solch einer Sanierung sei eine besonders diffizile Aufgabe, die nur von einem fachkundigen Unternehmen mit genügend Erfahrung auf diesem Gebiet durchgeführt werden dürfe.

Notwendig für den Erhalt und die weitere sichere Nutzung der Jahrhunderthalle waren ebenfalls die umfassende Instandsetzung der Fassadenwände, die Sanierung und Absicherung der überbelasteten Laternenkonstruktion als auch die Beseitigung der – verhältnismäßig wenigen – Fehlstellen aller Stahlbetonelemente des Innenraums. Außerdem wurde empfohlen das Flachdach der Kuppel und der Apsiden nach Abschluss der Fassadenarbeiten zu erneuern. Ein umfangreiches Konzept für die behutsame Instandsetzung der Bausubstanz sollte im Einklang mit den Anforderungen des Denkmalschutzes erstellt werden.

Der Gutachter prognostizierte, dass insbesondere die Sanierungsarbeiten an der großflächigen Fassade aufgrund der hohen Anzahl und Vielfalt der Schäden ein bedeutungsvolles, arbeitsintensives und kostspieliges Unterfangen werden würden.

¹ vgl. Persona 2008, S. 45, 61-65; 2007, S. 32, 43-45.

TEIL III

INSTANDSETZUNG UND MODERNISIERUNG IN DEN JAHREN 2009 BIS 2011

Im Zuge der Bauzustandsanalyse wurde, neben der offensichtlich notwendigen Instandsetzung der Stahlbetonfassade samt Holzfenster, insbesondere die unzureichende Tragsicherheit des Zugrings der Rippenkuppel festgestellt. Eine dringende Absicherung dieses wichtigen Konstruktionselements wurde gefordert. Außerdem sollten auch die Verstärkung der Laternenbinder sowie die Sanierung der schlecht isolierten Flachdächer vorgenommen werden. Basierend auf den Erkenntnissen und Empfehlungen des Gutachters wurden entsprechende Sanierungsmaßnahmen ausgearbeitet, die die bautechnischen Erfordernisse mit den Auflagen der Denkmalbehörden in Einklang brachten. Die erste umfassende Sanierung und Modernisierung der Jahrhunderthalle seit ihrer Errichtung wurde daraufhin in zwei großen Phasen in den Jahren 2009 bis 2011 durchgeführt.



Abb. III.9.1: Die Jahrhunderthalle nach ihrer Instandsetzung (2014)

Zunächst erfolgte im Zeitraum März 2009 bis Mai 2010 unter weitgehender Aufrechterhaltung des Normalbetriebs die Instandsetzung des äußeren Teils des Bauwerks. Im Rahmen dieser Arbeiten, geleitet von der österreichische Firma ALPINE Bau GmbH als Generalunternehmer, wurde auch der Zugring mittels eines extern angebrachten Vorspannsystems permanent konstruktiv abgesichert.

Die zweite Sanierungsphase dauerte von Jänner bis September 2011 und umfasste die Restaurierung und teilweise Neugestaltung des Innenraums sowie den Austausch der technischen Gebäudeausrüstung. Die Modernisierung der Innenausstattung war notwendig, um den heutigen Ansprüchen mannigfaltiger Veranstaltungen gerecht zu werden und auch im 21. Jahrhundert als attraktiver Austragungsort für verschiedenartige Großveranstaltungen zu gelten. Seither besitzt die Jahrhunderthalle erstmalig auch ein modern ausgestattetes Besucherzentrum.

Aufgrund fehlender finanzieller Mittel sowie terminlicher Vorgaben war man gezwungen, die Modernisierung der Multifunktionshalle in zwei Etappen durchzuführen. Sobald die Finanzierung der zweiten Ausbaustufe sichergestellt ist, soll die Kapazität des Versammlungsraums auf 10 000 Sitzplätze erhöht und die Ausstattung der Jahrhunderthalle weiter verbessert werden; u. a. mit dem Einbau eines motorisierten Hubbodens und zusätzlicher mobiler Tribünen. Die Fertigstellung dieser Zusatzfunktionen ist für 2016 geplant¹.

¹ vgl. Matejuk 2015

Kapitel 10

Sanierung der Fassade und Flachdächer

Die Fassadensanierung der Jahrhunderthalle umfasste die Beseitigung von Schäden und Mängeln der Betonkonstruktion sowie die Reinigung und farbliche Vereinheitlichung der Sichtbetonflächen. Außerdem wurden die originalen Holzfenster restauriert und die Dachdeckung samt der Entwässerungs- und Blitzschutzeinrichtungen erneuert. Insgesamt galt es ca. 11 000 m² Fassadenfläche, inkl. knapp 2 800 m² Fensterfläche, und etwa 7 500 m² Dachfläche so schonend wie möglich zu bearbeiten.

Vom Bauherrn wurde gefordert, dass die Jahrhunderthalle und die umliegenden Flächen während dieser Sanierungsphase ohne größere Einschränkungen genutzt werden können. Um diese Bedingung erfüllen zu können, waren eine besonders genaue Koordination der Arbeiten sowie die spezielle Anpassung der Baustelleneinrichtung erforderlich.

Während das Gebäude außen instandgesetzt wurde, fanden im Inneren regelmäßig Konzerte, Ausstellungen und Messen statt. In diesem Zeitraum wurden sogar hochrangige Sportveranstaltungen, nämlich die Europameisterschaften in Basketball und Volleyball, in der Jahrhunderthalle ausgerichtet.¹

10.1 Instandsetzung des Stahlbetons

Gemäß den strengen Anforderungen des Denkmalschutzes hatte das Instandsetzungskonzept zum Ziel, alle Schäden und Mängel der Fassade dauerhaft zu beseitigen ohne das ursprüngliche Erscheinungsbild der Jahrhunderthalle zu verändern. Um die historische Charakter der Fassade zu bewahren, sollten sich die Eingriffe in die Bausubstanz daher auf das nötige Minimum beschränken. Insbesondere musste darauf geachtet werden, die ursprünglich bewusst als Gestaltungselement belassenen Schalungsspuren zu erhalten; aber auch unbedenkliche Kiesnester und andere kleine Imperfektionen der Betonoberfläche sollten belassen werden. Demnach war eine großflächige systematische Oberflächenbehandlung mit Sandstrahlen, Spachtelung und Acrylanstrich – wie es zumeist bei anderen Stahlbetonbauten wie Brücken, Silos, Kühltürmen etc. durchgeführt wird – ausgeschlossen.²

Die Architekturplanung der äußeren Instandsetzung wurde vom Planungsbüro APP Konarzewski durchgeführt. Mit der Ausführung dieser Arbeiten, ebenso wie der Absicherung des Zugrings und Dachsanierung, wurde die Breslauer Firma Polskie Mosty Sp. z o.o. beauftragt.

¹ vgl. Huber, Mikołajonek, Filipczak 2010, S. 732 f.

² vgl. Konarzewski 2009a, S. 371 f., 380.



Abb. 10.1 (li.): Gesicherte Efeustümpfe



Abb. 10.2 (re.): Südwest-Wand des Erdgeschosses von Efeu freigelegt

10.1.1 Vorbereitung und Reinigung Betonoberfläche³

Die Fehlstellen der Fassade wurden zunächst dokumentiert, kartiert und klassifiziert. In Abhängigkeit von Art und Ausmaß des jeweiligen Schadens wurden anschließend spezifische Vorgehensweisen für die fachgerechte Instandsetzung festgelegt.

Die tiefgreifenden Betonschäden der Jahrhunderthalle lassen sich entsprechend der notwendigen Reparaturmaßnahmen grob in die folgenden drei Kategorien zusammenfassen:

- Abplatzungen und Betonausbrüche
- Risse unterschiedlicher Breite, Tiefe und Länge
- Bewegungsfugen; gezielt hergestellt oder durch Zwängungen hervorgerufen

Vor Beginn der eigentlichen Reparaturarbeiten wurde der Efeu von den Fassadenwänden entfernt und dessen Stümpfe für die bevorstehenden Arbeiten geschützt (siehe Abb. 10.2 und Abb. 10.1). Anschließend wurden lose Betonstücke, minderfester Beton und schalenartige Abplatzungen bis zum festen Betongefüge abgetragen. Oberflächennahe Fehlstellen und Hohlräume wurden dabei durch Abklopfen des Betons lokalisiert. Außerdem wurden diverse Mörtel, Harze und bituminöse Stoffe entfernt, die bei vorangegangenen Reparaturarbeiten – oft unsachgemäß – aufgebracht worden sind. In diesem Arbeitsschritt erfolgte auch das Stemmen des Betons in unmittelbarer Umgebung korrodierter Bewehrungsstäbe, um diese für die weitere Behandlung freizulegen (siehe Abb. 10.3. und Abb. 10.4). Zum Schutz des intakten Betongefüges erfolgte die Abtragung manuell bzw. mit einem leichten Elektrohammer. Die zum Teil vollkommen freigelegte Bewehrung sollte dabei möglichst wenig erschüttert werden, um den Verbund sowie den tieferliegenden Beton nicht zu beeinträchtigen. Kleinere Fehlstellen und Auswaschungen des Sichtbetons, die sich weder markant von der umgebenden Oberfläche unterschieden noch dessen Dauerhaftigkeit beeinträchtigen, wurden aus Gründen des Denkmalschutzes bewusst belassen.

Anschließend wurde die gesamte Sichtbetonoberfläche mit der sogenannten JOS-Methode, einem Niederdruck-Rotations-Wirbelstrahlverfahren, schonend gereinigt (siehe Abb. 10.6 und Abb. 10.7). Die zuvor aufgestemmteten Betonflächen wurden in einem zweiten Schritt ein weiteres Mal

³ vgl. Konarzewski 2009a, S. 371 f; Czarniecki, Czerek 2013, S. 85; Persona, Bartosik, Papinska 2009, S. 36-38.



Abb. 10.3 (li.): Stemmen von minderfestem Beton mit leichtem Elektrohammer



Abb. 10.4 (re.): Fragment der Fassade mit abgetragenen geschädigten Beton

mit demselben Verfahren behandelt, um für die weiteren Reparaturschritte sicherzustellen, dass die freigelegte Bewehrungsfläche fachgerecht bis zum Reinheitsgrad Sa 2½ entrostet und der Betonuntergrund sauber ist (siehe Abb. 10.5). Stark korrodierte und fehlende Bewehrungsstäbe wurden durch Zulagebewehrung ergänzt.

Das JOS-Verfahren⁴

Beim JOS-Verfahren wird Strahlgut – in diesem Fall Quarzpulver – durch eine spezielle Düse bei sehr niedrigem Luftdruck (0,5-1,5 bar) und geringem Wasserzusatz (max. 60 l/h) in einem Luft-Wasser-Granulatwirbel ausgespritzt. Durch den sehr hohen Luftanteil wird das Strahlgut radial auseinandergetrieben, wodurch ein kegelförmiger Strahl entsteht (siehe Abb. 10.8). Der Luftdruck nimmt dabei ca. proportional zum Quadrat der Entfernung vom Düsenaustritt ab.



Abb. 10.5 (li.): Detail des Gesimses, vorbereitet für die Instandsetzung



Abb. 10.6 (re.): Vergleich: gereinigte und ursprüngliche Betonfläche

⁴ vgl. o. V. Jos-Verfahren 2015.



Abb. 10.7 (li.): Reinigung der Fassade mittels Niederdruck-Rotations-Wirbelstrahlverfahren

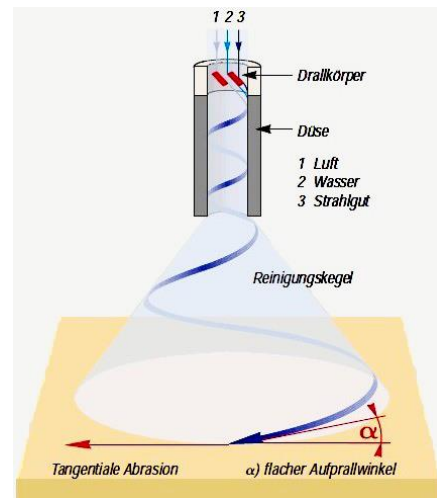


Abb. 10.8 (re.): Niederdruck-Rotations-Wirbelstrahlverfahren, schematische Darstellung

Im Gegensatz zum gewöhnlichen Sandstrahlen erfolgt die Reinigung nicht nur indem die Strahlpartikel gegen die Oberfläche geschleudert werden, sondern vielmehr dadurch, dass sie im Luft-Wassergemisch an der Oberfläche entlanggleiten. So ist es möglich Verunreinigungen schonend zu entfernen, ohne dabei den Beton abzutragen, zu verfärben oder dessen Struktur zu verändern.

10.1.2 Rissanierung⁵

Die Rissanierung hat zum Ziel, die Betonoberfläche durch Verfüllen der Risse wieder abzudichten und somit das Eindringen korrosionsfördernder Stoffe zu hemmen. Als Füllmaterial bei der Rissanierung der Jahrhunderthalle wurde vorwiegend schnell erhärtendes Epoxidharz (StoJet IHS) eingesetzt – in Summe wurden ca. 1 200 l benötigt.

Mit dem Epoxidharz werden die Rissflanken starr und kraftschlüssig miteinander verbunden. Bei dessen Anwendung muss darauf geachtet werden, dass die Rissflanken trocken sind und die temperaturabhängige Verarbeitbarkeitsdauer des Füllstoffs genau eingehalten wird. Daher mussten diese Reparaturarbeiten bei günstiger Witterung durchgeführt werden. Bei beweglichen Rissen ist außerdem darauf zu achten, diese möglichst dann zu verfüllen, wenn sie am weitesten geöffnet sind.

Oberflächennahe Rissen mit Rissbreiten bis zu 0,2 mm wurden manuell durch Tränkung versiegelt: Nach der Reinigung des Risses durch Ausblasen wurde das Epoxidharz entlang des Rissverlaufs mittels Pinselverfahren aufgetragen. Aufgrund der Kapillarkwirkung dringt das Füllmaterial in weiterer Folge von selbst tiefer in den Riss ein. Das Auftragen des Epoxidharzes wurde in Abständen von einigen Minuten so lange wiederholt, bis der Riss keinen weiteren Füllstoff mehr aufnahm.

Breitere Risse, die teilweise auch in tiefer liegende Hohlstellen des Betons hineinreichten, wurden mittels Injektionen verpresst. Das Füllmaterial wurde üblicherweise mit Hilfe von Bohrpäckern mit

⁵ vgl. Huber, Mikołajonek, Filipczak 2010, S. 733 f; Persona, Bartosik, Papinska 2009, S. 37-40.



Abb. 10.9: Rissinjektion mittels Bohrpackern



Abb. 10.10: Rissanierung mittels Klebepackern

Druck in den Riss eingebracht (siehe Abb. 10.9). Für das Einsetzen dieser speziellen Füllstutzen wurden Injektionsöffnungen so entlang des Risses gebohrt, dass sie alternierend in einem Abstand von etwa 10 bis 15 cm auf unterschiedlichen Seiten des Rissufers liegen und den Riss im Betoninneren kreuzen. Bei besonders großen Rissweiten sollte durch das Einbringen zusätzlicher Bewehrungsstäbe in die Injektionsöffnungen ein stärkerer Verbund erzielt werden. An jenen Stellen, wo Bohrungen schwer durchzuführen waren oder nur niedrige Injektionsdrücke angewandt werden konnten, z.B. bei dünnen Bauteilen oder Rissen in der Nähe von Kanten, wurden Klebepacker verwendet, die beim Verdämmen der Rissöffnung direkt über dem Riss positioniert werden (siehe Abb. 10.10).

Nachdem lose Teile von den Rissufern entfernt wurden, erfolgte die Reinigung des Risses mittels Druckluft, um ihn von Feinstoffen zu befreien. Im nächsten Arbeitsschritt wurde der Riss mit speziellem Risspachtel verdämmt – im Fall von Trennrissen, auch an der gegenüberliegenden Wandfläche. Für die Entlüftung und zur Füllkontrolle wurden die Risspitzen – bei senkrechten Rissen nur die obere Risspitze – auf einer Länge von etwa 3 mm ausgespart.

Sobald der Risspachtel ausreichend erhärtet war, konnte das Reaktionsharz mittels Injektionsanlage von unten beginnend in den Riss eingepresst werden. Nach Aushärten des Füllmaterials wurden schließlich die Packer abmontiert, die Verdämmung entfernt und die Injektionsöffnungen verspachtelt.

10.1.3 Fugensanierung⁶

Ebenso wie bei Rissen können Schadstoffe über undichte Fugen in den Baustoff eindringen und die Korrosion von Beton und Bewehrung bewirken. Ziel der Fugensanierung ist es eine dauerhafte Abdichtung zu erreichen, die hinsichtlich der Relativbewegung beider Bauteile ausreichend flexibel ist.

⁶ vgl. Persona, Bartosik, Papinska 2009, S. 37-40.



Abb. 10.11: Auftrag von Reparaturmörtel am Gesims



Abb. 10.12: Reprofilierung der Betonoberfläche des externen Stiegenhauses

Bei der Reparatur wurden die Fugenflanken zunächst bis zu einer Tiefe von mindestens 10 cm von alten Dichtstoffen und losen Betonstücken gesäubert. Anschließend wurden die Flanken mit Hilfe von Diamantscheiben so vorbehandelt, dass sie möglichst parallel und geradlinig verlaufen. Beschädigte Kanten wurden mit Reparaturmörtel ausgebessert.

Die so vorbereiteten Fugen wurden angefeuchtet und anschließend mit schnellschäumenden Polyurethan Injektionsharz (StoJet PU VH) hinterfüllt. Der Abschluss erfolgte mit einem farblich angepassten Dichtstoff, der von oben nach unten mit einer konkaven Begrenzungsfläche in die Fuge eingebracht wurde.

10.1.4 Auffüllung von Ausbruchsstellen und Reprofilierung⁷

Bei der Reparatur von Ausbrüchen und Reprofilierung von Betonfassaden ist das Finden des richtigen Reparaturmörtels eine der größten Herausforderungen, um eine möglichst originalgetreue Struktur und Farbe der Betonoberfläche zu erzielen.

Bei der Instandsetzung der Jahrhunderthalle wurden Reprofilierungsmörtel der Firma StoCrete GmbH verwendet, nämlich den Grobmörtel *TG202* für Schichtdicken von 6-30 mm sowie das Produkt *TG204* für Schichtdicken von 12-50 mm. Bei tieferen Ausbrüchen erfolgte die Reparatur mehrlagig, wobei als Füllmaterial *StoCtete BE Mörtel grob* zur Anwendung kam. Für den oberflächlichen Ausgleich mit Schichtdicken von 2-5 mm wurde der kunststoffmodifizierte *Feinspachtel StoCrete TF200* gewählt. Insgesamt wurden für die Instandsetzung der Sichtbetonfassade etwa 30 m³ Reparaturmörtel benötigt.

Die Dauerhaftigkeit der Reparaturen hängt wesentlich vom Haftverbund zwischen den Instandsetzungsmaterialien und dem Betonuntergrund ab. Bevor mit der Reprofilierung begonnen werden konnte musste daher gewährleistet werden, dass die Verbundfestigkeit ausreicht um Spannungen aus der unterschiedlichen thermischen Verformung der Materialien sicher aufzunehmen. Lt. Herstellerangaben wird daher vorausgesetzt, dass die Betonzugfestigkeit des Untergrundes im Mittel nicht geringer als 1,5 N/mm² ist und der Minimalwert 1,0 N/mm² nicht unterschreitet. Außerdem musste darauf geachtet werden, dass die Umgebungstemperatur als auch die Temperatur des Betonuntergrundes während der Ausbesserungsarbeiten zwischen 10 und 25°C liegt.

⁷ vgl. Persona, Bartosik, Papinska 2009, S. 37-40; Huber, Mikołajonek, Filipczak 2010, S. 734.



Abb. 10.13: Erdgeschosswand mit frisch instandgesetztem Beton



Abb. 10.14: Reprofilierter Betonfläche im Detail

Bevor der Reparaturmörtel aufgebracht werden konnte, musste der Untergrund entsprechend vorbereitet werden. Hierfür wurde die Bewehrung zunächst direkt nach dem Entrosten mit einer Schicht *StoCrete BE Haftbrücke* als Korrosionsschutz bestrichen. Nach einer Wartezeit von mindestens 3 Stunden wurde eine weitere Schicht desselben Produkts – diesmal als Haftbrücke – auf den mattfeuchten Betonuntergrund aufgebracht und ein weiteres Mal auch auf die bereits behandelte Bewehrung. Daraufhin wurde der entsprechende Reparaturmörtel ein- oder mehrschichtig in die Ausbruchsstelle eingebracht. Bei der abschließenden Nachbehandlung der Betonoberfläche wurden die Abdrücke der ursprünglichen Verschalung und Textur des originalen Betons so gut wie möglich wiederhergestellt. Wenn im Fall von größeren Fehlstellen die genaue Rekonstruktion der Oberfläche nicht mehr möglich war, wurde die Betonoberfläche an die Struktur des umliegenden Sichtbetons angepasst. (siehe Abb. 10.11 bis Abb. 10.14)

10.1.5 Farbliche Anpassung der Fassadenflächen⁸

Den Abschluss der Betoninstandsetzungsarbeiten bildete die farbliche Vereinheitlichung des Sichtbetons. Diese Maßnahme war nicht unumstritten, denn lange Zeit waren sich Historiker einig, dass der Architekt Max Berg stets die Absicht hatte, den rohen Beton der Jahrhunderthalle zu exponieren und die Sichtbetonfassade unbehandelt zu belassen*. Dies war auch das Erscheinungsbild des Bauwerks, das sich dem Betrachter in den letzten Jahrzehnten vor der Instandsetzung bot.

Bei stratigraphischen Untersuchungen der Betonoberflächen der Jahrhunderthalle wurden an der gesamten Fassade allerdings Reste von diversen Farbanstrichen festgestellt. Insgesamt wurden zehn Farbproben im Labor getestet. Die dünn-schichtigen und teilweise halbtransparenten Anstriche stammten höchstwahrscheinlich aus den 1930er-Jahren. Untersuchungen ergaben, dass es sich um Kalkfarbe mit Eisenoxidpigmenten handelt. Es dominierten Ockertöne, jedoch konnte für die gesamte Fassade kein einheitlicher Farbton identifiziert werden. Die tatsächlich an den Betonoberflächen wahrgenommene Farbe ergab sich aus dem Zusammenspiel mehrerer Faktoren: vor allem aus dem exakten Farbton des Anstrichs, der Dicke der Farbschicht, der Belichtung und den Eigenschaften des Untergrundes – insbesondere der Art der Betonzuschlagstoffe und der

⁸ vgl. Saraczyńska 2009; Konarzewski 2009a, S. 373 f; Laska 2011b, S. 13-17; Czarniecki, Czerek 2013, S. 86 f.

* Diese These vertrat allen voran auch Jerzy Ilkosz, Architekturtheoretiker und Direktor des Breslauer Bauarchivs sowie des Breslauer Architekturmuseums, der sich lange Zeit dem Schaffen Max Bergs widmete.



Abb. 10.15: Probeanstriche zur Farbtonbestimmung des Anstrichs



Abb. 10.16: Auftrag des Lasuranstrichs

Oberflächenstruktur. Durch jahrzehntelange atmosphärische Einflüsse kam es zu großflächigen Auswaschungen sowie Farbtonveränderungen. Außerdem war der ehemalige Anstrich der Jahrhunderthalle durch die Verschmutzung der Fassade sowie die zahlreichen Schäden und provisorischen Reparaturen nur mehr schwer erkennbar.

Seitens des Denkmalschutzamtes wurde der Beschluss gefasst den instandgesetzten Sichtbeton durch eine zweischichtige Lasur in einem goldgelben Ockerfarbton farblich zu vereinheitlichen. Die Wahl des exakten Farbtons und der Deckkraft wurde vom Denkmalausschuss getroffen. Zunächst wurden hierfür Probeanstrichen an einer ausgewählten Stelle der sanierten Fassade durchgeführt (siehe Abb. 10.15). Um eine dauerhafte Lösung und zugleich eine möglichst gute Übereinstimmung mit dem ursprünglichen Anstrich zu erzielen und dabei die Sichtbetonoptik sowie Oberflächenstruktur weitestgehend zu erhalten, wurde eine Mineralfarbe auf Sol-Silikatbasis mit sehr feinen anorganischen Pigmenten und Füllstoffen gewählt*.

Für eine gleichmäßige Oberflächenfärbung mussten die Parameter stets an den Betonuntergrund der jeweiligen Fassadenflächen angepasst werden. Sichtbetonoberflächen mit stark ausgewaschenem Bindemittel wurden vor dem Anstrich mit einem Grundiermittel behandelt, um die Hohlräume zu füllen und das Korngerüst zu festigen.

Eigenschaften der verwendeten Silikatfarben

Bei Silikatfarben reagiert das Bindemittel Kaliwasserglas chemisch mit dem mineralischen Untergrund. Bei der sogenannten Verkieselung entsteht eine feste und unlösliche Verbindung mit der Betonoberfläche. Die hohe Lebensdauer und Beständigkeit des Farbtons wird überdies durch die UV-Stabilität des anorganischen Bindemittels sowie der Pigmente und Füllstoffe sichergestellt.

Das der Farbe beigesetzte Hydrophobierungsmittel reduziert das Eindringvermögen von Wasser und korrosionsfördernden Stoffen in die Bausubstanz deutlich. Die Wasserdampfdurchlässigkeit der Betonoberfläche wird durch Silikatanstriche und die Hydrophobierung praktisch nicht verändert, sodass die im Baukörper enthaltene Feuchtigkeit weiterhin nach außen diffundieren kann.

* Mischung aus KEIM Concretal-Lasur und KEIM Concretal-Fixativ.

Dank der hohen Alkalinität des Bindemittels sowie der wasserabweisenden Wirkung des Anstrichs, erhöhen sich der Frostwiderstand der Fassade sowie der Schutz vor Verschmutzung durch Algen, Moose und Pilze.

10.2 Instandsetzung der Fenster⁹

Das Erscheinungsbild der Jahrhunderthalle wird wesentlich von den breiten Fensterbändern der Kuppel- und Apsidenaufbauten geprägt. Die großteils im Original erhaltenen Sprossenfenster befanden sich nach knapp einhundert Jahren Nutzung in einem desolaten Zustand. Die Renovierung der Holzfenster der oberen Ebenen war bei einer Gesamtfläche von knapp 2 500 m² daher ein sehr kosten- und arbeitsintensiver, aber wichtiger Teil der Sanierungsarbeiten. Ebenso wichtig war auch die Wiederherstellung der historischen Gestalt der 33 Fenster des ebenerdigen Rundgangs, die bei früheren Instandsetzungen als stilistisch unpassende Modelle eingebaut wurden.

Die Instandsetzung der Fenster wurde im Zeitraum April 2009 bis März 2010 von der Firma AGAD Sp. z o.o. aus Toruń durchgeführt. Der Leistungsumfang umfasste auch die Sanierung einer Metalltür des externen Stiegenhauses sowie zweier Türen, die aufs Dach der Ebene II führen.

10.2.1 Renovierung der Fenster der Kuppel und Apsiden

Die insgesamt 611 historischen Holzfenster der Kuppel und Apsiden wurden vor dem Ausbau gereinigt und nummeriert. Für jedes Fenster wurde eine Karteikarte angelegt, darauf wurden die jeweiligen Schäden dokumentiert, die notwendigen Sanierungsmaßnahmen der einzelnen Bestandteile vermerkt und in weiterer Folge auch die durchgeführten Arbeiten erfasst.

Der Denkmalausschuss beschloss, dass jene Fenster, die in der Zwischen- und Nachkriegszeit ausgetauscht wurden, erhalten werden können. Sie sind nach dem Originalmuster und aus entsprechendem Hartholz hergestellt worden. Die stilistisch unpassenden Beschläge mussten jedoch durch originalgetreue Nachbildungen ersetzt werden.

Nach dem Aushängen der Fensterflügel und der Demontage der Blendrahmen wurden die Fenster für den Transport entsprechend vorbereitet und zur weiteren Behandlung per LKW in die Werkstatt der Firma AGAD nach Toruń gebracht. Die Fensteröffnungen wurden für die Dauer der Instandsetzungsarbeiten mit Grobspanplatten gesichert.

Im der Werkstatt wurden die Fensterflügel auseinandergebaut. Zunächst wurden hierbei der Fensterkitt und die Fixierungsstifte entfernt und die Verglasung entnommen. Anschließend wurden alle Metallteile wie Griffe, Beschläge, Fensterwinkel etc. entfernt, sofern sie nicht schon für den Transport abmontiert wurden. Einzig die Scharniere wurden nicht ausgebaut, sondern direkt am Rahmen bearbeitet, um das Holz nicht zu schwächen. Die Holzelemente wurden in weiterer Folge mit Schleifpapier und Druckluft entlackt. Danach wurden die Holzverbindungen gelöst und die Fenster- und Flügelrahmen in ihre Einzelteile zerlegt.

Aufgrund der weit fortgeschrittenen Verwitterung war eine Restaurierung der kompletten Holzfenster nicht mehr möglich. Bei der Renovierung wurden daher alle Teile, die nicht mehr mit restauratorischen Möglichkeiten wiederhergestellt werden konnten, durch Nachbildungen ersetzt. Den Grundsätzen der Denkmalpflege zufolge, hätten die neuen Elemente aus dem ursprünglich verwendeten Holz des australischen Kasuarinabaumes (*Casuarina equisetifolia*) erzeugt werden

⁹ vgl. Lewandowski 2010; Konarzewski, Konarzewski, Pawłowska 2009; Maciejewska 2009; Huber, Mikołajonek, Filipczak 2010, S. 735.

müssen. Mittlerweile ist dieses Tropenholz als Werkstoff allerdings nicht mehr erhältlich. Somit war man gezwungen auf eine andere Holzart auszuweichen und es wurde beschlossen das afrikanische Tropenholz Iroko (*Chlorophora excelsa*) für die Renovierungsarbeiten zu verwenden, da es ähnliche Eigenschaften wie Kasuarholz aufweist und sich am besten für die Reparaturarbeiten eigne. Beim Iroko unterscheidet sich das eher blasse Splintholz stark vom dunkleren gelbbraunen Kernholz. Um dem Kasuarholz in Farbe und Struktur möglichst gut zu entsprechen, war daher eine sorgfältige Auswahl des vorwiegend aus Kamerun und der Elfenbeinküste importierten Tropenholzes notwendig.

Bei der Instandsetzung der Fenster war man bemüht die historischen Materialien soweit als möglich zu erhalten. Kleinere Schäden der Holzelemente wurden mittels Holzflicken repariert (siehe Abb. 10.17). Lokale Fehlstellen mit einer Fläche von maximal 2 cm² wurden mit Holzspachtel geschlossen. Fenster, die zu über 50 % aus irreparablen Komponenten bestanden, wurden komplett erneuert, wobei die noch intakten Elemente zur Reparatur anderer Fenster wiederverwendet wurden. Insgesamt mussten ca. 30 m³ Iroko für die Reparatur der Fenster verarbeitet werden.

Insbesondere wurden alle Sprossen ersetzt, da die Originalelemente zu klein dimensioniert waren und sich daher in einem sehr schlechten Zustand befanden. Um eine ausreichende Dauerhaftigkeit sicherzustellen, wurden die rekonstruierten Sprossen mit etwas größeren Querschnittshöhen hergestellt. Auch die Wetterschenkel der Fenster wurden durch neue Elemente ersetzt. Sie waren aufgrund der intensiven Beanspruchung durch abfließendes Regenwasser naturgemäß besonders stark verwittert. Außerdem wurden alle Fenster bzw. Fensterteile ausgewechselt, die bei vorhergegangenen Reparaturen aus unpassenden Hölzern produziert worden sind. Dies betrifft vorwiegend die Fenster der obersten drei Fassadenebenen.

Nachdem die Holzelemente repariert waren, wurden die Rahmen wieder zusammengesetzt und imprägniert. Um einen einheitlichen Farbton der geflickten Holzoberfläche wiederherzustellen, wurden die Fensterteile zunächst mit einem farbigen Grundanstrich versehen und schließlich mit braunem Sprühlack lasiert.

Von den zuvor abmontierten Metallelementen wurden alle nicht-originalen Teile aussortiert. Die Originalkomponenten wurden restauriert und die fehlenden bzw. nicht stilgerechten Elemente durch Kopien ersetzt. Abschließend wurden die Metallteile in einem galvanischen Verfahren schwarz gefärbt. Die Scharniere hingegen wurden direkt auf den Holzleisten mit Messingbürsten von Schmutz und Flugrost befreit, mit einer Alkydharz-Zinkphosphat Grundierung als Korrosionsschutz bestrichen und anschließend schwarz lackiert. (siehe Abb. 10.18)

Bei der Verglasung der Fenster wurden ähnliche Scheiben verwendet, wie sie Max Berg ursprünglich für die Jahrhunderthalle vorgesehen hatte, die aber wegen einer falschen Lieferung nie montiert worden waren. Gerichtsakten zufolge hat der Architekt bei seiner Bestellung die Farbbezeichnung *Gelb 21* angegeben. Aufgrund eines Irrtumes der beauftragten Glashütte erfolgte die Lieferung der Scheiben im Jahr 1913 jedoch in einem dunkleren Farbton. Wegen des straffen Zeitplans wurden die Fenster mit dem falsch gelieferten Glas versehen. Die Stadt Breslau leitete jedoch ein Gerichtsverfahren gegen den Hersteller ein, das sich über mehrere Jahre hinzog und letztlich, durch den Ausbruch des Ersten Weltkriegs abgebrochen wurde. Das ursprünglich eingesetzte Glas wurde großteils während des Zweiten Weltkriegs zerstört und daraufhin durch gewöhnliches Fensterglas ersetzt.

Der exakte Farbton des für die aktuelle Instandsetzung benötigten Glases, konnte anhand des glücklichen Fundes eines im Original erhaltenen Musters von *Gelb 21* bestimmt werden. Das einzige



Abb. 10.17: Reparatur mittels Holzflicken



Abb. 10.18: Instandgesetzter Fenstergriff

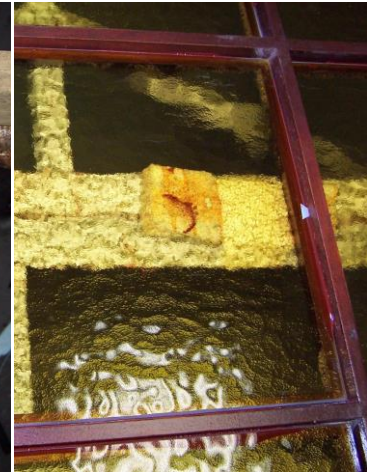


Abb. 10.19: Neuverglasung mit ockerfarbenem Ornamentglas

bekannte Exemplar stammt aus der Dekorglas-Privatsammlung des letzten Direktors der ehemaligen Glashütte aus Pirna. Der Denkmalausschuss verglich diese Probe mit aktuell verfügbaren Dekorgläsern und entschied, dass das 4 mm dicke ockerfarbene Ornamentglas mit der Produktbezeichnung *Kathedral Mingelb 38* der Firma Saint-Gobain Glass, dem Original am ehesten entspricht. Beim Verglasen der Flügelrahmen wurden insgesamt 11 328 Scheiben dieses Einscheibensicherheitsglases in zahlreichen unterschiedlichen Formaten und einer Gesamtfläche von etwa 2 000 m² eingebaut. Die Gläser wurden zunächst mit Stahlstiften im Holzrahmen fixiert und anschließend mit braunem Silikon versiegelt. (siehe Abb. 10.19)

In der Werkstatt wurden abschließend die Beschläge montiert und die Fensterflügel in die Blendrahmen eingepasst. Auf Empfehlung von Marian Persona wurde zwischen Fensterflügeln und Blendrahmen keine umlaufende Dichtung eingebaut, um den nötige Luftwechsel im Gebäude nicht zu unterbinden. Es wurden punktuell lediglich Noppen am Falz angebracht, die Vibrationen verhindern und einen festsitzenden Verschluss der Fensterflügel sicherstellen sollen.

Nach dem Rücktransport zur Baustelle wurden die Fensterstöcke mit neuen Mauerankern in den Fensteröffnungen befestigt und mit Montageschaum abgedichtet. Die Bauanschlussfugen wurden an der Außenseite mit hölzernen Deckleisten verblendet und innen mit grauem Silikon versiegelt.

10.2.2 Sanierung der Fenster des Rundgangs

Die Fenster des ebenerdigen Rundgangs sind bereits zwischen 1997 und 2006 ausgetauscht worden. Die neuen Fenster waren stilistisch jedoch unpassend und entsprachen nicht den Anforderungen des Denkmalschutzes. Um dem ursprünglichen Erscheinungsbild der Sprossenfenster besser zu entsprechen, beschlossen die Denkmalschutzbeauftragten Änderungen an diesen Fenstern vorzunehmen.

Die Originale wurden durch den Einbau von sogenannten Wiener Sprossen imitiert. Die neu eingesetzten Sicherheits-Isoliergläser besitzen sowohl innenliegende als auch äußere Sprossen-Attrappen. Die äußeren Sprossenrahmen bestehen aus Holz und sind direkt auf die Isolierglasscheiben geklebt. Die zwischen den Scheiben liegenden Aluminiumrahmen erhielten eine rotbraune Färbung, die der Farbe des Fensterrahmens entspricht. Außerdem wurden die Aluminium-Tropfleisten durch solche aus Holz ersetzt. Auch die Blindflügel wurden aus optischen Gründen mit hölzernen Tropfleisten nachgerüstet.

10.3 Instandsetzung der Flachdächer¹⁰

Die Sanierung der unbelüfteten Flachdächer umfasste die thermische Isolierung und die Erneuerung der Abdichtung der oberhalb des Rundgangs, die Wiederherstellung der Dachentwässerung, den Austausch der gesamten Blitzschutzanlage sowie die Instandsetzung der übrigen technischen Gebäudeausstattung im Außenbereich. Der Dachaufbau des ebenerdigen Hallenrundgangs wurde bereits im Jahr 2007 saniert und war deshalb nicht Teil der Ausschreibung.

Mit der Instandsetzung der Warmdächer wurde die Firma Link Sp. z o.o. aus Breslau beauftragt. Um die neue Dachhaut zu schonen, wurde die Dachsanierung erst nach Abschluss aller übrigen Fassadenarbeiten durchgeführt. Insgesamt wurden ca. 7 448 m² Dachfläche mit neuer Wärmedämmung und Abdichtung ausgestattet.

10.3.1 Erneuerung der Wärmedämmung und Abdichtung

Die Sanierungsarbeiten an den Flachdächern begannen mit der Demontage der alten Blitzschutzanlage und Fallrohre. Daraufhin wurden abschnittsweise die Verblechungen abgebaut und die Dachhaut sowie die darunterliegende Isolierschicht abgetragen (siehe Abb. 10.20). Nach der Reinigung der freigelegten Dachkonstruktion wurden die Fehlstellen der Stahlbetonplatten repariert und die Dilatationsfugen fachgerecht abgedichtet. Ferner wurde sichergestellt, dass alle Dachflächen und vor allem die im Gesims verlaufenden Dachrinnen ein ausreichendes Gefälle besitzen, um die ordnungsgemäße Entwässerung zu gewährleisten.

Anschließend wurde auf die Stahlbetonplatten eine Elastomerbitumen-Emulsion als Voranstrich aufgetragen. Neben seiner wasserabweisenden Wirkung bindet dieser den noch vorhandenen Staub und verbessert die Haftfähigkeit der Oberfläche. Es folgte eine 4 mm dicke Ausgleichslage aus Elastomerbitumenbahnen mit Aluminiumeinlage. Diese dient als Dampfsperre und verhindert die Diffusion von Wasserdampf in die Wärmedämmung. In weiterer Folge wurde darauf die 120 mm starke Wärmedämmung, bestehend aus zwei Lagen Steinwolle-Platten mit erhöhter Punktbelastbarkeit, verlegt (siehe Abb. 10.21). Die oberen Platten sind 40 mm dick und hochverdichtet, sie bilden eine feste Unterlage und ermöglichen die Begehung des Flachdaches, ohne die Isolierung zu beschädigen.

Die Dachabdichtung wurde aus Bitumendachbahnen hergestellt, die auf den Dachebenen zweilagig und in den Dachrinnen dreilagig aufgeschweißt wurden. Die erste Abdichtungslage besteht aus einer 2,6 mm dicken Elastomerbitumen-Schweißbahn. Sie wurde mechanisch mit Hilfe von Isoliernägeln an der Dämmschicht fixiert. Nach Montage von kupfernen Verblechungen entlang der Dachtraufen (siehe Abb. 10.22), wurde die zusätzliche Schweißbahn der Entwässerungsrinnen verlegt. Als Dachhaut wurde schließlich eine 5,2 mm dicke beschieferte Oberlagsbahn aufgeschweißt. Die Schweißbahnen wurden an den entsprechend ausgebildeten Aufkantungen mindestens 12 cm hochgezogen und mit einer Wandanschlussschiene gesichert.

Es folgte die Montage der restlichen Verblechungen sowie die Installation von Dachlüftern – einer pro 50 m² Dachfläche und mit einem Maximalabstand von 15 m. Abschließend wurden neue kupferne Stützen und Fallrohre angebracht sowie eine neue Blitzschutzanlage montiert.

¹⁰ vgl. Konarzewski et al. 2009; Konarzewski 2009a; Konarzewski, Persona, Perliński 2009.



Abb. 10.20: Abtrag der alten Dachhaut und Isolierung



Abb. 10.21: Neue Wärmedämmung und Abdichtungsbahnen



Abb. 10.22: Montage der Verklebungen am Gesims der Laterne

10.3.2 Instandsetzung der technischen Dachausstattung

Alle metallenen Einrichtungen der Flachdächer, wie Leitern, Geländer, Fahnenmast etc., wurden zunächst gereinigt und auf Schäden geprüft. Besonderes Augenmerk wurde hierbei auf den Zustand und die Verankerung der Leitern und Geländer gelegt, die noch aus der Zwischenkriegszeit stammen. Bei dieser historischen Ausstattung wurde vor dem Neuanstrich die alte Farbe entfernt und die Oberfläche bis zum Reinheitsgrad SA 2 (gründliches Strahlen) vorbereitet. Danach wurden diese Elemente mit einem Korrosionsschutz versehen und mit halbmattem Alkydharzlack bestrichen.

Die in den 90er-Jahren montierten Elemente, beispielsweise der Fahnenmast und die Begehungsanlage der Kuppellaterne, erhielten einen Neuanstrich. Diese Elemente wurden allerdings nicht vollflächig entlackt, es wurden lediglich die korrodierten Stellen entsprechend vorbehandelt.

Kapitel 11

Absicherung des Zugrings

Der Zugring gilt als Schlüsselement von Kuppelkonstruktion. Ein lokales Versagen dieses Tragwerkteils führt beinahe unweigerlich zu einem globalen Versagen der Konstruktion und hätte somit katastrophale Folgen. Laut Willy Gehler, dem Direktor der ausführenden Firma der Jahrhunderthalle, wurde „[a]uf die sorgfältige Ausbildung dieses Zugringes, der gewissermaßen das Widerlager der Kuppel bildet [...] das größte Gewicht gelegt.“¹

Statische Untersuchungen der Bauzustandsanalyse im Jahr 2008 ergaben allerdings, dass dieser nach aktueller Norm deutlich unterdimensioniert ist. Bei ungünstigster Lastfallkombination wäre der Zugring um etwa 45 % überbeansprucht (siehe Kap. 8.6.2 und Anh. B). Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer solch hohen Überschreitung der theoretischen Tragfähigkeit ist zwar nur sehr gering, über einen längeren Zeitraum kann das Risiko aber nicht toleriert werden.

Gemäß den Empfehlungen des Gutachters wurde daher beschlossen den Zugring mit einer passiven Absicherung zu verstärken. Die 2009 installierte Konstruktion aus schwach vorgespannten Spanngliedern soll nötigenfalls in der Lage sein die Normalkräfte des Zugrings zu übernehmen. Aus technischer Sicht war dieser Eingriff die weitaus wichtigste Instandsetzungsmaßnahme, die an der Jahrhunderthalle durchgeführt worden ist.

11.1 Zustand des Zugrings vor der Absicherung

Konstruktiver Aufbau des Zugrings²

Das Kernstück des Zugrings der Jahrhunderthalle besteht aus zwei gleichartigen ebenen Fachwerkringen (vgl. Abb. 3.8 und **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Die Stahlkonstruktionen haben die Form eines regelmäßigen 32-Ecks mit einem Innendurchmesser von ca. 65 m. Sie sind in einem Abstand von 45 cm übereinander positionierten. In den Knickpunkten der Fachwerkringe befinden sich die Anschlüsse der Kuppelrippen sowie die Kuppelauflager.

Die inneren und äußeren Fachwerksgurte bestehen aus je zwei Flacheisen (365 x 13 mm) sowie zwei Winkelprofilen (120 x 120 x 13 mm) und sind untereinander mit Winkelprofilen (75 x 75 x 8 mm) verstrebt. In den Knickpunkten sind die Gurte der einzelnen Fachwerke außerdem mit 10 Zugankern gekoppelt. Der Bruttoquerschnitt des Fachwerksträgers beträgt 617,2 cm²; der Nettoquerschnitt 521,5 cm². Die zulässigen Stahlspannungen wurden ursprünglich mit 125,0 N/mm² angenommen.* Das Stahlfachwerk wurde mit einer massiven Betonummantelung versehen, wobei für einen besseren Verbund zuvor noch s-förmige Bügel an den Außenflächen der Gurte angebracht wurden.

¹ Trauer, Gehler 1914, S. 70.

² vgl. Trauer 1913, S. 120; Trauer, Gehler 1914, S. 50.

* Untersuchungen zahlreicher Stahlbauwerke des frühen 20. Jahrhunderts ergaben, dass die historischen Baustähle üblicherweise wesentlich bessere Parameter aufweisen als ursprünglich angenommen. Daher wurde auch bei den aktuellen Standsicherheitsberechnungen der Jahrhunderthalle die Streckgrenze des Stahls der Zugringfachwerke mit 215 N/mm² angesetzt.

Erkenntnisse aus der Bauzustandsanalyse 2008-2009³

Vor allem ab der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurde das Tragwerk durch die Befestigung von Abhängungen an den Kuppelrippen sowie die Installation diverser technischer Einrichtungen auf der Zugringoberfläche Belastungen unterworfen für die es ursprünglich nicht konzipiert war. Die Betonummantelung des Zugrings wies schon seit längerem zahlreiche Materialausbrüche und breite Risse auf, die zum Teil sogar aus einer Distanz von über 100 m erkennbar waren.

Es herrschten Vermutungen, dass diese Schäden als Folge einer lokalen Beschädigung der Fachwerkringe entstanden sein könnten. Jedenfalls war dadurch viele Jahre lang der Eintritt korrosionsfördernder Stoffe in das Innere der Betonummantelung, möglicherweise sogar bis zur Stahlkonstruktion, begünstigt. Es ist außerdem bekannt, dass die Dachentwässerung zeitweise defekt war und Regenwasser lokal über die Zugringoberfläche abgefließen ist. Darüber hinaus besteht aufgrund der langen Nutzungsdauer die Gefahr, dass die Nietverbindungen aufgrund von Lastwechseln, bedingt durch Temperaturschwankungen sowie variable Nutzlasten, einer Materialermüdung unterlegen sind. Das tatsächliche Ausmaß der Schäden und der genaue Zustand des Stahltragwerks konnten nicht festgestellt werden, weil hierfür gröbere Eingriffe in die Bausubstanz nötig gewesen wären, die wegen einer möglichen Schwächung der Konstruktion und aus Gründen des Denkmalschutzes unterlassen wurden.

Weiterführende Untersuchungen während der Fassadeninstandsetzung 2009⁴

Im Zuge der Instandsetzungsarbeiten an der Fassade wurde entlang des gesamten Zugrings ein Baugerüst aufgestellt (siehe Abb. 11.1). Dadurch waren optimale Bedingungen für eine gründliche Begutachtung geschaffen. Um die bisherigen Erkenntnisse über die Beschaffenheit des Zugrings zu vervollständigen und eine fundierte Basis für die Planung der Absicherungsmaßnahmen zu erlangen, wurden weiterführende zerstörungsfreie Untersuchungen am Zugring durchgeführt.

Erfreulicherweise konnten bei der wiederholten augenscheinlichen Überprüfung keine neuen relevanten Schäden entdeckt werden, insbesondere wurden auch keine Indizien für eine übermäßige Korrosion des Stahltragwerks gefunden. Bei der Vorbereitung der Betonoberfläche für die Reparaturen kam es während dem Abklopfen loser Betonschichten vereinzelt zu Ausbrüchen, die bis zur Fachwerkskonstruktion reichten. Daraufhin wurde von einem der äußeren Gurte ein kleines Fragment mit Niet- und Schraubverbindungen freigelegt (siehe Abb. 11.2). Die Oberfläche der Stahlelemente wies nur eine sehr dünne Korrosionsschicht auf, die sogar noch aus der Zeit der Errichtung der Jahrhunderthalle stammen könnte. Der Zustand dieses Fachwerkdetails wurde augenscheinlich als „überraschend gut“ bewertet. Eine Mikrostrukturanalyse ergab, dass sich die Struktur des Stahls durch Lastwechsel und Alterung nur geringfügig verändert hat. Die Betonoberfläche des Zugrings wurde in weiterer Folge mit jener Vorgehensweise instandgesetzt, wie sie auch bei der restlichen Fassade angewandt wurde (vgl. Kap. 10.1). Bald nachdem die vertikalen Risse mit Injektionsharz verfüllt worden sind, bildeten sich in der Betonummantelung erneut Mikrorisse aus. Ihre Entstehung wurde eindeutig auf Dehnungen der Konstruktion zufolge von Temperaturschwankungen zurückgeführt.

Der allgemeine Zustand des Zugrings wurde nach diesen Erkenntnissen als „zufriedenstellend“ erachtet und die dokumentierten Schäden als Resultat eines langanhaltenden Prozesses interpretiert. Es wurde explizit darauf hingewiesen, dass sie nicht durch einzelne Überlastungsfälle hervorgerufen wurden.

³ vgl. Persona 2008, S. 52 f.

⁴ vgl. Konarzewski, Prabucki 2009, S. 21-23.



Abb. 11.1 (li.): Zugring-Betummantelung während der Instandsetzungsarbeiten, Rissanierung mittels Injektionen

Abb. 11.2 (re.): Freigelegtes Fragment des Zugring-Fachwerks

11.2 Sanierungskonzepte für den Zugring⁵

Für die konstruktive Absicherung des Zugrings schlug Marian Persona im Rahmen seiner Bauzustandsanalyse folgende zwei Varianten vor:

Variante I: Externes Vorspannsystem

Verteilt über die Höhe der Betummantelung werden entlang des äußeren Zugring-Umfangs mehrere in sich geschlossene Spannkabel montiert. Das aktive Aufbringen der Vorspannkraft ermöglicht die Reduktion der Zugkräfte im Originaltragwerk. Bereits für gewöhnliche Einwirkungen wird dadurch eine Entlastung der Konstruktion bewirkt. Darüber hinaus werden zusätzliche Zugbeanspruchungen, die durch Nutz- oder Sonderlasten hervorgerufen werden, beinahe vollständig von der neuen Installation aufgenommen.

Variante II: Aufgeklebte Kohlefaserbänder

Nach entsprechender Vorbereitung der äußeren Betonoberfläche des Zugrings, werden Kohlefaserbänder in mehreren Schichten mittels Epoxidharz aufgeklebt. Die aufgetragenen Lamellen wirken als schlaffe Bewehrung und daher ist es wichtig, dass solch eine Verstärkung bei möglichst minimaler Belastung des Tragwerks hergestellt wird. Die Kohlefaserlamellen entfalten erst ihre Wirkung, sobald es aufgrund von zusätzlichen äußeren Einwirkungen oder einer Beschädigung der Konstruktion zu einer Aufweitung des Zugrings kommt.

Bei der Anwendung solcher Sicherungsmaßnahmen muss im Sinne des Denkmalschutzes darauf geachtet werden, dass die historische Bausubstanz weitestgehend erhalten bleibt und das ursprüngliche Erscheinungsbild des Bauwerks bewahrt wird. Nach einer Evaluation beider Lösungen empfahl Persona aufgrund dieser Aspekte die Verstärkung mittels Kohlefaserbänder.

⁵ vgl. Persona 2008, S. 53-55; Konarzewski, Prabucki 2009, S. 23-25.

Ursprünglich wurde zu dieser Option geraten, da sie geringere Eingriffe in den Bestand erfordert und das Profil der Fassade weniger stark verändern würde. Die Oberflächenoptik lässt sich zwar bei beiden Varianten mit einer dünnen Putzschicht gut an die umliegenden Sichtbetonflächen anpassen, jedoch ließe sich die Option mit Kohlefaserlamellen dünner ausführen. Bei Bedarf wäre es zukünftig möglich, die Absicherung durch das Aufbringen weiterer Kohlefaserschichten zusätzlich zu verstärken.

Gegen das externe Vorspannsystem sprach vor allem die Tatsache, dass beim Auftragen der Vorspannung neue Kräfte in das bestehende Tragwerk eingeleitet würden, die den bestehenden inneren Kräfteverlauf beeinflussen. Aufgrund des Alters der Konstruktion, der offensichtlichen Schäden der Betonummantelung sowie einer möglichen Korrosion und Materialermüdung der Fachwerke, könnte solch eine Einwirkung unerwartete Reaktionen des Tragwerks hervorrufen und stellt daher ein schwer einschätzbares Wagnis dar. Ferner wurde befürchtet, dass die Spannglieder entlang ihrer Auflagerflächen zu hohe Spannungskonzentrationen im relativ schwachen Beton hervorrufen könnten.

Noch bei der Einreich- und Ausführungsplanung im Dezember 2008 war für die Absicherung des Zugrings, die anfangs empfohlene Variante mit Kohlefaserbändern vorgesehen. Als der Generalunternehmer ALPINE Bau GmbH im Frühjahr 2009 im Zuge der Instandsetzungsarbeiten der Fassade neuerliche Untersuchungen des Zugrings durchführen ließ, wurde festgestellt, dass sich dieser in einem besseren Zustand befand als erwartet.

Nach der neuerlichen Evaluierung möglicher Absicherungsvarianten wurde schließlich die Entscheidung getroffen, den Zugring doch mit Hilfe von Spannkabeln zu verstärken. Im Gegensatz zur Variante I, sollten dabei aber wesentlich geringere Vorspannkräfte aufgebracht werden. Die Einreichplanung für die geänderte Absicherungsvariante wurde im August 2009 erstellt.

Alternative zu Variante I: Passive Verstärkung mittels Spannkabeln

Die aufgeprägte Zugkraft der Spannglieder ist lediglich groß genug, um die sichere Verankerung der Spannlitzen zu gewährleisten. Das vorliegende Kräftegleichgewicht wird daher durch die Installation des Vorspannsystems nur geringfügig beeinflusst. Bei dieser Lösung handelt es sich somit gewissermaßen ebenfalls um eine passive Verstärkung, die ihre Wirkung erst bei einer Aufweitung des Zugrings entfaltet und in diesem Fall die Zugkräfte des versagenden Tragwerks übernimmt.

Die Spannglieder können direkt auf dem Zugring der Jahrhunderthalle ohne aufwändige Vorbereitungen der Oberfläche montiert werden. Das Profil der Fassade wird durch die Absicherung kaum verändert und die Installation kann mit einer Mörtelschicht kaschiert werden, deren Textur und Farbe der ursprünglichen Sichtbetonoptik ähnelt. Etwaige Korrekturen der Vorspannkraft sind sowohl bei der Montage als auch nachträglich möglich. Die sperrigen Kopplungsstücke, mit denen die beiden Enden jedes Spannkabels miteinander verbunden werden, können im extern angebauten Stiegenhaus der Jahrhunderthalle untergebracht werden.

Die passive Verstärkung mittels verbundlosen Vorspannsystems bietet gegenüber der anfänglich empfohlenen Variante II mit Kohlefaserlamellen folgende Vorteile:

- leichtere Ausführbarkeit bei geringerer Witterungsabhängigkeit
- einfachere Kontrolle der Montagearbeiten
- kürzere Ausführungszeit
- geringere Gesamtkosten
- bewährte Methode mit langjähriger Haltbarkeitsgarantie
- Monitoring-Möglichkeit des Tragwerks durch den Einbau entsprechender Messgeräte

11.3 Bemessung der Zugring-Absicherung⁶

Um zukünftig die sichere Nutzung der Jahrhunderthalle dauerhaft zu gewährleisten, musste die Zugring-Verstärkung so bemessen werden, dass die Standsicherheit der Kuppelkonstruktion selbst in jenem Fall sichergestellt ist, wenn der ursprüngliche Zugrings seine Tragfähigkeit verlieren sollte. Die Absicherung muss daher in der Lage sein die maximalen Ringkräfte zu übernehmen, die bei der ungünstigsten Lastkombination auf den Zugring wirken. Es wird jedoch angenommen, dass die im Zugring wirkenden Momente, trotz einer etwaigen lokalen Beschädigung, weiterhin vom ursprünglichen Bauteil aufgenommen werden können oder es aufgrund der vielfachen statischen Unbestimmtheit des Kuppeltragwerks, zu einer Kraftumlagerung auf die großzügig dimensionierten Kuppelrippen und Aussteifungsringe kommt.

Auf Basis dieser Überlegungen wurde in der Genehmigungs- und Ausführungsplanung festgelegt, die ursprünglich mittels aufgeklebter Kohlefaserbänder geplante Absicherung des Zugrings auf 90 % der Ringkraft zu bemessen. Bei der Dimensionierung der Verstärkung wurden Eigengewicht und äußeren Belastungen nach aktuellen Normen berücksichtigt, der Teilsicherheitsbeiwert für die Schadensfolgeklasse wurde hingegen nicht einkalkuliert. Die durchschnittlich über den gesamten Umfang des Zugrings auftretenden Ringzugkräfte wurden mit 6 600 kN und die Absicherung daher auf etwa 6 000 kN dimensioniert:

$$\Delta N_x = 0,9 \cdot 6\,600\text{ kN} = 5\,940\text{ kN} \sim 6\,000\text{ kN}$$

Im geänderten Entwurfsplan wurde diese Bemessungsgrundlage auch für die neue Absicherungs-Variante mittels externen Vorspannsystems übernommen. Die aufgeprägte Vorspannkraft sollte einerseits möglichst gering gehalten werden, um den Einfluss auf das bestehende Kräftegleichgewicht im Bauwerk zu minimieren; andererseits musste sie groß genug sein, um die feste Verankerung der Litzen zu gewährleisten.

Für die Umspannung des Zugrings wurden gewöhnliche Monolitzen mit 150 mm² Querschnitt und einer Zugfestigkeit von 1 860 N/mm² vorgesehen. Für die Litzen wurde ein durchschnittlicher Ausnutzungsgrad von 85 % ihrer Zugfestigkeit angenommen, somit ist jede Litze in der Lage etwa 237,15 kN aufzunehmen:

$$P_m = 1\,860\text{ N/mm}^2 \cdot 0,85 \cdot 150\text{ mm}^2 = 237\,150\text{ N} = 237,15\text{ kN}$$

⁶ vgl. Konarzewski et al. 2008; Konarzewski, Prabucki 2009, S. 23-25.

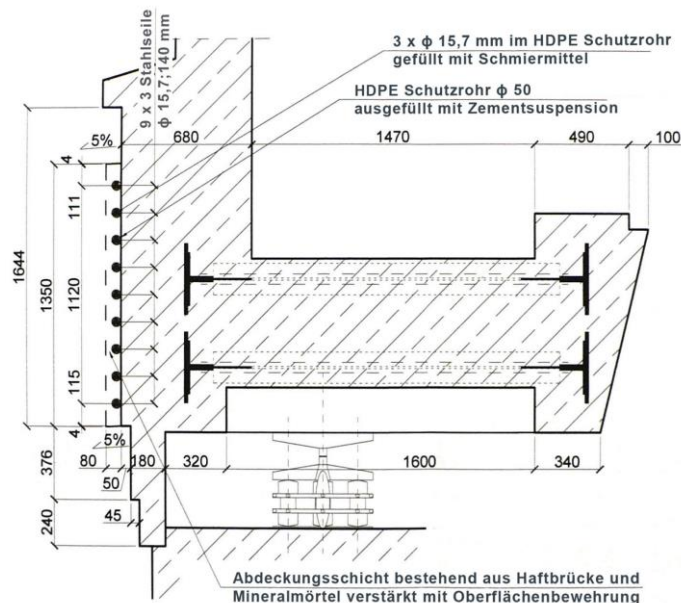


Abb. 11.3: Zugringabsicherung, Ausschnitt der Ausführungspläne



Abb. 11.4: Montage der Spannkabel am Zugring

Die Anzahl der nötigen Spannlitzen beläuft sich demnach auf mindestens 26 Stück:

$$n = 6000 / 237,15 = 25,30$$

Da je 3 Litzen zu einem Spannglied zusammengefasst werden sollten, waren für die Absicherung in Summe 27 Litzen notwendig. Der Gesamtquerschnitt des eingebauten Spannstahls beträgt $4\,050\text{ mm}^2$.

11.4 Ausführung der Zugring-Absicherung⁷

Die zylinderförmige Oberfläche des Zugrings erlaubte eine einfache Installation des umlaufenden Vorspannsystems, ohne größere Eingriffe am Bauwerk durchführen zu müssen. Das in den 1930er-Jahren hinzugefügte Stiegenhaus befindet sich auf der gleichen Fassadenebene wie der Zugring und war für die Platzierung der sperrigen Kopplungsstücke der Spannglieder geradezu prädestiniert. An den Seitenwänden dieses Stiegenhauses mussten über die Höhe des Zugrings rechteckige Öffnung hergestellt werden. Diese waren für die Kabeldurchführungen notwendig und wurden außerdem benötigt, um ausreichend Platz zum Ansetzen der hydraulischen Pressen zu schaffen.

Als Spannstahl wurden vorgefertigte Monolitzen ohne Verbund vom Typ T15S der Firma Freyssinet verwendet. Hierbei handelt es sich um siebendrätige Spannstahllitzen mit einer Zugfestigkeit von 1860 N/mm^2 und einem Durchmesser von 15,7 mm. Sie sind mit Fett und einer heißextrudierten Hülle aus hochdichtem Polyethylen korrosionsgeschützt.

Aus den auf Kabeltrommeln am Bauplatz bereitgestellten Monolitzen wurden 9 Spannkabel mit einer Länge von je etwa 220 m hergestellt, indem je ein Bündel aus 3 abgelängten Litzen per Hand

⁷ vgl. Huber, Mikołajonek, Filipczak 2010, S. 734 f; Konarzewski 2009b

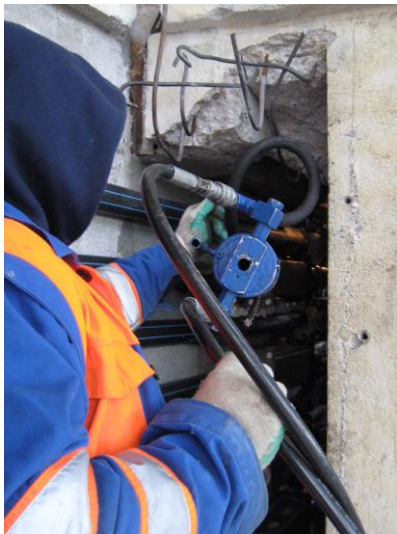


Abb. 11.5: Spannvorgang mittels Monolitzenpresse



Abb. 11.6: Kopplung und Verankerung der Spannkabelenden

in ein 2,9 mm starkes HDPE-Hüllrohr mit 50 mm Durchmesser eingefädelt wurde. Anschließend wurden die Spannkabel manuell über das Baugerüst auf die Zugring-Ebene gezogen und mit einem Achsabstand von 140 mm um den Zugring verlegt. Um die richtige Position der einzelnen Kabel sicherzustellen, wurden zuvor Halterungen aus Metall in einem Horizontalabstand von 150 cm entlang der Betonwand montiert. (siehe Abb. 11.3 und Abb. 11.4)

Für die Verankerung der Spannglieder wurden Kopplungsstücke verwendet, die beidseitig jeweils drei Litzenenden überlappend verknüpfen und so ein umlaufendes Spannkabel in sich schießen (siehe Abb. 11.6). Die neun Kopplungskörper wurden horizontal abwechselnd um jeweils 80 cm versetzt, möglichst platzsparend, an der Wand des Zugrings im Stiegenhaus montiert. Für eine sichere Verankerung der Spannkabel wurden sie mit einer Zugkraft von jeweils 126,0 kN vorgespannt, dies entspricht etwa 15 % ihrer charakteristischen Zugfestigkeit. In Summe beträgt die aufgeprägte Kraft des Vorspannsystems ohne Verbund ca. 1 000 kN und reduziert die im Zugring wirkende Axialkraft um etwa ein Sechstel.

Der Vorspannprozess erfolgte Litze um Litze mit zwei Pressen, die an beiden Litzenenden gleichzeitig angesetzt wurden. Die leichten und relativ handlichen Monolitzen-Spannpresen benötigen gegenüber Multilitzen-Pressen weniger Platz (siehe Abb. 11.5). Beim stufenweisen Spannvorgang war es wichtig darauf zu achten, eine gleich große Vorspannung aller Litzen zu erzielen.

Zum Schutz der Litzen wurde nach dem Vorspannprozess Zementmörtel in die Ankerblöcke und das Spannkabel-Hüllrohr injiziert. Die Überlängen der Spannkabel wurden so gekürzt, dass die Litzenenden noch etwa 50 cm aus dem Ankerkopf herausragen. Nötigenfalls können somit auch noch in Zukunft Spannpresen angesetzt werden, um eine Nachregulierung der Vorspannung durchzuführen. Die freiliegenden Litzenenden wurden eingefettet und mit einer Hülse gesichert.



Abb. 11.7: Verputzen der Spannkabel-Absicherung

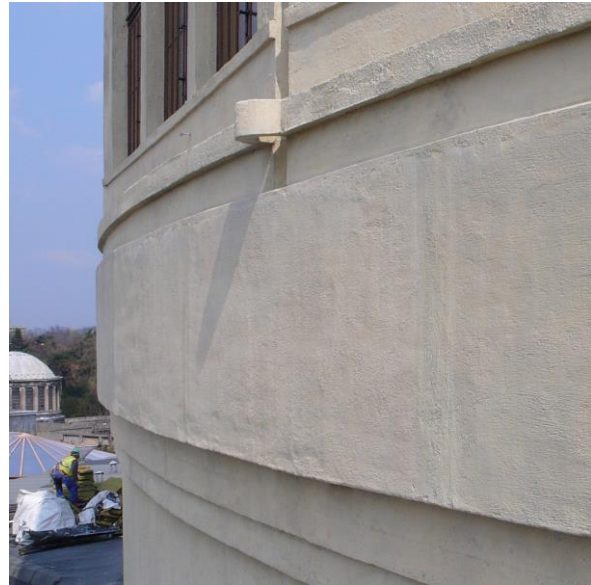


Abb. 11.8: Neues Profil des Zugrings

Nach Installation der Spannglieder wurden die Durchbrüche der Stiegenhauswand verschlossen und die HDPE-Hüllrohre entlang des Zugring-Umfangs in einer 135 cm hohen und 8-10 cm dicken Schutzschicht aus Mörtel eingehüllt (siehe Abb. 11.7). Die Putzschicht ist oberflächennah mit einem Baustahlgitter von 6 mm Drahtdurchmesser und 140 mm Maschenweite bewehrt. Der obere und untere Abschluss wurde zwecks Entwässerung mit einem Gefälle von 5 % ausgebildet. Die Textur und Farbe der neuen Zugringoberfläche wurde an die umliegende Sichtbeton-Fassade der Jahrhunderthalle angeglichen (siehe Abb. 11.9). Auch die Führung der Fallrohre musste an das leicht geänderte Oberflächenprofil (siehe Abb. 11.8) angepasst werden.



Abb. 11.9: Farbliche Anpassung der neuen Zugring-Oberfläche

Kapitel 12

Sanierung und Modernisierung des Innenraums

Ziel der Innenraumsanierung der Jahrhunderthalle war es die Ausstattung der Veranstaltungshalle an zeitgemäße Standards anzupassen und dabei die historische Bausubstanz des Weltkulturerbes zu bewahren. Den zentralen Aspekt des Vorhabens bildet die Neugestaltung des Zuschauerraums, der immer noch bei weitem der größte der Region ist. Die Kapazität von 6 000 soll zukünftig bei Bedarf temporär auf bis zu 10 000 Sitzplatzplätze erhöhen werden können – eine wichtige Richtgröße für zahlreiche internationale Sportwettbewerbe. Nach Fertigstellung der zweiten Ausbaustufe werden in Polen nur fünf andere, wesentlich jüngere Bauwerke ein größeres Platzangebot als die Jahrhunderthalle bieten: die Tauron Arena Kraków (Baujahr: 2014, Sitzplatzkapazität: 15 328), die Atlas Arena Łódź (Bj.: 2009; Kap.: 13 805), die Spodek in Kattowitz (Bj.: 1971; Kap.: 11 500)*, die Ergo Arena in Danzig (Bj.: 2010, Kap.: 11 409) sowie die sich im Bau befindlichen Hala Gliwice (geplante Eröffnung: Ende 2015¹, Kap.: 13 752)².

Auch die übrigen Räumlichkeiten der Jahrhunderthalle, insbesondere die vier Eingangshallen, der Kaisersaal und der Rundgang wurden umgestaltet und gewissermaßen ihrem ursprünglichen Erscheinungsbild angenähert. Erstmalig wurde außerdem in einem Teilbereich des Rundgangs ein permanentes Besucherzentrum der Jahrhunderthalle eingerichtet. Die Versorgungstechnik des Gebäudes ist neu und auch auf Barrierefreiheit sowie aktuelle Brandschutz-Standards wurde bei der Modernisierung geachtet.³

Bis auf die Verstärkung der Rahmenkonstruktion der Laterne, mussten im inneren der Jahrhunderthalle keine Sicherungsmaßnahmen der Tragkonstruktion vorgenommen werden. Der prinzipiell gut erhaltene Sichtbeton wurde gereinigt und musste nur an wenigen Stellen repariert werden.

Das Leitmotiv der denkmalpflegerischen Maßnahmen war die Wiederherstellung der ursprünglichen Raumgestaltung und die Bewahrung jener architektonischer Elemente, die aus der Zeit vor dem Zweiten Weltkrieg stammen, z.B. die historischen Stiegenhäuser. Änderungen aus der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurden zum Teil wieder rückgebaut. Man orientierte sich an der Innenausstattung von 1913 und war bei der Einführung neuer Elemente darauf bedacht, die allgemein vorherrschende Symmetrie beizubehalten. So wurden etwa die blauen Kunststoffsitze, die bei der Neugestaltung des Zuschauerraums im Jahr 1997 eingebaut worden sind, entfernt. In Anlehnung an die ursprüngliche Materialwahl, entschied man sich bei der Bestuhlung der neuen Tribünen für Klappstühle aus Sperrholz.

¹ vgl. O. V. Propertynews.pl 2015

² vgl. Wikipedia 2015

³ vgl. o.V. Wroclaw.gazeta.pl 2014

Die Planung der Instandsetzung und Modernisierung führte das Architekturbüro Chapman Taylor durch. Mit der Ausführung der ersten Ausbaustufe wurde als Generalunternehmer das Bauunternehmen BUDUSS.A. aus Kattowitz betraut. Mit Baubeginn im Jänner 2011 wurde die Veranstaltungshalle für neun Monate geschlossen. Die Bauarbeiten erfolgten unter großem Zeitdruck im Schichtbetrieb und nachts, um rechtzeitig zum Europäischen Kulturkongress fertig zu werden. Dieser fand noch im September desselben Jahres im Rahmen der polnischen EU-Ratspräsidentschaft in der Jahrhunderthalle statt.⁴

12.1 Ausbau und Modernisierung des Versammlungsraums

Der Kernpunkt der Modernisierung der Jahrhunderthalle war die multifunktionale Gestaltung des Zuschauerraums sowie die Erhöhung dessen Kapazität auf bis zu 10 000 Sitzplätze. Dies konnte nur durch die Errichtung zusätzlicher Tribünen erzielt werden, wofür insbesondere auch die Tieferlegung der Fundamentplatte notwendig war.

Zunächst wurde die Innenausstattung des Versammlungsraums beinahe vollkommen rückgebaut, sodass nur noch die historische Stiege der West-Tribüne sowie die ursprünglichen Balkone der Nord- und Süd-Apsiden bestehen blieben. Abgerissen wurden explizit die 1996 errichteten Stahlbetontribünen der Ost- und West-Apsiden inkl. der sich darunter befindlichen Räumlichkeiten (siehe Abb. 12.1) sowie die Bodenplatte des Zentralraums. Um die übrige denkmalgeschützte Bausubstanz von 1913 nicht zu beschädigen, musste der Abbruch im Innenraum mit größter Vorsicht durchgeführt werden.⁵

12.1.1 Tieferlegung der Fundamentplatte

Für die Errichtung des neuen höhenverstellbaren Hallenbodens und des Untergeschosses der beiden neuen Stahlbetontribünen, musste die Fundamentplatte beinahe im gesamten Hallenraum um 3,75 m tiefer gelegt werden (siehe Abb. 12.2). Unter der Kuppel und im Bereich der Apsidenraum war dafür der Aushub einer etwa 5,5 m tiefen Baugrube erforderlich. Lt. Projektleiter Alfred Reim stellten die Planung und Durchführung der dafür notwendigen Sicherungs- und Erdarbeiten die größte Herausforderung der gesamten Umbaumaßnahmen dar.⁶

In erster Linie war größte Vorsicht in Hinblick auf die Wahrung der Standsicherheit des Bauwerks geboten. Beträchtlich erschwert wurde Situation vor allem durch die Lage der Fundamente der vier Hauptpfeiler: Ihr Abstand zur Baugrubenumschließung betrug nur etwa 2 m, die Fundamentunterkante befand sich etwa auf gleichem Niveau mit der Baugrubensohle und die Fundamentsohle weist ein leichtes Gefälle nach innen auf. Ferner musste bei den Bauarbeiten in zum Teil sehr beengten Raumverhältnissen besonders darauf geachtet werden, den Bestand nicht zu beschädigen.⁷

⁴ vgl. Laska 2011

⁵ vgl. Kowalski 2010, S. 5.

⁶ vgl. o.V. Wroclaw.gazeta.pl 2014

⁷ vgl. Laska 2011



Abb. 12.1: Abriss der alten Stahlbetontribünen

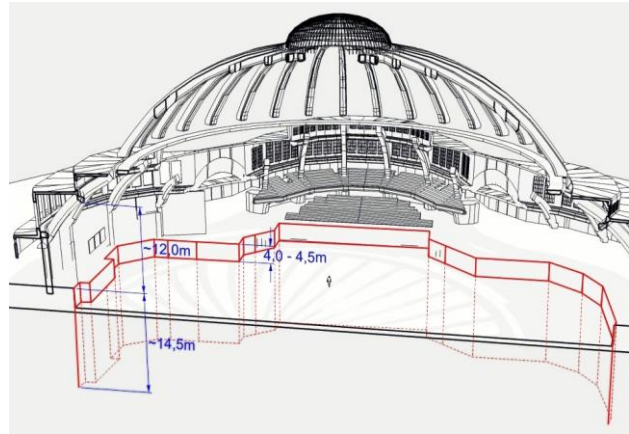


Abb. 12.2: Querschnitt: Neues Fundamentplatten-Niveau und Baugrubenabscherung; Blickrichtung Süd-Apside

Baugrundverhältnisse⁸

Der Baugrund der Jahrhunderthalle wird bis zu einer Tiefe von etwa 11 m aus einer mittel bis dicht gelagerten Mischung aus grobem Sand und Kiessand gebildet. Darunter befindet eine ca. 1 m mächtige Schicht aus Geschiebemergel, die eine grundwasserstauende Schicht aus sandigem Lehm bedeckt. Der Grundwasserspiegel liegt etwa 2,5 m unter der Geländeoberkannte und wird stark vom Niederschlag sowie dem Pegelstand der nahe vorbeifließenden Oder beeinflusst.

Baugrubenverbau⁹

Mit der Ausführung des Baugrubenverbaus wurde die Firma Keller Polska Sp. z o.o. beauftragt, die alternativ zur ausgeschriebenen Baugrubensicherung mittels Spundwand eine bewehrte Zement-Bodengemisch-Wand projektierte. Zur statischen Sicherung der Baugrube und gleichzeitigen Abschottung des Grundwassers wurde eine spezielle Pfahlwand im kombinierten Verfahren aus DSM*- und DSV**-Pfählen mit jeweils 70 cm Durchmesser und einem Achsabstand von 50 cm hergestellt (siehe Abb. 12.2 und Abb. 12.3). Einige besonders nahe der Baugrube befindliche Fundamente wurden zusätzlich mit DSV-Pfählen unterfangen.

Der Baugrubenverbau wurde somit ohne Stöße ausgeführt. Dieses geräuscharme und erschütterungsfreie Verfahren war schonend für das Bauwerk und ermöglichte zugleich angenehmere Arbeitsbedingungen im Innenraum.

Das DSM-Verfahren wird zur tiefreichenden Bodenverfestigung angewandt. Dabei wird das Erdreich über mehrerer aneinandergereihte und mit einem speziellen Paddelsystem ausgestattete Bohrgestänge lokal mit einer Suspension aus Wasser und Zement vermischt. Die Suspension tritt am Bohrkopf und den Paddeln über Düsen aus. Eine hinreichende Durchmischung wird durch die Auf- und Abwärtsbewegung des rotierenden Mischwerkzeuges sichergestellt. (siehe Abb. 12.4)

⁸ vgl. Kowalski 2010, S. 5: 2-3; o. V. keller.com.pl 2015

⁹ vgl. o. V. keller.com.pl 2015

* Deep-Soil-Mixing

** Düsenstrahlverfahren

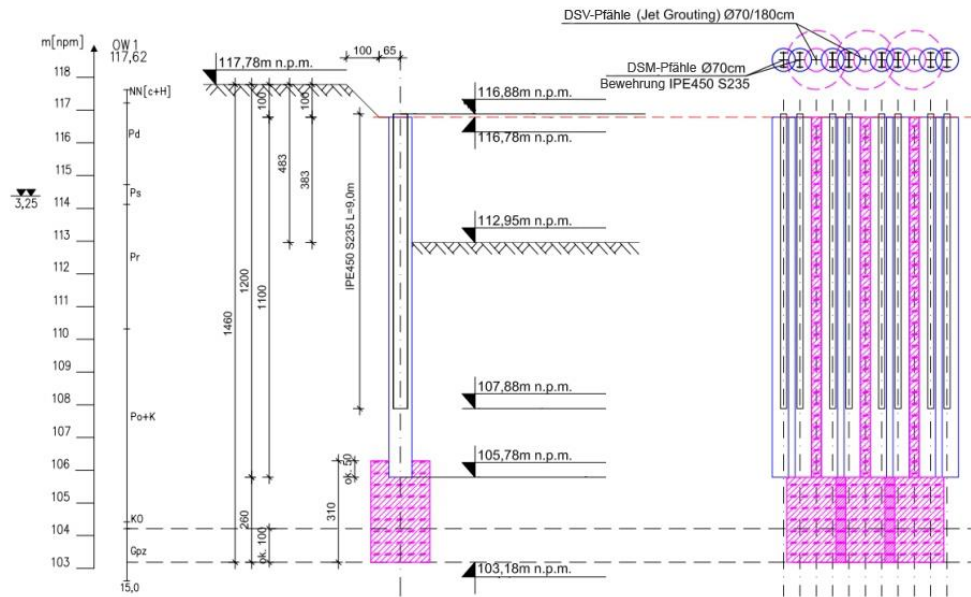


Abb. 12.3: Pläne der Baugruben-absicherung, Schnitt und Übersicht im Grundriss

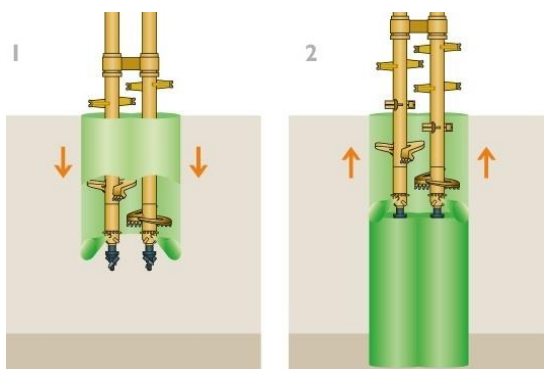
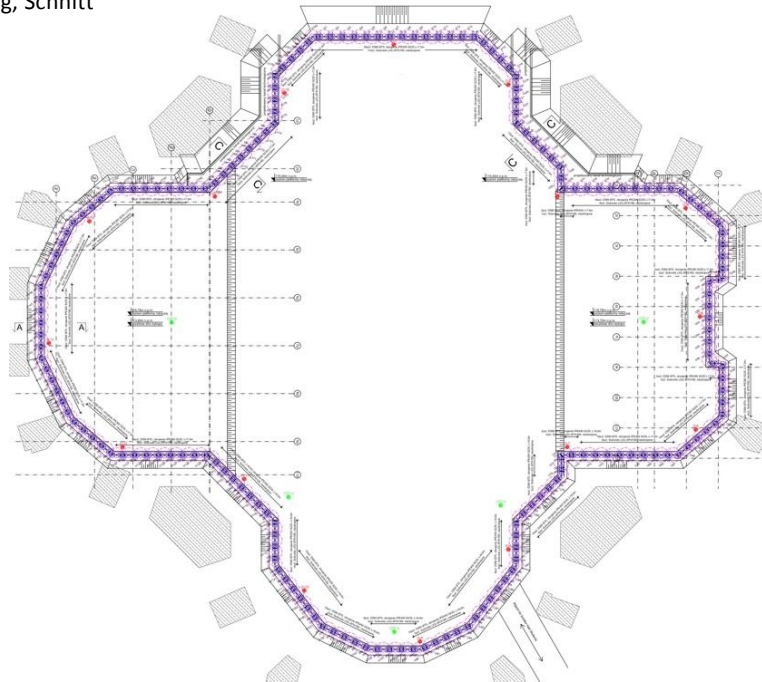


Abb. 12.4: DSM-Verfahren, schematische Darstellung

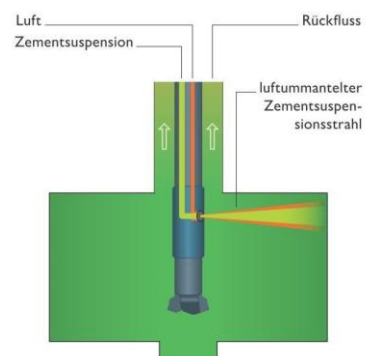


Abb. 12.5: Duplex-Düsenstrahlverfahren, schematische Darstellung



Abb. 12.6: Pfahlwand-Herstellung, Einstellen der IPE-Träger



Abb. 12.7: Umriss der fertigen Baugrubenabsicherung

Die DSM-Pfähle hatten bei der Baugrubenabsicherung in der Jahrhunderthalle sowohl eine statische als auch dichtende Funktion. Es wurde mit zwei Bohrgestängen gleichzeitig gearbeitet – folglich wurden die DSM-Pfähle stets paarweise ausgeführt. Zur Erhöhung der Biegesteifigkeit wurden in die frischen Säulen IPE 360- und IPE 400-Träger mit einer Länge von 7,5 m und 9,0 m eingestellt. (siehe Abb. 12.6 und Abb. 12.7)

Die Zwischenräume zweier benachbarter DSM-Pfahlpaare wie auch der verbleibende, bis zur Aquifuge reichende Boden wurden mit einem DSV-Körper abgedichtet. Bei dieser Art der Bodenvermörtelung wird zunächst eine Injektionslanze in den Baugrund eingebohrt. Nach Erreichen der gewünschten Tiefe wird an der Spitze eine Suspension auf Zementbasis unter Hochdruck ins Erdreich injiziert. Die rotierende Lanze wird daraufhin langsam gezogen, wobei der scharfe Strahl das anstehende Bodenmaterial spiralförmig aufschneidet, umlagert und mit der Suspension vermischt (siehe Abb. 12.5). So entsteht im Erdreich ein zylinderförmiger Zement-Bodengemisch-Körper.

Im vorliegenden Fall wurde das sogenannte Duplex-Verfahren angewandt, bei dem der Suspensionsstrahl mit Hilfe einer Ringdüse zusätzlich mit Druckluft ummantelt wird. Dadurch wird die Erosionsleistung und somit die Reichweite erhöht. Die sogenannten Soilcrete-Pfähle wurden etwa 2,6 m tiefer als die DSM-Pfähle hergestellt. Demnach führen sie auch durch die für dieses Verfahren ungünstigere Geschiebemergelschicht und reichen mindestens 1,0 m tief in die grundwasserstauende Lehmschicht. Um die Abdichtung des Bereichs unterhalb der DSM-Pfähle zu gewährleisten, sind die Pfahlfüße der DSV-Pfähle über eine Länge von 3,1 m auf einen Durchmesser von etwa 180 cm aufgeweitet.

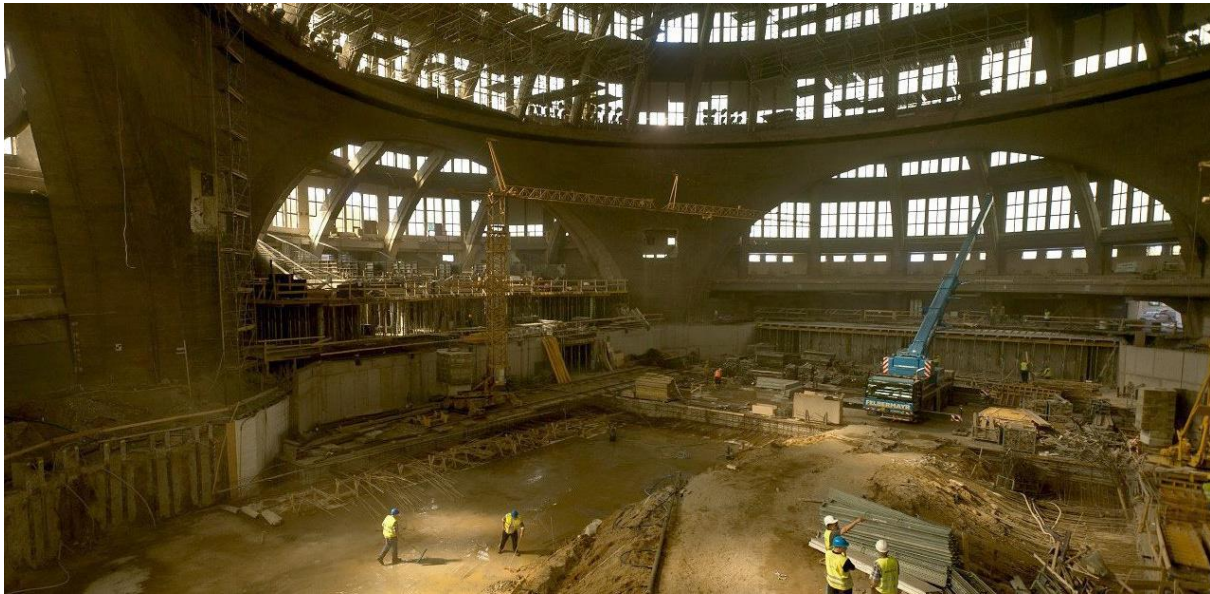


Abb. 12.8: Ausführung Fundamentplatte

Baugrubenaushub und Herstellung der Fundamentplatte

Der Grundwasserspiegel wurde mittels Tiefbrunnenpumpen um etwa 4 m auf ein Niveau unterhalb der neuen Gründungsebene gesenkt. Mit dem Bodenaushub mussten auch die Fundamente der alten Stahlbetontribünen abgetragen werden.

Vor dem Betonieren der Gründungsplatte wurden auf der Baugrubensohle eine Sauberkeitsschicht aus Magerbeton und eine Abdichtung aufgebracht. Die Fundamentplatte und Kellerwände wurden aus WU-Beton mit dichten Arbeitsfugen hergestellt. Um dem hydrostatischen Auftrieb entgegenzuwirken, beträgt die Dicke der Gründungsplatte im Zentralraum prinzipiell 100 cm und in den unterkellerten Bereichen der neuen Stahlbetontribünen 60 cm. Für die technischen Installationen der zukünftigen Hubböden wurden im Zentralraum bereits lokale Aussparungen in der Fundamentplatte hergestellt.¹⁰ Insgesamt wurden bei der Errichtung der Bodenplatte 3 164 m³ Beton und 330 t Bewehrung verbaut¹¹. (siehe Abb. 12.8)

12.1.2 Einrichtungen des Zuschauerraums¹²

Die erste Ausbauphase des Zuschauerraums sah die Wiedererrichtung von zwei Stahlbetontribünen in der Ost- und West-Apside vor (siehe Abb. 12.9). Unterhalb der Tribünenplatten entstanden dabei auf drei Ebenen auch diverse Nutzräume. Die in Skelettbauweise ausgeführten Objekte sind vom Tragwerk der Jahrhunderthalle nahezu gänzlich entkoppelt, lediglich die Deckenkonstruktion des Erd- und Obergeschosses liegt stellenweise auf den Außenwänden der Apsiden auf. Der Beton der existierenden Konstruktion wurde dafür lokal abgestemmt und die Bewehrungsanschlüsse des neuen Bauelements eingemörtelt. Die treppenartige Tribünenplatte ist in Richtung der Sitzreihen dank ihrer Form ausreichend ausgesteift. Sie ist über strahlenartig in Grundriss der Apside angeordnete Unterzüge mit dem Säulenraster der restlichen Konstruktion verbunden. Das Gesamt-

¹⁰ vgl. Kowalski 2010

¹¹ vgl. Wojciech Szymański 2011, S. 6; Tomaszewski 2010a, S. 32.

¹² vgl. Kowalski 2010, S. 4 f.



Abb. 12.9: Errichtung der Stahlbetontribüne



Abb. 12.10: Montage des erhöhten Fußbodens

tragwerk der Tribünen ist durch die Stiegenhäuser und Aufzugschächte ausgesteift. Für eine möglichst variable Raumkonfiguration sind die Tribünenbauten mit Teleskoptribünen ausgestattet, die in gesonderten Nischen der Vorderwand verstaut sind. Sie können bei Bedarf relativ einfach ausgefahren werden und die Sitzreihen bis auf Bodenniveau erweitern.

In der Nord- und Süd-Apside ist der permanente Zuschauerbereich auf die existierenden Balkone beschränkt. Die aus dem Jahr 1997 stammenden Aufbauten dieser Balkone wurden entfernt und durch neue Tribünen mit größerer Kapazität ersetzt. Die aktuelle Ausstattung des Zuschauerraums umfasst außerdem spezielle demontierbare Tribünen, die temporär vor den Stahlbetonbalkonen aufgestellt werden können. Die Depots dieser Elemente befinden sich direkt im Souterrain der Apsiden und sind über Hebebühnen erreichbar.

Die tiefergelegte Bodenplatte wird derzeit im Zentralraum durch einen um 3,75 m erhöhten Fußboden provisorisch ausgeglichen (siehe Abb. 12.10). Beim nächsten Ausbauschnitt wird dieser unbewegliche Hallenboden durch einen motorisierten Hubboden ersetzt und der Zuschauerraum mit weiteren demontierbaren Tribünen erweitert. Die notwendigen baulichen Vorkehrungen sind dafür bereits vorgesehen worden.

12.1.3 Verbesserung der Raumakustik¹³

Die geometrische Form und die schallharten Betonflächen wirken sich sehr unvorteilhaft auf die Akustik des Versammlungsraums aus, sie bewirken einen unerwünschten Nachhall und akustische Fokuspunkte. Dieser Umstand war bereits bei der Planung des Bauwerks bekannt, daher wurden die Flachdecken mit 3 cm dicke Korkplatten ausgestattet. Darüber hinaus wurden die Decken der Kuppel und Apsiden sowie zahlreiche weitere großflächige Betonelemente des Innenraums in den 1930er-Jahren mit schallabsorbierenden Holzfaserplatten ausgekleidet.

¹³ vgl. Laska 2011, S. 84f. Fiebig 2012, S. 16.

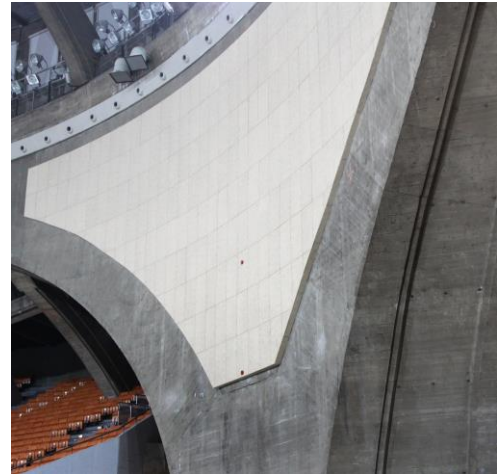


Abb. 12.11 (li.): Aufbringen des Akustikputzes zwischen den Deckenunterzügen

Abb. 12.12 (re.): Hauptpfeiler mit Akustikpaneelen; li. oben neuer Lüftungskanal unterhalb des Zugrings, darüber neue Beschallungs- und Beleuchtungsanlage

Zur Verbesserung der akustischen Qualität des Versammlungsraums für diverse Massenveranstaltungen und insbesondere Konzerte wurde die Planung und Ausführung des Umbaus auch von einem Raumakustiker betreut. Die etwa 80 Jahre alten Holzfaserplatten, die sich bereits in einem desolaten Zustand befanden, wurden im Zuge der Modernisierung durch effizientere Akustikbeschichtungen ersetzt (siehe Abb. 12.11). Auf einer Fläche insgesamt etwa 4 000 m² wurde stattdessen zwischen den Unterzügen der Flachdecken ein Akustikputz aus Zellulose* 50 mm dick aufgespritzt und die vier Hauptpfeiler des Unterbaus mit zweischichtigen schallabsorbierenden Paneelen verkleidet (siehe Abb. 12.12). Die Paneelen sind aus 25 mm dicken, magnesitgebundenen Holzwolle-Akustikplatten** und einer 110 mm dicken Hinterfüllung aus Mineralwolle aufgebaut. Sie mindern einerseits den Nachhall im Innenraum und schirmen andererseits die Geräusche der sich direkt dahinter befindlichen Hauptventilatoren ab.

Bei der Wahl diverser Elemente und Materialien zur Ausstattung des Versammlungsraums wurde generell stets auch auf deren akustische Wirkung geachtet.

12.1.4 Technische Ausstattung¹⁴

Die technische Grundausstattung des Versammlungsraums ermöglicht dessen simple Beschallung sowie die Steuerung der allgemeinen Lichtverhältnisse. Die wesentlichen Ansprüche von Veranstaltungen wie Sportereignissen oder Messen sind damit gedeckt. Werden besondere Anforderungen an Licht und Ton gestellt, sind zusätzliche Anlagen erforderlich, die unter Einhaltung vorgegebener Belastungsschemata (vgl. Kap. 8.6.2) von der Konstruktion der Rippenkuppel abgehängt werden können.

Die Fenster der Kuppel und Apsiden wurden zur einfachen und raschen Steuerung der Belichtung des Versammlungsraums mit motorisierten Rollos aus feuerhemmendem Stoff ausgestattet, die auch eine komplette Verdunkelung ermöglichen. Als Beleuchtungsanlage wurde ein Scheinwerfersystem am Zugring installiert, das für Sportveranstaltungen optimiert ist.

* Sonaspray K-13

** Heradesign fine

¹⁴ vgl. 2011b, S. 84; Grycner 2012, S. 59 f.

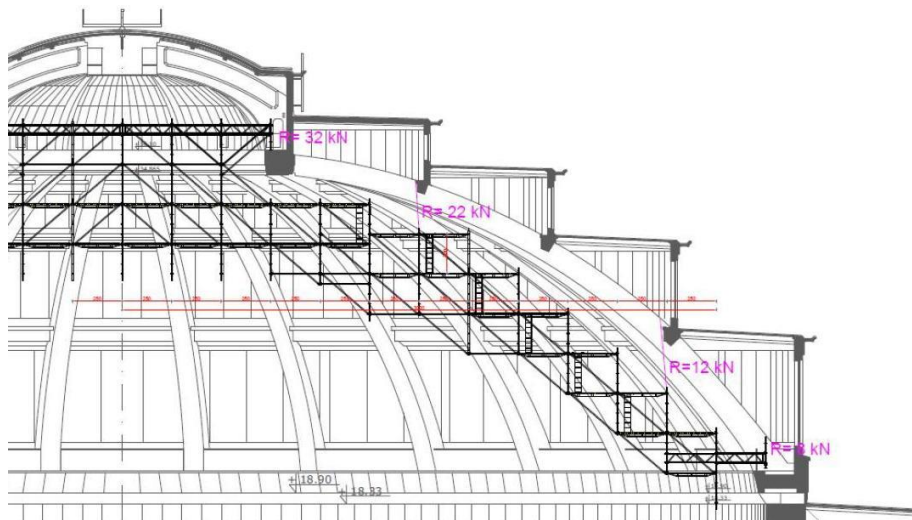


Abb. 12.13: Plan des Hängegerüsts am Kuppeltragwerk

Die Lautsprecher der multifunktionalen Beschallungsanlage wurden ebenfalls im Bereich des Zugrings montiert. Die Anlage besteht aus 52 Lautsprechersystemen, die aufgrund ihrer Richtcharakteristik jeweils für eigens definierte Hörzonen des Versammlungsraums vorgesehen sind und gemeinsam eine gleichmäßige Beschallung ermöglichen. Die Beschallungsanlage dient primär Evakuierungszwecken gemäß IEC 60849, sie kann aber auch kommerziell genutzt werden, z. B. für Durchsagen, Toneffekte oder die musikalische Untermalung diverser Veranstaltungen.

12.2 Instandsetzung und Sicherung der Bausubstanz

Im Gegensatz zu den außenliegenden Betonflächen, die dauerhaft zahlreichen schädigenden Einwirkungen ausgesetzt waren, befanden sich die Stahlbetonelemente im Innenraum der Jahrhunderthalle generell in einem sehr guten Zustand. Der Instandsetzungsaufwand des innenliegenden Betons war somit vergleichsweise gering. Maßnahmen zur konstruktiven Verstärkung mussten nur am Rahmentragwerk der Laterne durchgeführt werden.

Hängegerüst für die Instandsetzung der Rippenkuppel¹⁵

Für die Arbeiten an den Stahlbetonelementen der Rippenkuppel kam ein Hängegerüst zum Einsatz (siehe Abb. 12.13). Dank dieser Lösung konnten die Bauarbeiten zeitgleich mit jenen im darunterliegenden Versammlungsraum stattfindenden.

Die Montage des Hängegerüsts erfolgte prinzipiell in der Nacht. Zunächst wurden auf dem Druckring Überbrückungsträger aufsetzen, von denen weitere Tragmittel des Gerüsts abgehängt wurden. Auf diese Weise wurde zunächst eine Arbeitsplattform unterhalb der Laterne geschaffen. Davon ausgehend, wurden die restlichen Teile der Hilfskonstruktion schrittweise hinzugefügt (siehe Abb. 12.14). Das Tragmittel wurde in weiterer Folge mittels Stahlseilen an ausgewählten Knotenpunkten der Rippenkuppel befestigt und schließlich am Zugring aufgesetzt.

¹⁵ vgl. O. V. I miejsce ULMA w Konkursie "Rusztowanie Roku" 2011



Abb. 12.14: Baugerüst der Kuppel und Hauptpfeiler

Unterhalb der Arbeitsplattform wurde schließlich ein Sicherheitsnetz gespannt, um die sich Parterre aufhaltenden Personen vor herabfallenden Teilen zu schützen. Die Montagearbeiten dauerten insgesamt 30 Arbeitstage. Das Gesamtgewicht des Hängegerüsts belief sich auf etwa 380 t^{16*}. Die maximal zulässige Nutzlast der Verkehrsfläche betrug 2 kN/m².

Geplant und errichtet wurde die Hilfskonstruktion von der Firma Ulma Construcción Polska S.A, die 2011 dafür im landesweit ausgeschriebenen Wettbewerb *Rusztowanie Roku* (poln. für *Gerüst des Jahres*) mit dem ersten Platz ausgezeichnet wurde.

12.2.1 Instandsetzung des Sichtbetons

Die Betoninstandsetzung im Innenraum erfolgte in ähnlicher Verfahrensweise wie im Außenbereich: Zunächst wurden minderfester Beton und Fremdstoffe, die von früheren Reparaturen stammen, lokal abgetragen. Anschließend wurde die Oberfläche behutsam mittels geschlossenem Niederdruckstrahlverfahren unter Zusatz von Reinigungsmitteln großflächig gesäubert. Risse wurden durch Trängung oder Injektionen versiegelt. Ausbrüche sowie Fehlstellen wurden mit speziell an den jeweiligen Betonuntergrund angepassten kunststoffmodifizierten Reparaturmörteln reprofiliert.¹⁷

Im Innenraum war es besonders wichtig, anschließend die Farbe und Struktur des Sichtbetons, vor allem die charakteristischen Abdrücke der Brettschalung, originalgetreu wiederherzustellen. Erschwerend kam hinzu, dass die Oberflächen im Gegensatz zur Fassade nicht mit einem vollflächigen Lasuranstrich versehen wurden. Die farbliche Anpassung erfolgte in zwei Schritten: Zunächst wurde die gesamte Oberfläche mit einem silikatischen Spezial-Grundiermittel* bestrichen,

* (Matejuk 2011) Dieser – durchaus realistische – Wert bedeutet eine knapp 10-Fache Überschreitung der von Persona standardmäßig bewilligten Zusatzbelastung des Kuppeltragwerks von 40t (vgl. Kap. 8.6.2). Dem Autor ist nicht bekannt welche Vorkehrungen zur Absicherung und Überwachung des Tragwerks während dieser außerordentlichen Einwirkung getroffen worden sind.

¹⁷ Kowalski 2010, S. 8-9.

* KEIM Soliprim



Abb. 12.15: Ausführungsdetail: Kassettendecke mit Wandanschluss



Abb. 12.16: Detail: Freigelegter Originalschriftzug

das dem Ausgleich der Saugfähigkeit, der Auffrischung des Originalfarbtons und der Festigung des Untergrundes diene. Danach wurden ausschließlich die reprofilierten Stellen mit einer Lasur aus Dünnschichtfarbe auf Sol-Silikatbasis** versehen, deren Farbton stets lokal angepasst werden musste.¹⁸

12.2.2 Verstärkung der Tragkonstruktion der Laterne¹⁹

Wie im Gutachten von 2008 empfohlen (vgl. Kap. 8.3.1), wurde die Rahmenkonstruktion der Laterne mittels Kohlefaserlamellen verstärkt. Nach der standardmäßigen Instandsetzung des Stahlbetons – Untergrundvorbereitung, Rissanierung und Reprofilierung – wurden auf den acht innenliegenden Stehern des Laternenrahmens beidseitig Kohlefaserbänder aufgeklebt. Die Verstärkung wurde je Steher auf eine Zugbeanspruchung von 350 kN bemessen, sodass sie gegebenenfalls in der Lage ist die gesamte Zugbelastung der innenliegenden Stahlbewehrung zu übernehmen.

12.3 Neugestaltung des Rundgangs²⁰

Die Innenraumgestaltung des Rundgangs und der sonstigen Räume stammt weitgehend aus dem Jahr 1937. Damals wurde der Großteil der Sichtbetonwände verputzt, die Wände der Foyers mit hellbraunen Kalksteinplatten versehen und die Stahlbetondecken verkleidet. In den darauffolgenden Jahrzehnten wurden außerdem Teilflächen des Wandelgangs mit diversen Büro- und Nebenräumen verbaut.

Im Zuge der Instandsetzung der Jahrhunderthalle wurde die komplette Innenausstattung des Rundgangs sowie der Eingangshallen, Polygonsäle und des Kaisersaals saniert. Dabei wurden auch

** KEIM Concretal-Lasur

¹⁸ vgl. Laska 2011a, S. 93.

¹⁹ vgl. Kowalski 2010, S. 7 f.

²⁰ vgl. Laska 2011a, S. 92 f.

kleinere Umbaumaßnahmen vorgenommen. Die markantesten Eingriffe waren der Rückbau der Nutzräume im Rundgang – sie wurden in die neuen Tribünenbauten verlegt – sowie die Errichtung eines permanenten Besucherzentrums im äußeren Teil des südwestlichen Rundgangs-Trakts. Abgesehen vom neuen Besucherzentrum entspricht das aktuelle Nutzungskonzept des Rundgangs nun erneut der ursprünglichen Idee des Architekten Max Berg.

Hinsichtlich der Innenraumgestaltung wurden insbesondere die Eingangshallen wieder ihrem historischen Aussehen angenähert. Dies ist zum Teil auch unverhofften Funden während der Sanierungsarbeiten zu verdanken. So ist beispielsweise die Stahlbeton-Kassettendecke im Foyer des Haupteingangs freigelegt worden (siehe Abb. 12.15). In diesem Raum hätten eigentlich die abgehängten Decken erneuert werden sollen, doch als die gut erhaltene Originaldecke zum Vorschein kam, beschloss der Denkmalausschuss dieses architektonische Element dauerhaft zu exponieren.

In den nördlichen und südlichen Eingangshallen wurde die Steinplatten-Wandverkleidung entfernt und der Stahlbeton wieder enthüllt. Die Instandsetzung dieser Sichtbetonflächen war aufgrund zahlreicher Fehlstellen und der Verunreinigung mit diversen Baustoffen relativ aufwändig. Während der Arbeiten wurden oberhalb der Türen die originalen Aufschriften „AUSGANG“ freigelegt, die schließlich ebenfalls in die aktuelle Raumgestaltung der Foyers integriert worden ist (siehe Abb. 12.16). Darüber hinaus ist dieses Detail ein Indiz dafür, dass die Wände des Rundgangs ursprünglich nicht beschichtet waren, denn der Schriftzug ist mit schwarzer Farbe direkt auf den unbehandelten Beton aufgemalt worden.

12.4 Technische Gebäudeausrüstung²¹

Ein wichtiger Aspekt bei der Gebäudeinstandsetzung war ebenfalls die Erneuerung der Versorgungstechnik der Jahrhunderthalle sowie deren Ausstattung mit modernen Steuerungs- und Überwachungssystemen. Ausgetauscht wurden insbesondere sämtliche Wasser- und Abwasserleitungen, die Heizungsanlagen inkl. Anbindung an das Fernwärmenetz, die Lüftungsinstallationen sowie die Energieversorgungs-, Steuer- und Datenleitungen.

Es wurden besondere Vorkehrungen getroffen, um die neuen Leitungen möglichst versteckt zu führen. Bei der Ausstattung der Innenräume mit technischen Einrichtungen war man gleichermaßen bemüht, diese dezent in die Innenarchitektur des Gebäudes einzugliedern. Um nicht die Funktionalität gewisser Anlagen – insbesondere der Brandschutzeinrichtungen – nicht einzuschränken, mussten aus Sicht des Denkmalschutzes allerdings auch einige Zugeständnisse gemacht werden.

Ein Großteil der Haustechnikanlagen befindet sich im nördlich gelegenen unterkellerten Bereich des Rundgangs, z. B. die Wasserversorgungsanlage, der Löschwassertank samt Pumpstation, die Fernwärme-Übergabestation, die Lüftungszentrale und andere Schalträume. Von diesem Bereich aus führt ein Medienkanal direkt zum nördlichen Teil des Zentralraums. Ein weiterer Medienkanal verläuft unterhalb des Fußbodens entlang des Korridors im Rundgang. Über Abzweigungen sind an diesen 450 m langen umlaufenden Hauptkanal diverse Nutzräume sowie der Versammlungsraum angebunden. Um ausreichend Platz für den Ausbau der Leitungen zu schaffen, wurde der existierende Medienkanal im Rundgang auf einen Querschnitt von 180 x 90 cm erweitert (siehe Abb. 12.17).

²¹ vgl. Czarniecki, Czerek 2013, S. 89 f; 2011b, S. 84; Kowalski 2010, S. 9; Tomaszewski 2010b, S. 3, 12; Gołębiowska-Szuchta 2014

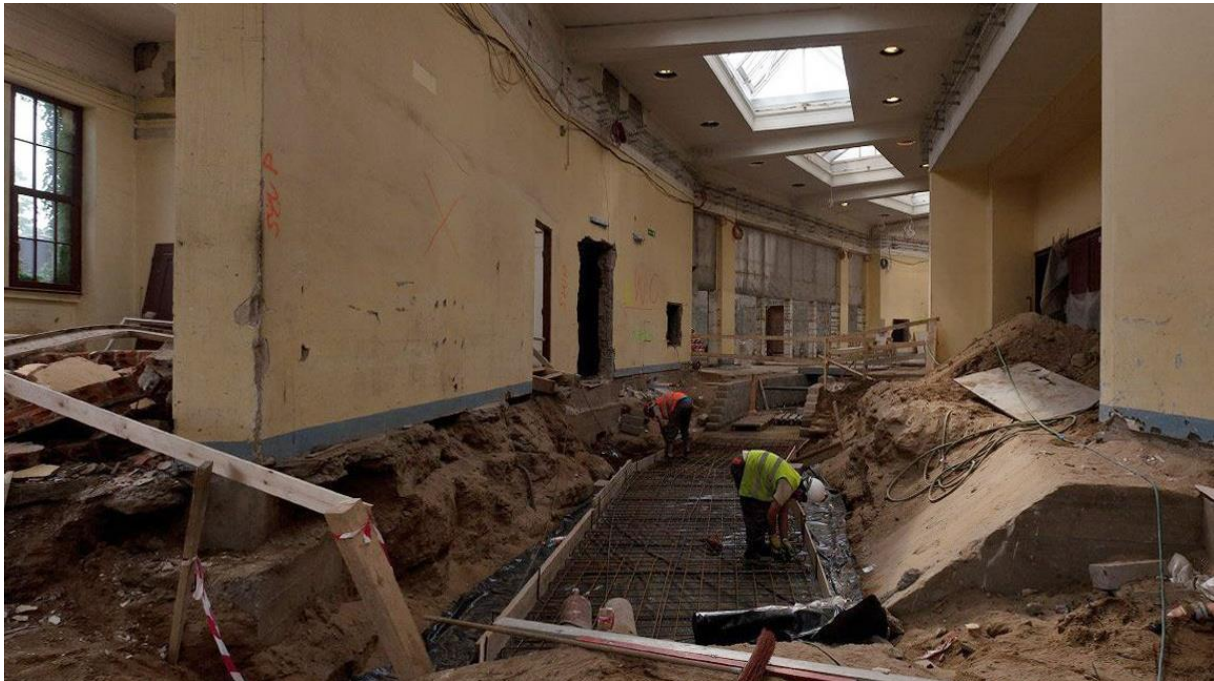


Abb. 12.17: Rundgang während der Sanierung

Im Zuge der Erneuerung der Lüftungsanlagen wurde auch der alte, aus Asbestzementplatten bestehende, Lüftungsschacht unterhalb des Zugrings entfernt. Er wurde durch einen etwas dezenteren zeitgemäßen Lüftungskanal ersetzt, der zwecks besserer Belüftung des Versammlungsraums mit Weitwurfdüsen ausgestattet ist. Außerdem wurden die Hauptventilatoren, die im sogenannten Windrahmen des Tragwerks untergebracht sind, durch leistungsstärkere ersetzt. Einige ausgewählte Räume der Jahrhunderthalle, etwa das Besucherzentrum, der Kaisersaal sowie einige Büro- und Technikräume, wurden mit einer separaten Klimatisierung ausgestattet. Die 2011 neu installierte Rauchabzugsanlage des Zentralraums wurde schließlich im Frühjahr 2014 nachgerüstet, um sie ebenfalls für die reguläre Raumlüftung nutzen zu können.

Kapitel 13

Aktuelles Raumprogramm und Funktionen

Zahlen und Fakten der Jahrhunderthalle¹

Grundstücksfläche	76 790 m ²	
Bebaute Fläche	12 845 m ²	
Nutzfläche gesamt	17 235 m ²	(bis 2011: 16 480 m ²)
Kubatur gesamt	178 226 m ³	(bis 2011: 167 230 m ³)
Kuppeldurchmesser innen	65 m	
Länge des Versammlungsraums (inkl. Apsiden)	95 m	
Nutzfläche des Versammlungsraums	5 600 m ²	
Umfangslänge der Rundgangaußenwand	488 m	
Gebäudemaße (längste bzw. höchste Stellen)	155 m x 152 m x 42 m	



Abb. 13.1: Ensemble Jahrhunderthalle-Kongresszentrum, Pergola und Wasserbecken samt Multimediafontäne, 2 Kuppeln des 4-Kuppel-Pavillons, Iglica am Vorplatz der Jahrhunderthalle

¹ vgl. Tomaszewski 2010a, S. 30; 2010b, S. 5; Persona 2008, S. 13.

Kongresszentrum Wrocław

Die Betreibergesellschaft der Jahrhunderthalle Wrocławskie Przedsiębiorstwo Hala Ludowa Sp. z o.o. verwaltet auch das KONGRESSZENTRUM WROCLAW. Es handelt sich hierbei um das ehemalige Terrassen-Restaurant der Jahrtausendausstellung, das über einen kurzen Laubengang direkt an den Nord-Eingang der Jahrhunderthalle anschließt (siehe Abb. 13.1). Das historische Gebäude wurde nach einer einjährigen Umbauphase im August 2010 als modernes Tagungszentrum wiedereröffnet. Die diversen Räumlichkeiten des Gebäudekomplexes Jahrhunderthalle-Kongresszentrum lassen sich bei Großveranstaltungen gemeinsam sinnvoll nutzen.

Das Kongresszentrum beherbergt:²

- ein Auditorium, 836 m² für knapp 1 000 Personen
- einen Multifunktionssaal, 694 m² für bis zu 1 000 Personen
- zwei Konferenzräume, je 339 m² für bis zu 200 Personen
- vier Besprechungsräume für je 20 Personen
- einen VIP-Raum, 50 m²
- Aussichtsterrasse
- Restaurant und Bistro, je 250 m² für bis zu 150 Personen

13.1 Versammlungsraum³

Der Versammlungsraum der Jahrhunderthalle lässt sich je nach Bedarf verschiedenartig gestalten. Die Innenausstattung wurde für die drei Hauptnutzungen Sportereignis, Konzert und Messe optimiert. Diverse andere Veranstaltungstypen, wie Kongresse, Bälle, Theateraufführungen, etc., werden als Variation der Hauptnutzungsarten angesehen, deren Anforderungen durch eine Kombination der Grundkonfigurationen gedeckt werden können.

Im voll ausgebauten Zustand wird der Versammlungsraum zukünftig eine noch vielfältigere Nutzung ermöglichen. Neben der Erhöhung der Zuschauerkapazität, wird der Zentralraum auf einer Gesamtfläche von 2 026 m² mit motorisch verstellbaren Hubböden ausgestattet sein. Diese Installation ermöglicht einen raschen Wechsel zwischen zahlreichen unterschiedlichen Bodenkonfigurationen, um je nach Veranstaltungsart,

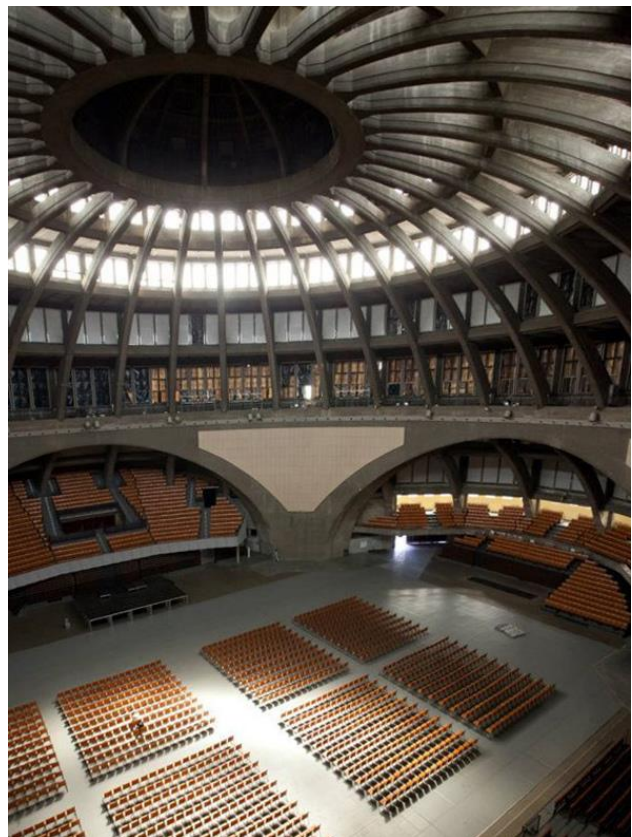


Abb. 13.2: Versammlungsraum mit aktueller Ausstattung

² vgl. o. V. Halastulecia.pl 2015

³ vgl. Tomaszewski 2010a, S. 32-38; o. V. Halastulecia.pl 2015

optimale Bedingungen für Akteure und Besucher zu schaffen. Innerhalb kurzer Zeit wird die ebene Fläche komplett um maximal 2,75 m abgesenkt und gehoben werden können. Mit der Höhenverstellung ausgewählter Module könnten auf einfache Weise spezielle Einrichtungen, z. B. eine Bühne, ein Laufsteg, Choraufbauten, Podeste etc., geschaffen werden.

Nutzungsart Sportereignis

Für sportliche Großveranstaltungen ist eine arenaartige Konfiguration des Zuschauerraums vorgesehen. Bei dieser Art der Nutzung kann die maximale Sitzplatzkapazität der Jahrhunderthalle von derzeit 5 067 Plätzen ausgeschöpft werden:

- 2 209 Plätze auf Tribünenanlagen der Ost- und West-Apside
- 1 188 Plätze auf Balkon-Tribünen der Nord- und Süd-Apside
- 1 670 Plätze auf demontierbaren Tribünen rund um den Zentralraum

Nach Fertigstellung der zweiten Ausbaustufe, werden bei abgesenktem Hallenboden die Teleskoptribünen um zusätzlich 3 210 Sitzplätzen erweitert werden können. Außerdem soll der Zuschauerraum mit demontierbaren balkonartigen Tribünen ausgestattet werden, die auf zwei Rängen vor jedem der vier Hauptpfeiler aufgebaut werden können und den Bereich zwischen den Apsiden dem Publikum nutzbar machen. Dank dieser Maßnahmen soll die angestrebte Aufstockung der Gesamtkapazität der Jahrhunderthalle auf 10 000 Sitzplätze möglich sein.

Nutzungsart Konzert

Für die Konzert-Grundkonfiguration des Versammlungsraums ist die Errichtung einer Bühne in der Ost-Apside vorgesehen. In diesem Fall ist der Zuschauerraum für maximal 7 000 bzw. 10 000 Personen ausgelegt, je nachdem ob das Parkett bestuhlt wird oder als Stehplatzbereich genutzt wird.

Nutzungsart Messe

Bei Messeveranstaltungen wird im Zuschauerbereich durch das Verstauen der demontierbaren Tribünen sowie das Einfahren der Teleskoptribünen möglichst viel Freifläche geschaffen. Im Versammlungsraum können dann ca. 4 000 m² als Ausstellungs- und Verkehrsfläche genutzt werden.

Um das volle Fassungsvermögen der Jahrhunderthalle von maximal 2 500 Messebesuchern auszuschöpfen, steht im Rundgang ungefähr nochmals so viel Platz zur Verfügung. Bei der Nutzung dieser Bereiche ist jedoch darauf zu achten, dass die Fluchtwege nicht blockiert werden. Aus diesem Grund können z.B. die Eingangshallen nicht für Messestände freigegeben werden. Bei Bedarf kann auch der Vorplatz der Jahrhunderthalle als weitere Ausstellungsfläche genutzt werden.



Abb. 13.3: Rundgang der Jahrhunderthalle

13.2 Rundgang samt individueller Nutzräume⁴

Der zentrale Versammlungsraum wird von einem großteils einstöckigen Bau umschlossen. Neben einem umlaufenden Korridor, beherbergt dieser die vier Eingangshallen, den Kaisersaal, die vier sogenannten Polygonsäle und diverse Nebenräume. Der etwa 5 m breite Wandelgang dient u. a. als horizontale Verkehrsfläche, um die Besucher auf die einzelnen Bereiche des Zuschauerraums zu verteilen.

Der Wandelgang besitzt zwischen den Eingangshallen und den dazwischenliegenden Polygonsälen nischenartige Erweiterungen. Der Polygonsaal sowie den Nischen des südwestlichen Rundgang-Traktes wurden nun baulich vom Korridor getrennt und werden für das neue Besucherzentrum der Jahrhunderthalle genutzt. Die restlichen Nischen und Polygonsäle stehen seit dem Umbau wieder als Freiflächen zur Verfügung.

Das Flachdach des Rundgangs ist mit zwei satteldachförmigen Lichtbändern ausgestattet, wobei die inneren Oberlichter nun auch als Rauchabzug fungieren. Dank des großzügigen Flächenangebots von insgesamt etwa 4 000 m² und der guten Belichtung, kann der Wandelgang ideal als Ausstellungsraum genutzt werden. Sperrige Güter können über zwei große Tore der Außenwand direkt in den Wandelgang und weiter in den Versammlungsraum transportiert werden.

Bei Bedarf ist es möglich gewisse Teile des Wandelgangs und Versammlungsraums abzutrennen, um sie individuell zu nutzen. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass die Außenwände des Rundgangs mit Notausgängen ausgestattet sind und die notwendigen Fluchtwege bei Massenveran-

⁴ vgl. Tomaszewski 2010a, S. 33-38; o.V. Halastulecia.pl 2015



Abb. 13.4: Kaisersaal über dem Foyer des Haupteingangs

staltungen freizuhalten sind. Bis zu einer Besucheranzahl von maximal 7 000 Personen ist es gestattet, den östlichen Trakt des Rundgangs gänzlich abzusperren, um ihn etwa als erweiterten Backstage-Bereich zu verwenden. Darüber hinaus sind folgende Räume der Jahrhunderthalle für eine individuelle Nutzung geeignet: drei Polygonsäle, die Nischen im Rundgang, die Foyers der Nebeneingänge sowie der nördliche und südliche Apsidenraum.

13.2.1 Kaisersaal⁵

Der repräsentative Kaisersaal befindet sich direkt über dem Foyer des Haupteingangs und ist von dort aus über zwei Wendeltreppen zu erreichen. Der Raum hat einen ovalen Grundriss und ist 270 m² groß. Er ist mit einer großen Lichtkuppel ausgestattet und besitzt fünf Balkone, die sich direkt über dem Haupteingang der Jahrhunderthalle befinden. Zu beiden Seiten sind symmetrisch zwei ca. 20 m² große Räume angeschlossen, die wiederum über ein kleines Nebenzimmer verfügen.

Auf gleicher Ebene besitzt der Kaisersaal ein geräumiges Entree über das auch ein eigener Zuschauerbereich auf der Haupttribüne erreichbar ist. Dieser Vorraum ist vom Erdgeschoss aus über zwei Aufzüge erschlossen. Der Raum kann mittels mobiler Trennwände um einen zusätzlichen Buffetbereich erweitert werden. Im Obergeschoss befinden sich in unmittelbarer Nähe außerdem öffentliche Sanitärräume und eine Garderobe.

Dank seiner Lage und Ausstattung eignet sich der Kaisersaal bei diversen Großveranstaltungen ideal als VIP-Bereich, andererseits kann er aber auch als eigener festlicher Rahmen z. B. für Bankette oder Symposien dienen.

⁵ vgl. Tomaszewski 2010a, S. 33; o. V. Halastulecia.pl 2015



Abb. 13.5: Das neue multimediale Besucherzentrum im Polygonsaal des Rundgangs

13.2.2 Besucherzentrum⁶

Seit Februar 2012 besitzt die Jahrhunderthalle erstmalig ein eigenes permanentes Besucherzentrum. Es wurde nahe des Haupteingangs im äußeren Teil des südwestlichen Rundgang-Traktes untergebracht. Mit Hilfe von Modellen, historischen Aufnahmen, Zeitungsberichten und Animationen werden Gästen die Geschichte der Jahrhunderthalle und des umliegenden Ausstellungsgeländes veranschaulicht sowie Ideen der zukünftigen Nutzung und Gestaltung der Anlage präsentiert (siehe Abb. 13.5). Neben der multimedialen Ausstellung haben Besucher selbstverständlich auch die Gelegenheit den Versammlungsraum unter der berühmten Stahlbeton-Rippenkuppel zu besichtigen.

Im Zentralraum wird Besuchern regelmäßig eine besondere Attraktion dargeboten: die Videomapping-Vorführung *O (Omicron)* des Künstler-Kollektivs Anti-VJ (siehe Abb. 13.6). Es handelt sich hierbei um eine permanente Installation von Romain Tardy & Thomas Vaquié, die sich mit dem Gedanken der Zeitlosigkeit in der Architektur sowie mit der Frage, welche Bedeutung die Zukunft im Verlauf des 20. Jahrhunderts hatte, auseinandersetzt. Mit Hilfe von Lichtinszenierungen und Toneffekten werden im abgedunkelten Kuppelraum abwechselnd diverse architektonische Elemente des Bauwerks hervorgehoben und durch eindrucksvolle 3D-Projektionen die Illusion erweckt, dass sich die Konstruktion bewegt. Mit der Visualisierung der Windrahmen-Konstruktion der Hauptpfeiler* bringt die Lichtinstallation u. a. auch ansonsten verborgene Teile des Tragwerks virtuell wieder zum Vorschein.

⁶ vgl. o. V. Interactive Storytelling - Hala Stulecia we Wrocławiu, Newamsterdam.pl, 2015; o. V. AntiVJ - O (Omicron), antivj.com, 2013

* Sie wurde kurz nach Fertigstellung des Rohbaus zunächst hinter einem aufgespannten Stofftuch versteckt, das später von einer dünnen Stahlbetonwand ersetzt wurde.



Abb. 13.6: Zentralraum der Jahrhunderthalle während der Videomapping-Vorführung *O (Omicron)*

13.3 Betriebs-, Verwaltungs- und Funktionsräume⁷

Die Betriebsräume der Jahrhunderthalle sind je nach Funktion in unterschiedlichen Bereichen des Gebäudes konzentriert. Die öffentlichen Funktionsräume (Kassen, Kiosk, Sanitäranlagen, Garderobe, Sicherheitsdienst etc.) befinden sich vorwiegend in der Umgebung der vier Eingangshallen sowie im Obergeschoss (Sanitäranlagen, Catering) der westlichen Tribünenanlage.

Die Garderoben, Aufenthalts- und sonstige Nebenräume (Doping-Kontrollraum, Sanitätsraum, etc.) für die Akteure der Veranstaltungen sind in der östlichen Tribünenanlage untergebracht. In einem Teil des Obergeschosses der Ost-Tribüne befindet sich außerdem die Verwaltung der Jahrhunderthalle. Die gegenüberliegende Tribünenanlage beherbergt die Kommentatorenkabine sowie die Licht- und Tonregie. Weitere Büros wie auch die Aufenthaltsräume für Service-, Reinigungs-, Technik- und Sicherheitspersonal befinden sich im Bereich der Seiteneingänge und im unterkellerten Teil der West-Tribüne.

Die Haustechnikanlagen der Jahrhunderthalle (Wasserversorgungsanlage, Löschwassertank, Lüftungszentrale etc.) befinden sich zum überwiegenden Teil im nördlich gelegenen Keller der Jahrhunderthalle. Weitere Lüftungsanlagen sind darüber hinaus in den Hauptpfeilern und oberhalb der Sanitärräume des Rundgangs untergebracht. Die Brandmeldezentrale und der Serverraum befinden sich beim Südeingang. Diverse Depots und Lagerräume wurden im Souterrain der Nord-, Süd- und West-Apside eingerichtet.

⁷ vgl. Tomaszewski 2010a



Abb. 13.7: Kuppeldecke mit neuer Rauchabzugsanlage und Akustikbeschichtung

13.4 Barrierefreiheit⁸

Bei der Modernisierung der Jahrhunderthalle wurde auf die barrierefreie Gestaltung des Gebäudes geachtet. Dank der stufenlosen Eingänge sowie den vier Personenaufzügen beider Tribünenanlagen – einer davon dient in der West-Tribüne auch als Lastenaufzug – ist der barrierefreie Zugang zu allen öffentlichen Bereichen sichergestellt. Im ebenerdigen Zuschauerbereich sind Plätze für mobilitätseingeschränkte Besucher eingerichtet. Die vier Sanitäranlagen im Rundgang sowie diejenige beim Kaisersaal im Obergeschoss verfügen jeweils auch über einen barrierefreien WC-Raum.

13.5 Brandschutz⁹

Im Zuge Umbauarbeiten wurde unweigerlich auch der Brandschutz der Jahrhunderthalle verbessert. Beispielsweise wurden lange Zeit versperrte Fluchtwege durch den Rückbau der Nutzräume im Rundgang und die Öffnung von drei zugemauerten Notausgängen wieder nutzbar gemacht.

Die Maßnahmen des vorbeugenden Brandschutzes der Jahrhunderthalle sind für Massenveranstaltungen mit einer Personenanzahl bis zu maximal 10 000 ausgelegt worden. Hinsichtlich der Brandschutzvorschriften mussten bei dem historischen Gebäude gezwungenermaßen allerdings einige Zugeständnisse gemacht werden. In Anbetracht des Denkmalschutzes und des großen Versammlungsraums mit einer Brandabschnittsfläche von ca. 14 000 m², war es nicht möglich, sämtliche aktuell für Versammlungsstätten vorausgesetzte Bestimmungen einzuhalten.

⁸ vgl. Tomaszewski 2010a; 2011b, S. 84.; Laska 2011

⁹ vgl. Tomaszewski 2010b; 2011b, S. 84.; Laska 2011

Das Brandmeldesystem der Jahrhunderthalle sieht die Überwachung des gesamten Gebäudes inkl. der abgehängten Decken, doppelten Böden, Medienkanälen etc. vor. Die Anlage ist mit Handfeuer-meldern und automatischen Multisensormeldern ausgestattet und im Versammlungsraum werden oberhalb des Zuschauerbereichs sowie Spielfeldes auf mehreren Ebenen lineare Rauchmelder eingesetzt.

Die Brandmeldezentrale befindet sich in unmittelbarer Nähe des nördlichen Eingangs im Raum des Wach- und Sicherheitsdienstes. Von hier aus werden die Alarmierungsanlage, die Sicherheitsbeleuchtung sowie die Entrauchungsanlage des Gebäudes kontrolliert. Im Fall einer Gefahrensituation wird die notwendige Räumung des Gebäudes durch eine akustische Alarmierung mittels Sprachdurchsagen eingeleitet und gesteuert.

Im Versammlungsraum wurde auf der obersten Flachdachebene der Kuppel eine Rauchabzugsanlage mit einer geometrisch freien Fläche von 64 m^2 installiert. Zwischen den Unterzügen der Deckenkonstruktion wurden dafür 32 Dachöffnungen von $2,5 \times 1,3 \text{ m}$ hergestellt. Die Entrauchung erfolgt auf natürlichem Weg nach dem thermischen Auftriebsprinzip. Die dafür nötige Zuluft wird durch das automatische Öffnen von Fluchttüren in den Rundgang sichergestellt.

Die inneren Oberlichten des Rundgangs sind ebenfalls mit Rauchabzugsanlagen ausgestattet worden. Bei einer Brandmeldung werden sie automatisch über die Brandmeldezentrale geöffnet. Für eine effizientere Entrauchung der Fluchtwege, wird in den nicht vom Brand betroffenen Bereichen des Rundgangs zusätzlich eine mechanische Belüftungsanlage $40\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ Volumenstrom aktiviert.

Die Jahrhunderthalle ist mit Wandhydranten ausgestattet, deren Löschwasserleitungen an die öffentliche Trinkwasserversorgung angeschlossen sind. Im Bedarfsfall können diese auch aus einem hauseigenen Löschwasserbehälter mit 100 m^3 Fassungsvermögen gespeist werden.

FAZIT

Die Bedeutung der Jahrhunderthalle für die Architektur und Bautechnik

Die Breslauer Jahrhunderthalle beeindruckt in vielerlei Hinsicht. Ihr Architekt Max Berg brillierte durch seine Ingenieurskunst und die Entschlossenheit, sich gegen zahlreiche Skeptiker seiner Zeit zu behaupten. Nicht nur stellte er den Stahlbeton in seiner rohen Gestalt regelrecht zur Schau, er formte ihn zu einem revolutionären Bauwerk und verdeutlichte das wahre Potential dieses neuartigen Baustoffs. Von außen lässt die ambivalente Architektur der Jahrhunderthalle das imposante, im Innenraum vollkommen exponierte Tragwerk nur schwer erahnen. Es verkörpert förmlich den damaligen rasanten wissenschaftlichen Fortschritt im Stahlbetonbau und kann zu Recht als Ikone jenes Werkstoffes bezeichnet werden, der sich in weiter Folge als *Baustoff des 20. Jahrhunderts* etablieren sollte.

Ebenbürtige Anerkennung gilt der ingenieurwissenschaftlichen Kompetenz des federführenden Statikers Günter Trauer. Das Tragwerk der Jahrhunderthalle ist integraler Bestandteil ihrer architektonischen Gestaltung, dieser Umstand machte das Bauvorhaben unweigerlich zu einem frühen Musterbeispiel interdisziplinärer Planung.

Schließlich ist auch noch die staunenswerte Leistung des auf Beton und Stahlbeton spezialisierten Bauunternehmens Dyckerhoff & Widmann A.G. hervorzuheben. Unter der Leitung des technischen Direktors Willy Gehler ist es dank einer wohldurchdachten Organisation und dem Einsatz innovativer Technologien gelungen, den Rohbau dieses Monumentalbaus, abgesehen von den Fundamenten, innerhalb von nur 9 Monaten auszuführen.

Die konstruktive Absicherung des Zugrings

Bautechnischer Aspekt

Im Gutachten über den Bauzustand der Jahrhunderthalle von 2008 stellte Marian Persona fest, dass dieses Schlüsselement des Tragwerks nach aktueller Norm deutlich unterdimensioniert ist und dringend abgesichert werden muss. Die Ursache dafür sieht der Gutachter in falsch vereinfachten Berechnungsmodellen der Tragwerksplaner und damit einhergehenden Fehlern der ursprünglichen Berechnung des Zugrings. Die Notwendigkeit der Absicherung wurde durch ein geändertes Nutzungsverhalten bestärkt, nämlich der direkten Belastung bzw. Beeinträchtigung des Zugrings durch diverse technische Installationen, die direkt auf dem Zugring montiert wurden, als auch durch Zusatzbelastungen der Rippenkonstruktion der Kuppel aufgrund von Abhängung von Eventtechnik und Dekoration im Zuge regelmäßig wiederkehrender Großveranstaltungen.

Die Absicherung des Zugrings erfolgte im Jahr 2009 im Zuge der Instandsetzung des äußeren Teils der Jahrhunderthalle. Zur Anwendung kam hierfür ein System aus mehreren Spanngliedern, die verteilt über die Höhe der Zugring-Betonummantelung entlang des äußeren Umfangs installiert wurden. Die Verstärkung mittels verbundlosen Vorspannsystems wurde nur schwach vorgespannt, um das vorliegende Kräftegleichgewicht des Tragwerks nicht zu stören. Demnach handelt es sich um eine passive Verstärkung des Zugrings, die ihre Wirkung erst bei einer Aufweitung des Zugrings entfaltet und in diesem Fall die Zugkräfte Tragwerks übernimmt.

Die ausgeführte Art der Zugringabsicherung kann als Weiterentwicklung jener Methode betrachtet werden, die Mitte des 18. Jahrhunderts bei der Absicherung der Kuppel des Petersdoms in Rom ihre Anwendung fand. Bei diesem berühmten Beispiel wurde der Zugring ebenfalls mittels einer Umfassung verstärkt, die allerdings aus eisernen Teilstücken bestand.

In jüngerer Vergangenheit kann sich die Absicherung des Jahrhunderthallen-Zugrings auf mehrere vorhergegangene Projekte ähnlicher Arten der Tragwerkssanierung referenziert werden. 1987 wurde beispielsweise ein Vorspannsystem am Zugring des Santuario Vicoforte in Italien angebracht. In diesem Fall erfolgte Absicherung eines Kuppelbauwerks mittels 14 geradlinigen Zuggliedern, die tangential an die Kuppel mit 37,2 x 24,9 m elliptischen Grundriss angelegt und minimal vorgespannt wurden.¹

Verstärkungen von zylindrischen Industriebauten, beispielsweise Kläranlagen, Silos oder Kühltürmen, mittels konventioneller Vorspannsysteme gehören allgemein zum aktuellen Stand der Technik im Bauwesen. Anwendung bei Kuppelbauwerken fand eine ähnliche Lösung mittels Spanngliedern 2002 bei der Verstärkung des Zugrings mit 87 m Durchmesser der University Hall Charlottesville, Virginia².

Denkmalpflegerischer Aspekt

Die Absicherungsmaßnahme des Zugrings stellte einen invasiven Eingriff in die Bausubstanz des Gebäudes dar. Es wurden Halterungen für die Spannkabel an der Zugringoberfläche montiert und Öffnungen in den Wänden des externen Stiegenhauses hergestellt. Das in den 1930er-Jahren an der Fassadenwand des Zugrings zugebaute Stiegenhaus spielt eine wichtige Rolle für die ausgeführte Absicherungsmethode. Die vergleichsweise sperrigeren Kopplungsstücke der Spannglieder konnten darin gut versteckt werden.

Die Einhaltung der Anforderungen an Sicherheit und Dauerhaftigkeit stellen ein übergeordnetes Kriterium der Denkmalpflege dar. Die Absicherung des Zugrings der Jahrhunderthalle führte zu einer geringfügigen Veränderung des Fassadenprofils, ein Detail, das insbesondere aus einer für den Betrachter üblichen Distanz, kaum auszumachen ist. Das historische Erscheinungsbild des Bauwerks hat durch diesen Eingriff kaum Einbußen erlitten. Hinsichtlich des erreichten Sicherheitsgrads ist die Verhältnismäßigkeit der getroffenen Maßnahme jedenfalls gerechtfertigt.

¹ vgl. Onysyk et al. 2014

² Vgl. o.V. ICRI.org, 2002

Die Instandsetzung der Stahlbetonfassade

Bautechnischer Aspekt

Die zu Beginn des 21. Jahrhunderts dokumentierten Schädigungen der Bausubstanz der Jahrhunderthalle waren in erster Linie unterschiedliche Arten von Rissen, Betonabplatzungen mit teils freiliegender Bewehrung sowie oberflächliche Verschmutzungen des Sichtbetons. Die hauptsächlichen Schadensursachen waren einerseits die jahrzehntelang vernachlässigte Instandhaltung des Bauwerks, andererseits waren es charakteristische Schäden, die an Stahlbetonbauwerken jener Zeit generell vorzufinden sind und auf dem damaligen Wissensstand der Technik beruhen. Zum Teil waren dies Grundsätze die aus aktueller Sicht als unzulänglich angesehen werden müssen und sich nachteilig im Hinblick auf die Dauerhaftigkeit der historischen Stahlbetonelemente auswirkten.

Die Reparatur der Risse erfolgte durch das Verfüllen mit Epoxidharz durch Injektionen bzw. bei feinen Rissen manuell mittels Trängung. Damit wurde erneut ein kraftschlüssiger Verbund der Rissflanken geschaffen. Dilatationsfugen des Bauwerks wurden fachgerecht mittels schnellschäumendem Polyurethan-Injektionsharz und einem farblich angepassten Dichtstoff versiegelt. Bei Betonabplatzungen und -ausbrüchen wurde die Bausubstanz zunächst lokal entsprechend vorbereitet, d.h.: Abtrag von minderfestem Beton, schonende Reinigung des Betonuntergrunds sowie freiliegender Bewehrung mittels Niederdruck-Rotations-Wirbelstrahlverfahren und Aufbringen einer korrosionsschützenden Haftbrücke. Anschließend wurden die Fehlstellen mit handelsüblichen Reparaturmörteln verfüllt und die Oberflächentextur, insbesondere die Struktur der Schalungsbretter, entsprechend ihres ursprünglichen Aussehens reprofiliert. Abschließend wurde die Fassade mit einem hydrophobierenden gelblichen Lasuranstrich auf Sol-Silikatbasis farblich vereinheitlicht.

Mit den lokal auf die Fehlstellen beschränkten Ausbesserungen wurde auf einen minimalen Eingriff in die Bausubstanz geachtet. Aus bautechnischer Sicht sind die getroffenen Maßnahmen wirkungsvoll. Es wurde damit die künftige Schadensentwicklung eingedämmt und die Lebensdauer der Stahlbetonelemente wesentlich verlängert.

Denkmalpflegerischer Aspekt

Maßnahmen zur Instandsetzung historisch wertvoller Bauwerke aus Beton und Stahlbeton verlangen nach einer Vorgehensweise, die neben den technischen Gesichtspunkten auch den Anforderungen des Denkmalschutzes entsprechen muss. Nach den Grundsätzen der Denkmalpflege sollten Reparaturen möglichst lokal auf die Fehlstellen begrenzt und reversibel sein sowie das ursprüngliche Erscheinungsbild des Bauwerks bewahren.

Beim Vergleich der ausgeführten Instandsetzungsmaßnahmen an der Stahlbetonfassade der Jahrhunderthalle mit aktuellen Grundsätzen der behutsamen Betoninstandsetzung³ fielen zwei wesentliche Unstimmigkeiten auf: Der Einsatz von konventionellen Reparaturmörteln und der Lasuranstrich auf Sol-Silikatbasis.

- Um denkmalpflegerische Anforderungen zu erfüllen, muss ein Instandsetzungsmörtel, neben den technologischen Eigenschaften, auch das ursprüngliche Erscheinungsbild der originalen Betonoberfläche so weit als möglich erhalten. Die Zusammensetzung eines entsprechenden Instandsetzungsmörtels sollte weitestgehend mit dem Beton des Bauwerks übereinstimmen. Die Festlegung der spezifischen Anforderungen und die Entwicklung solch eines Mörtels sind mit einer Bemessungsaufgabe vergleichbar. Die für die Reprofilierung verwendeten Standardreparaturmörtel erfüllen diese Kriterien nicht. Das Erscheinungsbild reparierter Fehlstellen weicht in Textur und Farbe vom Originalbeton ab.

Der Umstand über die Verwendung unangemessener Instandsetzungsmaterialien ist umso verwunderlicher, als bei der Bauzustandsanalyse und der Instandsetzungsplanung mehrmals die Verwendung falscher Materialien für die Reparaturen der 1980er-Jahre bemängelt wurde.

- Bereits bei der Planung der Instandsetzungsmaßnahmen herrschten zwischen Fachleuten Unstimmigkeiten über einen etwaigen zukünftigen Anstrich der Jahrhunderthalle, die über die Presse auch von der Öffentlichkeit aufgenommen wurden. Nach den Gesichtspunkten der behutsamen Betoninstandsetzung ist der Überzug der Betonoberfläche mit einer zusätzlichen Schicht nicht vorgesehen. Wünschenswert war jedenfalls ein einheitliches Erscheinungsbild der instandgesetzten Sichtbetonflächen und die nachträgliche farbliche Anpassung wurde aufgrund der augenscheinlichen Abweichung der reprofilierten Stellen als notwendig angesehen. Die Rechtfertigung dieses Schrittes erfolgte aufgrund von Farbstoffanalysen an der Fassade, die einen früheren Anstrich des Bauwerks belegen sollten. Wenn es einen früheren flächendeckenden Anstrich der Jahrhunderthalle gegeben hat, so stammt dieser unwahrscheinlich aus der Zeit von 1912-1913, der aus denkmalpflegerischer Sicht besonderes Augenmerk gebührt. Trotz einer umfassenden Literaturrecherche, konnten keinerlei Indizien dafür gefunden werden.

Von dieser Tatsache absehend, hätte laut Grundsätzen der Denkmalpflege ein möglicher Anstrich aus der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts auch mit Technologien der damaligen Zeit ausgeführt werden müssen. Der aufgetragene Lasuranstrich auf Sol-Silikatbasis ist hingegen eine Technologie des 21. Jahrhunderts und hätte somit nicht verwendet werden dürfen. Darüber hinaus handelt es sich um einen irreversiblen Eingriff, da Silikatanstriche chemisch mit der Betonoberfläche reagieren und eine dauerhafte und unlösbare Verbindung eingehen.

Der Autor dieser Arbeit vertritt die Meinung, dass die betagte Jahrhunderthalle auf ihr dezentes Permanent Make-Up hätte verzichten können. Er vermutet, dass es in diesem Zusammenhang zum Ausbruch einer Spätform von Pastelosis gekommen ist.

³ Kremnitzer, Roßbacher 2006; Müller, Günter, Hilsdorf 2000

Modernisierung der Jahrhunderthalle unter denkmalpflegerischem Aspekt

Die Durchführung von baulichen Veränderungen an historisch wertvollen Bauwerken zur Aktualisierung ihrer Funktionalität ist aus denkmalpflegerischer Sicht diffizil. Einerseits sind die Anpassung an moderne Sicherheitsstandards und Nutzeranforderungen wünschenswert, da sie durch eine zukünftig gesteigerte Nutzung zur Bestandssicherung beitragen, andererseits muss auf die Wahrung der historischen und künstlerischen Authentizität geachtet werden.

Max Berg war beim Entwurf der Jahrhunderthalle um eine möglichst große Multifunktionalität der Jahrhunderthalle bemüht. Es bedarf jedoch einer umfassenden weiterführenden Recherche, um die durchgeführten Modernisierungsmaßnahmen hinsichtlich ihrer Notwendigkeit und Maßgeblichkeit erörtern zu können. Dies würde jedoch den Rahmen dieser wissenschaftlichen Arbeit sprengen. Folglich werden zum Gedankenanstoß nur drei unterschiedliche Aspekte beispielhaft thematisiert:

- Die Tieferlegung der Bodenplatte um 3,75 m im Zentralraum bewirkt eine Veränderung seiner Proportionen und somit eine geänderte Wahrnehmung des Versammlungsraums.
- Die Fenster des Rundgangs sind zwischen 1997 und 2006 durch stilistisch unpassend moderne Fenster ausgetauscht worden. Im Rahmen der Instandsetzung der übrigen Fenster des Bauwerks 2009 bis 2010 wurden sie durch den Einbau von sogenannten Wiener Sprossen wieder ihrem ursprünglichen Aussehen nähergebracht, während die restlichen Fenster des Bauwerks aufwändig unter größtmöglicher Bewahrung der Originalsubstanz instandgesetzt wurden. Es stellt sich die Frage ob unter diesen Umständen nicht eine Erstellung von Repliken jener Fenster die aus der Nähe betrachtet werden zielführender gewesen wäre.
- Im Zuge der Verbesserung des Brandschutzes wurde auf der obersten Flachdachebene der Kuppel eine Rauchabzugsanlage installiert und dafür in der Deckenkonstruktion 32 Öffnungen von 2,5 x 1,3 m hergestellt. Es stellt sich die Frage, ob nicht auch eine für die Bausubstanz schonendere Lösung machbar gewesen wäre, z. B. durch die Öffnung der ehemaligen Oberlichten der Laterne oder direkt, die Beherrschbarkeit der Windeinflüsse vorausgesetzt, durch die großen Fensterflächen der Kuppel.

Resümee und Ausblick

Die Entwicklungen der Jahrhunderthalle seit 2006 sind überaus erfreulich. Das faszinierende Bauwerk ist gesellschaftlich in den Vordergrund gerückt und hat einen Teil seiner historischen Bedeutung wiedergewonnen. Der „Dom der Demokratie“ – eine Bezeichnung die Max Berg selbst aufgriff – beherbergt nach wie vor die unterschiedlichsten Arten von Massenveranstaltungen und wird deren zeitgemäßen Anforderungen wieder gerecht. Große Verdienste gelten in dieser Hinsicht Jerzy Ilkosz, dem Direktor des Architekturmuseums in Wrocław. Neben der Organisation von Ausstellungen und anderer Öffentlichkeitsarbeit zur Jahrhunderthalle, hat er auch einen wichtigen Beitrag für die Anerkennung des Bauwerks als UNESCO Weltkulturerbe im Jahr 2006 geleistet. Dies war gewissermaßen der Startschuss für die weitreichenden Geschehnisse der darauffolgenden Jahre.

Doch nicht nur die Jahrhunderthalle, auch ihre unmittelbare Umgebung mit zahlreichen erhaltenen Objekten des historischen Ausstellungsgeländes von 1913 hat kürzlich eine wesentliche Aufwertung erhalten. Es wurden bedeutende Investitionen getätigt, die zu einem guten Teil finanziell durch Förderungen der Europäischen Union mitgetragen wurden: 2010 die Transformierung des ehemaligen Terrassenrestaurants zum Kongresszentrum Wrocław; 2015 die Renovierung von Hans Poelzigs historischem Vier-Kuppel-Pavillon und seine Wiederinbetriebnahme als öffentlicher Ausstellungsraum; die Instandsetzung des Freigeländes mit Pergola inklusive neuer Multimediafontäne und der Japanische Garten. All diese Maßnahmen führen zu einer steigenden Beliebtheit und vermehrten Nutzung des Gebiets um die Jahrhunderthalle. Die steigenden Besucherfrequenzen der Jahrhunderthalle, machen wiederum das Bauwerk bekannter und tragen zu dessen Erhalt bei.

Wünschenswert ist, dass die zukünftige denkmalgerechte Instandhaltung der Jahrhunderthalle aus den gewonnen Erkenntnissen ihrer eigenen Bauwerksgeschichte profitiert und diese Erfahrungen auch bei der Instandsetzung anderer in ähnlicher Weise bedeutungsvollen Bauwerken einfließen. Wichtig ist es den historischen Charakter zu bewahren, damit Nutzer und Besucher solch beeindruckender Bauwerke in möglichst authentischer Art und Weise von den richtungsweisenden Ideen ihrer Erbauer inspiriert werden.

Glossar

Eisenbeton	Ältere Bezeichnung für Stahlbeton. Sie wurde ab dem Beginn des 20. Jahrhunderts verwendet. Davor war der Begriff Monierbeton geläufig und ab 1941 spricht man allgemein von Stahlbeton. In der vorliegenden Arbeit wird der Begriff Eisenbeton nur in Zitaten, Firmennamen und im historischen Kontext verwendet.
Konservieren	Das erste Ziel jeder denkmalpflegerischen Intervention. Möglichst unverändert erhalten, alle Maßnahmen setzen, die ohne Veränderung die Alterung verzögern. ^[1]
Kopie	Ein Gleichstück, das unter Vorlage oder Abformung eines vorhandenen Originals hergestellt wurde. Sie ist nur das Abbild eines Originals und besitzt somit keinen Urkundenwert. ^[1]
Pastellosis	Von Architekturkritikern diagnostisch verwendeter Begriff, um die während der gesellschaftlichen Aufbruchsstimmung der neunziger Jahre in Polen enthusiastisch flächendeckende Neugestaltung von Gebäuden mit Pastellfarben auf zuvor überwiegend graue Fassaden zu beschreiben. ^[2]
Pendentif	Konstruktion in Form eines sphärischen Dreiecks, die den Übergang von einem vieleckigen Grundriss in die Rundung einer Kuppel ermöglicht (auch: Hängezwinkel). ^[3]
Reinheitsgrad SA 2 ½	Entsprechend der ISO-Norm 8501-1 muss beim Reinheitsgrad SA 2 ½ der Bewehrungsstahl an jeder offen liegenden Stelle frei sein von sichtbarem Öl, Fett und Schmutz und soweit frei von Zunder, Rost, Beschichtungen und artfremden Verunreinigungen, dass verbleibende Spuren, höchstens als leichte fleckige oder streifige Schattierungen erkennbar sind.
Reinheitsgrad SA 2	Entsprechend der ISO-Norm 8501-1 muss beim Reinheitsgrad SA 2 die Oberfläche frei sein von sichtbarem Öl, Fett und Schmutz sowie nahezu frei sein von Zunder, Rost, Beschichtungen und artfremden Verunreinigungen; alle verbleibenden Rückstände müssen fest haften.
Renovierung	Erneuern, das den Alterswert ignoriert. In der Baudenkmalpflege muss auch in diesem Falle erhaltbares Historisches erhalten bleiben. Sie ist keine denkmalpflegerische Maßnahme. Überdies sollte Altes nicht wie Neues wirken. ^[1]
Restaurierung	Wiederherstellen der künstlerischen Wirkung, der ästhetischen Einheit, z.B. durch das Schließen von Fehlstellen. Aussage, Erscheinungsform werden durch die Restaurierung verändert. Die Art der zu wählenden Restaurierung wird durch die Wertanalyse bestimmt. Denkmäler mit hohem Urkundenwert der Substanz müssen so restauriert werden, dass jeder Eingriff nachvollziehbar und als solcher erkennbar ist, während bei Dominanz hoher künstlerischer Wirkung des Kunstwertes rekonstruktive Ergänzungen vertretbar sind. ^[1]

[1] {Hueber 2002 #90}

[2] Dominik Filipczak 2015 nach {Kusiak 2014 #95}

[3] {Duden 20.11.2015 #89}

Abbildungsverzeichnis

Abb. I.1.1: Die Jahrhunderthalle in den frühen 1930er-Jahren.....	1
Abb. 1.1: Innenansicht der Festhalle in Frankfurt am Main (1909)	4
Abb. 1.2: Entwurfsvariante der Jahrhunderthalle, Hauptansicht.....	5
Abb. 1.3: Entwurfsvariante der Jahrhunderthalle, Schnitt. (Max Berg).....	5
Abb. 1.4: Entwurfsvariante der Jahrhunderthalle, "2. Lösung c."	5
Abb. 1.5: Entwurfsvariante der Jahrhunderthalle, perspektivische Darstellung.	5
Abb. 1.6: Max Berg	7
Abb. 1.7: Messehalle (1925 errichtet, im Zweiten Weltkrieg zerstört).....	8
Abb. 1.8: Entwurf Hochhaus am Breslauer Lessingplatz; Max Berg und Richard Konwiarz; 1919	9
Abb. 1.9: Hochhausentwurf neben dem Breslauer Rathaus; Max Berg und Ludwig Moshhammer; 1920	9
Abb. 2.1: Ausstellungshalle Breslau; Projekt zur Ausschreibung vom Juli 1911; Max Berg	12
Abb. 2.2: „Hauptansicht.“ Datierung: 6.7.1911; Signaturen: Stadtbaurat Max Berg, Richard Konwiarz	12
Abb. 2.3: Massivkuppelbauten im Vergleich.....	13
Abb. 2.4: Vergleich zwischen Pendentifkuppel und Kuppelform der Jahrhunderthalle.....	13
Abb. 2.5: Perspektivische Darstellung des Versammlungsraums.....	13
Abb. 2.6: Perspektivische Darstellung des Versammlungsraums: Hauptbogen und Apside mit Balkon.....	13
Abb. 2.7: Schnitt in der Hauptachse.....	15
Abb. 3.1: Auflager der Kuppel.....	18
Abb. 3.2: Tragwerk der Rippenkuppel.....	18
Abb. 3.3: Tragwerksystem des Kuppel-Unterbaus	19
Abb. 3.4: Verteilung der Windbelastung auf das die Kuppelbinder.....	21
Abb. 3.5: Momentenverlauf der Kuppelbinder.....	22
Abb. 3.6: Bewehrung von Kuppelrippen und Druckring	23
Abb. 3.7: Bewehrung der Laternenrahmen.....	23
Abb. 3.8: Zugring-Konstruktion der Rippenkuppel.....	24
Abb. 3.9: Verschiebung der Strebebögen als statisch unbestimmte Größe	26
Abb. 3.10: Statische Ermittlungen des Hauptbogens.....	26
Abb. 3.11: Hauptbögen und Windrahmen: Bewehrung und Beton-Mischungsverhältnisse.....	27
Abb. 3.12: Strebebinder I: Konstruktion inkl. Stützlinie	27
Abb. 3.13: Vergleich von Massivkuppeln nach Masse und Lichtweite.....	28
Abb. 3.14: Holzmodell des Vorversuchs für den Kuppel-Unterbau.....	29
Abb. 4.1: Abmessungen der Jahrhunderthalle im Vergleich zur Wiener Rotunde	31
Abb. 4.2: Rohbau der Breslauer Markthalle (1908)	32
Abb. 4.3: Verdichtungswerkzeuge des frühen 20. Jahrhunderts.....	36
Abb. 5.1: Baustelleneinrichtung.....	41
Abb. 5.2: Mobiler Kabelbahn-Turm.....	43
Abb. 5.3: Karussellkabelbahn beim Aufstellen des Lehrgerüsts der Hauptbögen.....	43
Abb. 5.4: Längsschnitt: Bauwerk und Lehrgerüst samt Kabelbahn-Turm	44
Abb. 5.5: Schalung und Bewehrung eines Hauptbogens.....	45
Abb. 5.6: Lagerschalen der Strebebogen-Gelenke.....	45
Abb. 5.7: Ausgeschalter Unterbau.....	45
Abb. 5.8: Ausführung des Unterbaus.....	46
Abb. 5.9: Bauausführung: Rundgang tlw. im Rohbau fertiggestellt	46
Abb. 5.10: Montage des Zugrings.....	47
Abb. 5.11: Bewehrungsarbeiten am Druckring.....	47
Abb. 5.12: Betonierreihenfolge der Rippenkuppel.....	47
Abb. 5.13: Rippenkuppel, bis zum mittleren Aussteifungsring betoniert.....	48
Abb. 5.14: Ausgeschalter Laternen-Rahmen.....	48
Abb. 5.15: Rohbau kurz vor Fertigstellung	49

Abb. 5.16: Ausgerüstete Kuppel vor der Demontage des Kabelbahn-Turmes.....	49
Abb. 5.17: Zentralraum im Rohzustand.....	50
Abb. 5.18: Apsidenraum im Rohzustand.....	50
Abb. 5.19: Baumannschaft vor dem fertigen Tragwerk der Jahrhunderthalle.....	51
Abb. II.5.20: Die Jahrhunderthalle vor ihrer Instandsetzung im Jahr 2009.....	53
Abb. 6.1: Betonoberflächendetail der Westseite der Nordeingangs.....	57
Abb. 6.2: Schematische Darstellung der Kuppelrippen-Bewehrung.....	57
Abb. 6.3: Vordach eines Nebeneingangs zum Rundgang.....	58
Abb. 6.4: Fragment einer Fensterstütze.....	58
Abb. 6.5: Südseite der Haupteingangs-Aufbauten.....	59
Abb. 6.6: Schadensbild Fensterstützen der oberen Fassadenebenen.....	59
Abb. 6.7: Zugring und zugebautes externes Stiegenhaus der 1930er-Jahre.....	59
Abb. 6.8: Riss durch Arbeitsfuge zwischen Bauteilen unterschiedlicher Dicke.....	60
Abb. 6.9: Dilatationsfuge mit Kantenabplatzungen der Betondeckung.....	60
Abb. 6.10: Fertigteil-Fenstersturz mit atypischer Lagerung.....	61
Abb. 6.11: Unterer Auflagerbereich einer Fertigteil-Fensterstütze.....	61
Abb. 6.12: Spannungsrisse im Bereich einer Fensteröffnung an der Nordwestseite.....	62
Abb. 6.13: Spannungsrisse im Bereich einer Fensteröffnung mit Fortleitung ins Gesims.....	62
Abb. 6.14: Riss an Kontaktstelle der Erdgeschosswand mit Säule des Portikus beim Haupteingang.....	62
Abb. 6.15: Riss entlang einer Arbeitsfuge der Kassettendecke des Haupteingangs mit Fortsetzung in die Wand.....	62
Abb. 6.16: Nordwestfassade der Kuppel und West-Apside. Extern angebautes Stiegenhaus der 1930er-Jahre.....	63
Abb. 6.17: Typisches Schadensbild im Bereich des Windrahmens.....	63
Abb. 6.18: Verspachtelte Risse des Zugrings. Betonabplatzungen an Zugring-Unterkante.....	63
Abb. 6.19: Detail der Nordseite der Osteingangs-Aufbauten.....	63
Abb. 6.20: Korrosionswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von Betondeckung, Karbonatisierung und Feuchte.....	65
Abb. 6.21: Chemische Prozesse der Bewehrungskorrosion.....	66
Abb. 6.22: Fassadendetail mit ausgewaschenem Feinkornanteil der Betonoberfläche.....	66
Abb. 6.23: Detail einer Fensterstütze mit Schaden.....	68
Abb. 6.24: Fragment des externen Stiegenhauses.....	68
Abb. 6.25: Südost-Fassadenwand des Rundgangs mit dichtem Efeubewuchs.....	69
Abb. 6.26: Steinlausschaden an der Jahrhunderthalle.....	70
Abb. 6.27: Petrophaga lorioti, mikroskopische Aufnahme.....	70
Abb. 7.1: Bohrkerne ausgewählter Stahlbetonelemente.....	72
Abb. 7.2: Vom Apsidendach aus freigelegte obere Bewehrung des Deckenunterzugs.....	75
Abb. 7.3: Freigelegte untere Bewehrung des Deckenunterzuge.....	75
Abb. 7.4: Freigelegte untere Deckenbewehrung in Feldmitte.....	75
Abb. 8.1: Riegel des Laternenrahmens und Schlussstein.....	80
Abb. 8.2: Deckenkonstruktion der Laterne.....	81
Abb. 8.3: Zweiteiliger Steher der Laternenkonstruktion mit nachträglich eingebauten Verstärkungselementen.....	83
Abb. 8.4: Risse im Einspannbereich der inneren Laternen-Steher.....	83
Abb. 8.5: Holzfaserplatten an Druckring-Innenfläche.....	83
Abb. 8.6: Knotenpunkt von Kuppelrippe und oberstem Aussteifungsring.....	84
Abb. 8.7: Arbeitsfuge einer Kuppelrippe über dem mittleren Aussteifungsring.....	84
Abb. 8.8: Arbeitsfuge einer Kriegsschaden-Reparatur am oberen Aussteifungsring.....	85
Abb. 8.9: Kriegsschaden an Kuppelrippe mit freiliegender Bewehrung.....	85
Abb. 8.10: Detail beschädigter Hauptbewehrung durch Projektilaufprall an einer Kuppelrippe.....	85
Abb. 8.11: Technische Einrichtungen am Zugring und an den Kuppelrippen.....	87
Abb. 8.12: Elektrische Installationen mit Kabeldurchführungen am Zugring.....	87
Abb. 8.13: Zustieg zum Kontrollschacht.....	89
Abb. 8.14: Kontrollschacht und Kuppelaufleger; re. Lüftungskanal.....	89
Abb. 8.15: Typische Schadensbilder in den Haustechnikräumen der Windrahmen.....	90
Abb. 8.16: Biegeriss an Balken unterhalb einer Lüftungsanlage.....	90
Abb. 8.17: Holzfaserplatten an der Decke.....	91
Abb. III.9.1: Die Jahrhunderthalle nach ihrer Instandsetzung (2014).....	97

Abb. 10.1: Gesicherte Efeustümpfe	100
Abb. 10.2: Südwest-Wand des Erdgeschosses von Efeu freigelegt	100
Abb. 10.3: Stemmen von minderfestem Beton mit leichtem Elektrohammer	101
Abb. 10.4: Fragment der Fassadenwand mit abgetragenen geschädigtem Beton	101
Abb. 10.5: Detail des Gesimses, vorbereitet für die Instandsetzung	101
Abb. 10.6: Vergleich: gereinigte und ursprüngliche Betonfläche	101
Abb. 10.7: Reinigung der Fassade mittels Niederdruck-Rotations-Wirbelstrahlverfahren	102
Abb. 10.8: Niederdruck-Rotations-Wirbelstrahlverfahren, schematische Darstellung	102
Abb. 10.9: Rissinjektion mittels Bohrpäckern	103
Abb. 10.10: Rissanierung mittels Klebepäckern	103
Abb. 10.11: Auftrag von Reparaturmörtel am Gesims	104
Abb. 10.12: Reprofilierung der Betonoberfläche des externen Stiegenhauses	104
Abb. 10.13: Erdgeschosswand mit frisch instandgesetztem Beton	105
Abb. 10.14: Reprofilierter Betonfläche im Detail	105
Abb. 10.15: Probeanstriche zur Farbtonbestimmung des Anstrichs	106
Abb. 10.16: Auftrag des Lasuranstrichs	106
Abb. 10.17: Reparatur mittels Holzflicken	109
Abb. 10.18: Instandgesetzter Fenstergriff	109
Abb. 10.19: Neuverglasung mit ockerfarbenem Ornamentglas	109
Abb. 10.20: Abtrag der alten Dachhaut und Isolierung	111
Abb. 10.21: Neue Wärmedämmung und Abdichtungsbahnen	111
Abb. 10.22: Montage der Verblechungen am Gesims der Laterne	111
Abb. 11.1: Zugring-Betonummantelung während der Instandsetzungsarbeiten	115
Abb. 11.2: Freigelegtes Fragment des Zugring-Fachwerks	115
Abb. 11.3: Zugringabsicherung, Ausschnitt der Ausführungspläne	118
Abb. 11.4: Montage der Spannkabel am Zugring	118
Abb. 11.5: Spannvorgang mittels Monolitzenpresse	119
Abb. 11.6: Kopplung und Verankerung der Spannkabelenden	119
Abb. 11.7: Verputzen der Spannkabel-Absicherung	120
Abb. 11.8: Neues Profil des Zugrings	120
Abb. 11.9: Farbliche Anpassung der neuen Zugring-Oberfläche	120
Abb. 12.1: Abriss der alten Stahlbetontribünen	123
Abb. 12.2: Querschnitt: Neues Fundamentplatten-Niveau und Baugrubenabsicherung	123
Abb. 12.3: Pläne der Baugruben-absicherung, Schnitt und Übersicht im Grundriss	124
Abb. 12.4: DSM-Verfahren, schematische Darstellung	124
Abb. 12.5: Duplex-Düsenstrahlverfahren, schematische Darstellung	124
Abb. 12.6: Pfahlwand-Herstellung, Einstellen der IPE-Träger	125
Abb. 12.7: Umriss der fertigen Baugrubenabsicherung	125
Abb. 12.8: Ausführung Fundamentplatte	126
Abb. 12.9: Errichtung der Stahlbetontribüne	127
Abb. 12.10: Montage des erhöhten Fußbodens	127
Abb. 12.11: Aufbringen des Akustikputzes zwischen den Deckenunterzügen	128
Abb. 12.12: Hauptpfeiler mit Akustikpaneelen	128
Abb. 12.13: Plan des Hängegerüsts am Kuppeltragwerk	129
Abb. 12.14: Baugerüst der Kuppel und Hauptpfeiler	130
Abb. 12.15: Ausführungsdetail: Kassettendecke mit Wandanschluss	131
Abb. 12.16: Detail: Freigelegter Originalschriftzug	131
Abb. 12.17: Rundgang während der Sanierung	133
Abb. 13.1: Ensemble Jahrhunderthalle-Kongresszentrum mit Umgebung	135
Abb. 13.2: Versammlungsraum mit aktueller Ausstattung	136
Abb. 13.3: Rundgang der Jahrhunderthalle	138
Abb. 13.4: Kaisersaal über dem Foyer des Haupteingangs	139
Abb. 13.5: Das neue multimediale Besucherzentrum im Polygonsaal des Rundgangs	140
Abb. 13.6: Zentralraum der Jahrhunderthalle während der Videomapping-Vorführung <i>O (Omicron)</i>	141

Abb. 13.7: Kuppeldecke mit neuer Rauchabzugsanlage und Akustikbeschichtung 142

Quellennachweis

Schematische Darstellungen	siehe entsprechende Literaturverweise
Historische Entwürfe der Jahrhunderthalle	(Ilkosz 2006) Nachlass Max Berg http://www.digipeer.de
Bau der Jahrhunderthalle	(Trauer, Gehler 1914) (Ilkosz 2006) entsprechende Literaturverweise
Historische Aufnahmen	(Ilkosz 2006) Deutsche Fotothek Jahrhunderthalle http://www.deutschefotothek.de Digitale Bibliothek der Universität Wrocław Hala Stulecia http://www.bibliotekacyfrowa.pl Hala Stulecia http://fotopolska.eu/ Hala Stulecia http://dolny-slask.org.pl u. a.
Bauzustandsdokumentation 2007-2008	(Persona 2007) (Persona 2008) (Persona, Bartosik, Papinska 2009)
Instandsetzungsdokumentation 2009-20010	Grażyna Dyc Maciej Mikołajonek Renato Dżugaj Ryszard Łubowicz Patryk Filipczak u. a.
Instandsetzungsdokumentation 2011	siehe entsprechende Literaturverweise
sonstige	Stanisław Klimek u. a.

Literaturverzeichnis

- BERG Max, TRAUER Günter: *Zweckmäßigkeit der Verwendung von Eisenbeton oder Eisen für monumentale Hochbau-Konstruktionen*, in: Deutsche Bauzeitung, Bd. 10, Heft 19/1913, S. 163-164
- BERG MAX: DIE JAHRHUNDERTHALLE UND DAS NEUE AUSSTELLUNGSGELÄNDE DER STADT Breslau, in: DEUTSCHE BAUZEITUNG, 47, 25.06.1913, S. 462-466
- CZARNIECKI MACIEJ, CZEREK DANIEL: REMONT HALI STULECIA, in: INŻYNIER BUDOWNICTWA, HEFT 2/2013, S. 84-90
- DAVID OTTO: DER GRÖßTE BRAND SEIT DER RINGTHEATERKATASTROPHE, in: DAS KLEINE BLATT, 11, 18.10.1937
- DOOSE M.: DENK-MAL AN BETON!: MATERIAL, TECHNOLOGIE, DENKMALPFLEGE, RESTAURIERUNG, BERICHTE ZU FORSCHUNG UND PRAXIS DER DENKMALPFLEGE IN DEUTSCHLAND: IMHOF 2008
- ESSELBORN KARL (HRSG): LEHRBUCH DES HOCHBAUES. GRUNDBAU, STEINKONSTRUKTIONEN, HOLZKONSTRUKTIONEN, EISENKONSTRUKTIONEN, EISENBETONKONSTRUKTIONEN, BAND 1, LEIPZIG: W. ENGELMANN 1908
- FIEBIG WIESŁAW: CELULOZOWE TYNKI DŹWIĘKOCHŁONNE. POPRAWA AKUSTYKI POMIESZCZEŃ, in: TYNKI, HEFT 05/2012, S. 16-17
- FINGERLOOS FRANK, SCHNELL JÜRGEN: TRAGWERKSPLANUNG IM BESTAND, in: BETON-KALENDER 2009: ERNST & SOHN VERLAG FÜR ARCHITEKTUR UND TECHNISCHE WISSENSCHAFTEN GMBH & Co. KG 2009, S. 1-51
- GOŁĘBIEWSKA-SZUCHTA MARTA: HALA STULECIA MA NA DACHU NOWĄ WENTYLACJĘ. KONIEC Z DUCHOTĄ, 22.07.2014,
[HTTP://WROCLAW.GAZETA.PL/WROCLAW/1,35771,16358862,HALA_STULECIA_MA_NA_DACHU_NOWA_WENTYLACJ
E_KONIEC.HTML](http://wroclaw.gazeta.pl/wroclaw/1,35771,16358862,HALA_STULECIA_MA_NA_DACHU_NOWA_WENTYLACJE_KONIEC.HTML) (LETZTER ZUGRIFF: 03.03.2015)
- GRYCNER PIOTR: HALA STULECIA WE WROCŁAWIU. NAGŁOŚNIENIE I DSO, in: LIVE SOUND & INSTALLATION, HEFT 04/2012, S. 58-60
- HERSEL OTMAR: DIE JAHRHUNDERTHALLE ZU Breslau. ZUM 75JÄHRIGEN JUBILÄUM DER HALLE, EINEM MONUMENT DES STAHLBETONBAUS, in: BETON- UND STAHLBETONBAU, Bd. 82, HEFT 12/1987, S. 313-317
- HUBER HANNES S, MIKOŁAJONEK MACIEJ, FILIPCZAK PATRYK: DIE JAHRHUNDERTHALLE IN Breslau (WROCŁAW, PL), in: BETON- UND STAHLBETONBAU, Bd. 105, HEFT 11/2010, S. 729-736
- HUEBER FERDINAND: DENKMALPFLEGERISCHE BEWERTUNG HISTORISCHER BAUTEN, in: 10. WIENER SANIERUNGSTAGE, OFI, 2002
- ILKOSZ JERZY: DIE JAHRHUNDERTHALLE UND DAS AUSSTELLUNGSGELÄNDE IN Breslau - DAS WERK MAX BERGS. [BEGLEITBAND ZUR GLEICHNAMIGEN AUSSTELLUNG, DIE VOM 17. JUNI BIS 27. NOVEMBER 2005 IM BresLAUER ARCHITEKTURMUSEUM GEZEIGT WURDE], MÜNCHEN: OLDENBOURG 2006
- ILKOSZ JERZY: KULTURPORTAL WEST OST | BERG, MAX, [HTTP://KULTURPORTAL-WEST-OST.EU/BIOGRAPHIEN/BERG-MAX-2](http://kulturportal-west-ost.eu/biographien/berg-max-2) (LETZTER ZUGRIFF: 25.11.2015)
- KONARZEWSKI LESZEK, KONARZEWSKI MAREK, PAWŁOWSKA MAJA, PERSONA MARIAN: PROJEKT REMONTU ELEWACJI, STOLARKI OKIENNEJ I POKRYCIA DACHÓW BUDYNKU HALI STULECIA WE WROCŁAWIU, AUSFÜHRUNGSPLAN
- KONARZEWSKI LESZEK, KONARZEWSKI MAREK, PAWŁOWSKA MAJA, PERSONA MARIAN: PROJEKT REMONTU ELEWACJI, STOLARKI OKIENNEJ I POKRYCIA DACHÓW BUDYNKU HALI STULECIA WE WROCŁAWIU - CZĘŚĆ IV: REMONT DACHU, AUSFÜHRUNGSPLAN
- KONARZEWSKI LESZEK, KONARZEWSKI MAREK, PAWŁOWSKA MAJA: PROJEKT REMONTU ELEWACJI, STOLARKI OKIENNEJ I POKRYCIA DACHÓW BUDYNKU HALI STULECIA WE WROCŁAWIU - CZĘŚĆ V: STOLARKA OKIENNA, AUSFÜHRUNGSPLAN

- KONARZEWSKI LESZEK, PERSONA MARIAN, PERLIŃSKI STEFAN: PROJEKT REMONTU ELEWACJI, STOLARKI OKIENNEJ I POKRYCIA DACHÓW BUDYNKU HALI STULECIA WE WROCŁAWIU, PLAN: BAUDOKUMENTATION
- KONARZEWSKI LESZEK, PRABUCKI PRZEMYSŁAW: PROJEKT REMONTU ELEWACJI, STOLARKI OKIENNEJ I POKRYCIA DACHÓW BUDYNKU HALI STULECIA WE WROCŁAWIU - CZĘŚĆ: PROJEKT BUDOWLANY-ZAMIENNY W ZAKRESIE ZMIANY SPOSOBU WZMOCNIENIA GŁÓWNEGO PIERŚCIEŃIA ROZCIĄGAJĄCEGO KOPUŁY ŻEBROWEJ HALI, ALTERNATIVER BAUPALN
- KONARZEWSKI LESZEK: PROJEKT REMONTU ELEWACJI, STOLARKI OKIENNEJ I POKRYCIA DACHÓW BUDYNKU HALI STULECIA WE WROCŁAWIU - CZĘŚĆ: PROJEKT WYKONAWCZY W ZAKRESIE ZMIANY SPOSOBU WZMOCNIENIA GŁÓWNEGO PIERŚCIEŃIA ROZCIĄGANEGO KOPUŁY ŻEBROWEJ HALI, AUSFÜHRUNGSPLAN
- KONARZEWSKI LESZEK: RENOWACJA ELEWACJI HALI STULECIA WE WROCŁAWIU – PROJEKT A REALIZACJA, IN: WIADOMOSCI KONSERWATORSKIE = CONSERVATION NEWS, HEFT 26/2009A, S. 369-380
- KOWALSKI DARIUSZ: HALA STULECIA WE WROCŁAWIU – CENTRUM INNOWACYJNOŚCI W ARCHITEKTURZE I BUDOWNICTWIE - PRZEBUDOWA; ETAP: PROJEKT WYKONAWCZA; BRANŻA: KONSTRUKCJA, AUSFÜHRUNGSPLAN
- KREMNIETZ PETER, ROBBACHER GÜNTER: INSTANDSETZUNG HISTORISCH WERTVOLLER BETONBAUTEN, IN: BETON- UND STAHLBETONBAU, Bd. 101, HEFT 12/2006, S. 1029-1030
- KUSIAK JOHANNA: "SICH SELBST BAUEN" IN VERÄNDERTEN LANDSCHAFTEN - HÄUSER UND TRÄUME IN POLEN NACH 1989, IN: BAUWELT, Bd. 105, HEFT 3/2014
- LASKA WOJCIECH: BETON - SUROWOŚĆ, SZCZEROŚĆ, PIĘKNO. RENOWACJA POWIERZCHNI BETONOWYCH ELEWACJI I WNĘTRZ HALI STULECIA WE WROCŁAWIU, IN: ŚWIATA ARCHITEKTURY, HEFT 10/2011A, S. 90-93
- LASKA WOJCIECH: FASSADENSANIERUNG DER JAHRHUNDERTHALLE IN Breslau. FARBLICHE VEREINHEITLICHUNG VON BETONFLÄCHEN, IN: COVISS, HEFT 2/2011B
- LASKA WOJCIECH: MONUMENTALNE IDEE MAXA BERGA. HALA STULECIA WE WROCŁAWIU, IN: ŚWIATA ARCHITEKTURY, HEFT 10/2011C, S. 80-88
- LEWANDOWSKI ROBERT: AUSFÜHRUNGSDOKUMENTATION DER FENSTERINSTANDSETZUNG, AUSFÜHRUNGSDOKUMENTATION
- MACIEJEWSKA BEATA: GELB 21, CZYLI TAJEMNICA OKIEN HALI STULECIA, 27.08.2009, [HTTP://WROCLAW.GAZETA.PL/WROCLAW/1,49744,6968868,%20%20GELB_21__CZYLI_TAJEMNICA_OKIEN_HALI_STULECIA.HTML](http://wroclaw.gazeta.pl/wroclaw/1,49744,6968868,%20%20GELB_21__CZYLI_TAJEMNICA_OKIEN_HALI_STULECIA.HTML) (LETZTER ZUGRIFF: 25.02.2015)
- MATEJUK TOMASZ: SZYKUJĄ DRUGI ETAP REMONTU HALI STULECIA. ZREWITALIZUJĄ TEŻ TERENY WOKÓŁ OBIEKTU, 29.07.2015, [HTTP://WWW.TUWROCLAW.COM/WIADOMOSCI,SZYKUJA-DRUGI-ETAP-REMONTU-HALI-STULECIA-ZREWITALIZUJA-TEZ-TERENY-WOKOL-OBIEKTU,WIA5-3266-21107.HTML](http://www.tuwroclaw.com/wiadomosci,szykuja-drugi-etap-remontu-hali-stulecia-zrewitalizuja-tez-tereny-wokol-obiektu,wia5-3266-21107.html) (LETZTER ZUGRIFF: 03.03.2015)
- MATEJUK TOMAZ: WYREMONTOWANA HALA STULECIA CZEKA NA EKK, 07.10.2011, [HTTP://WWW.TUWROCLAW.COM/WIADOMOSCI,WYREMONTOWANA-HALA-STULECIA-CZEKA-NA-EKK,WIA5-3266-8507.HTML](http://www.tuwroclaw.com/wiadomosci,wyremontowana-hala-stulecia-czeka-na-ekk,wia5-3266-8507.html) (LETZTER ZUGRIFF: 03.03.2015)
- MÖRSCH EMIL: DER EISENBETONBAU. SEINE THEORIE UND ANWENDUNG, 3. AUFLAGE, STUTTGART: K. WITTWER 1908
- MÜLLER H. S, GÜNTER M, HILSDORF H. K.: INSTANDSETZUNG HISTORISCH BEDEUTENDER BETON- UND STAHLBETONBAUWERKE, IN: BETON- UND STAHLBETONBAU, Bd. 95, HEFT 3/2000, S. 143-157
- O. V.: ANTIVJ - O (OMICRON), 07.12.2013, [HTTP://ANTIVJ.COM/O/](http://antivj.com/O/) (LETZTER ZUGRIFF: 04.03.2015)
- O. V.: BAUINSTALLATIONEN FÜR DIE JAHRHUNDERTHALLE IN Breslau, IN: SCHWEIZERISCHE BAUZEITUNG, 63/64, HEFT 8/1914
- O. V.: DER EISENBETONBAU DER GROßEN FESTHALLE ZU Breslau, IN: BETON U. EISEN, Bd. 12, HEFT 3/1913A, S. 60-61
- O. V.: DIE FORTSCHRITTE DES MASSIVBAUES IN SPANNWEITE, IN: BETON U. EISEN, Bd. 12, HEFT 3/1913B, S. 269
- O. V.: DUDEN, 20.11.2015, [HTTP://WWW.DUDEN.DE/](http://www.duden.de/) (LETZTER ZUGRIFF: 20.11.2015)

- O. V.: HALA STULECIA - KIEDYŚ GIGANT, DZIŚ MIKRUS. JAK DO TEGO DOSZŁO, 29.08.2014, [:/WROCLAW.GAZETA.PL/WROCLAW/56,35751,11158263,HALA_STULECIA__KIEDYS_GIGANT__DZIS_MIKRUS__JAK_DO.HTML](http://wroclaw.gazeta.pl/wroclaw/56,35751,11158263,HALA_STULECIA__KIEDYS_GIGANT__DZIS_MIKRUS__JAK_DO.HTML) (LETZTER ZUGRIFF: 03.03.2015)
- O. V.: HALA STULECIA | OBIEKT ŚWIATOWEGO DZIEDZICTWA UNESCO - OFFIZIELLER WEBAUFTRIIT DER BRESLAUER JAHRHUNDERTHALLE, [HTTP://HALASTULECIA.PL/](http://halastulecia.pl/) (LETZTER ZUGRIFF: 04.03.2015)
- O. V.: I MIEJSCE ULMA W KONKURSIE "RUSZTOWANIE ROKU", IN: INŻYNIER BUDOWNICTWA, HEFT 10/2011, S. 90
- O. V.: ICRI.ORG, [HTTP://WWW.ICRI.ORG/AWARDS/2002/UNIVERSITYHALL.ASP](http://www.icri.org/awards/2002/universityhall.asp) (LETZTER ZUGRIFF: 25.11.2015)
- O. V.: INTERACTIVE STORYTELLING - HALA STULECIA WE WROCŁAWIU, [HTTP://NEWAMSTERDAM.PL/#/HALA-STULECIA/](http://newamsterdam.pl/#/HALA-STULECIA/) (LETZTER ZUGRIFF: 04.03.2015)
- O. V.: JOS-VERFAHREN, [HTTP://WWW.JOS-REINIGUNG-NORD.DE/PAGES/JOS-VERFAHREN.PHP](http://www.jos-reinigung-nord.de/pages/jos-verfahren.php) (LETZTER ZUGRIFF: 25.02.2015)
- O. V.: KELLER POLSKA SP. Z O.O.: ZABEZPIECZENIE WYKOPU ZA POMOCĄ PALISADY Z KOLUMN DSM I SOILCRETE WYKONANEJ WEWNĄTRZ HALI STULECIA WE WROCŁAWIU, [HTTP://WWW.KELLER.COM.PL/79-NASZE-ROZWIAZANIA/130-HALA-STULECIA](http://www.keller.com.pl/79-NASZE-ROZWIAZANIA/130-HALA-STULECIA) (LETZTER ZUGRIFF: 03.03.2015)
- O. V.: MAUERFALL VERBREITETE STEINLAUS, [HTTP://DIESTEINLAUS.WORDPRESS.COM/2008/11/09/MAUERFALL-VERBREITETE-STEINLAUS/](http://diesteinlaus.wordpress.com/2008/11/09/mauerfall-verbreitete-steinlaus/) (LETZTER ZUGRIFF: 27.03.2014)
- O. V.: NAJWIĘKSZE INWESTYCJE 2015 ROKU NA ŚLĄSKU, 05.01.2015, [HTTP://WWW.PROPERTYNEWS.PL/HOTELE/NAJWIEKSZE-INWESTYCJE-2015-ROKU-NA-SLASKU,32210.HTML](http://www.propertynews.pl/hotele/najwieksze-inwestycje-2015-roku-na-slasku,32210.html) (LETZTER ZUGRIFF: 03.03.2015)
- O. V.: PSCHYREMBEL KLINISCHES WÖRTERBUCH, 263. AUFLAGE, BERLIN: BOSTON; DE GRUYTER 2011
- ONYSYK JERZY, BILISZCZUK JAN, PRABUCKI PRZEMYSŁAW, ET AL.: STRENGTHENING THE 100-YEAR-OLD REINFORCED CONCRETE DOME OF THE CENTENNIAL HALL IN WROCŁAW, IN: STRUCTURAL CONCRETE, BD. 15, HEFT 1/2014, S. 30-37
- PERSONA MARIAN, BARTOSIK TOMASZ, PAPINSKA PATRYCJA: PROJEKT REMONTU ELEWACJI, STOLARKI OKIENNEJ I POKRYCIA DACHÓW BUDYNKU HALI STULECIA WE WROCŁAWIU - CZĘŚĆ I: KONSRTUKCJE, AUSFÜHRUNGSPLAN
- PERSONA MARIAN, PODOLSKI BOGDAN: GUTACHTEN (PERSONA, M) TEIL 1 - ANHANG 1-2. TRAGSICHERHEITSUNTERSUCHUNGEN AUSGEWÄHLTER KONSTRUKTIONSELEMENTE 2008
- PERSONA MARIAN: EKSPERTYZA STANU TECHNICZNEGO KONSTRUKCJI BUDYNKU HALI LUDOWEJ WE WROCŁAWIU. CZĘŚĆ II – ŚCIANY ELEWACYJNE I STROPODACHY TARASÓW OD +/-0,00 DO +40,0 M, GUTACHTEN ÜBER DEN TECHNISCHEN ZUSTAND DER JAHRHUNDERTHALLE IN BRESLAU: TEIL II - FASSADENWÄNDE UND FLACHDÄCHER, WROCŁAW 2007
- PERSONA MARIAN: EKSPERTYZA STANU TECHNICZNEGO KONSTRUKCJI BUDYNKU HALI LUDOWEJ WE WROCŁAWIU. CZĘŚĆ I - INFORMACJE OGÓLNE ORAZ GŁÓWNE ELEMENTY KONSTRUKCYJNE KOPUŁY, POBUDOWY I KULUARÓW, GUTACHTEN ÜBER DEN TECHNISCHEN ZUSTAND DER JAHRHUNDERTHALLE IN BRESLAU: TEIL I - ALLGEMEINE INFORMATIONEN SOWIE DIE PRIMÄREN TRAGWRKSELEMENTE DER KUPPEL, DES UNTERBAUS UND DES RUNDGANGS, WROCŁAW 2008
- REINBOTH LUTZ: LUTZ REINBOTH - GESCHICHTE DES STAHLBETONS BIS 1925, 16.11.2013, [HTTP://WWW.LUTZ-REINBOTH.DE/STAHLBETON.HTML](http://www.lutz-reinboth.de/stahlbeton.html) (LETZTER ZUGRIFF: 30.01.2014)
- SARACZYŃSKA AGATA: NOWA ZŁOTA SZATA WROCŁAWSKIEJ HALI STULECIA, 26.07.2009, [HTTP://WROCLAW.GAZETA.PL/WROCLAW/1,35771,6860906,NOWA_ZLOTA_SZATA_WROCLAWSKIEJ_HALI_STULECIA.HTML](http://wroclaw.gazeta.pl/wroclaw/1,35771,6860906,NOWA_ZLOTA_SZATA_WROCLAWSKIEJ_HALI_STULECIA.HTML) (LETZTER ZUGRIFF: 25.02.2015)
- TOMASZEWSKI LESZEK: HALA STULECIA WE WROCŁAWIU – CENTRUM INNOWACYJNOŚCI W ARCHITEKTURZE I BUDOWNICTWIE - PRZEBUDOWA; ETAP: PROJEKT BUDOWLANY; BRANŻA: ARCHITEKTURA, BAUPLAN

TOMASZEWSKI LESZEK: HALA STULECIA WE WROCŁAWIU – CENTRUM INNOWACYJNOŚCI W ARCHITEKTURZE I BUDOWNICTWIE - PRZEBUDOWA; SCENARIUSZ ROZWOJU ZDARZEŃ W REMONTOWANYM OBIEKCIE W PRZYPADKU ZAISTNIENIA POŻARU, BAUPLAN

TRAUER GÜNTER, GEHLER WILLY (HRSG): DIE JAHRHUNDERTHALLE IN BRESLAU, BERLIN: SPRINGER 1914

TRAUER GÜNTER: DIE JAHRHUNDERTHALLE IN BRESLAU, VORTRAG VON STADTBAUINSPEKTOR TRAUER BEI DER HAUPTVERSAMMLUNG DES "DEUTSCHEN BETONVEREINS" IN BERLIN 1913, IN: DEUTSCHE BAUZEITUNG, Bd. 10, 14; 15/1913, S. 105-109; 115-121

ULLRICH BERND: TUD - ANGEWANDTE GEOLOGIE - SENSATIONELLE ENTDECKUNG - STEINLAUS ENDLICH GEFUNDEN, 18.06.2012, [HTTP://TU-DRESDEN.DE/DIE_TU_DRESDEN/FAKULTAETEN/FAKULTAET_BAUINGENIEURWESEN/GEOTECHNIK/GEOLOGIE/ANGEWANDTE_GEOLOGIE/LACHEN_WEINEN/STEINLAUS](http://TU-DRESDEN.DE/DIE_TU_DRESDEN/FAKULTAETEN/FAKULTAET_BAUINGENIEURWESEN/GEOTECHNIK/GEOLOGIE/ANGEWANDTE_GEOLOGIE/LACHEN_WEINEN/STEINLAUS) (LETZTER ZUGRIFF: 27.03.2014)

WEBER SILVIA: BETONINSTANDSETZUNG. BAUSTOFF - SCHADENSFESTSTELLUNG - INSTANDSETZUNG, IN: BETONINSTANDSETZUNG, 2013

WIKIPEDIA: LISTA HAL SPORTOWYCH I WIDOWISKOWYCH W POLSCE, 28.02.2015, [HTTP://PL.WIKIPEDIA.ORG/W/INDEX.PHP?OLDID=41690950](http://pl.wikipedia.org/w/index.php?oldid=41690950) (LETZTER ZUGRIFF: 03.03.2015)

WOJCIECH SZYMAŃSKI: REMONT WROCŁAWSKIEJ HALI STULECIA PRAWIE NA PÓŁMETKU, 05.05.2011, [HTTP://WROCLAW.GAZETA.PL/WROCLAW/1,95327,9534540,REMONT_WROCLAWSKIEJ_HALI_STULECIA_PRAWIE_NA_POLMETKU.HTML](http://wroclaw.gazeta.pl/wroclaw/1,95327,9534540,REMONT_WROCLAWSKIEJ_HALI_STULECIA_PRAWIE_NA_POLMETKU.HTML)

ZAJĄC TOMASZ, PERSONA MARIAN, PODOLSKI BOGDAN: GUTACHTEN (PERSONA, M) TEIL 1 - ANHANG 1-1. STATISCHE BERECHNUNGEN ZUM TRAGWERK DER JAHRHUNDERTHALLE 2008

Ernest Hemingway

*It is good to have an end to journey toward;
but it is the journey that matters, in the end.*

