

DIE EISENKONSTRUKTIONEN DER GROSSEN UND KLEINEN MICHAELERKUPPEL IN DER WIENER HOFBURG

Zusammenfassung

Die eisernen Kuppeltragwerke über dem Michaelertrakt der Wiener Hofburg präsentierte zum Zeitpunkt ihrer Planung und Errichtung zwischen 1889–1893 bau- und ingenieurtechnisches Wissen auf höchstem Niveau. Als beispielhafte moderne Konstruktionen wurden sie auch in der zeitgenössischen Lehre an der damaligen Technischen Hochschule Wien besprochen. Ausgeführt wurden die Konstruktionen von der Wiener Firma Ig. Gridl, die als ein Pionier auf dem Gebiet der spezialisierten Planung und Ausführung großer Eisentragwerke in der österreichisch-ungarischen Monarchie bekannt wurde. Aktuelle bauhistorische und baustatische Analysen an den sehr gut erhaltenen Konstruktionen erlauben nun eine erweiterte Einschätzung und Würdigung dieser Kuppeltragwerke im Kontext des Baugeschehens am Ende des 19. Jahrhunderts.

Abstract

At the time of their planning and construction from 1889–1893, the iron dome structures of the Michaelertrakt of the Vienna Imperial Palace (Wiener Hofburg) presented construction and engineering knowledge at the highest level. As exemplary modern structures, they were also discussed in contemporary teaching at the former Technische Hochschule Wien. The dome structures were produced by the Viennese company Ig. Gridl, which became a pioneer in the field of specialized planning and realization of large iron structures in the Austro-Hungarian monarchy. Recent architectural and structural analyzes on these very well-preserved constructions now allow an extended assessment and evaluation of the dome structures in the context of building activity at the end of the 19th century.

Einleitung

Die Etablierung von Eisen als anerkannter Baustoff im Hochbau erfolgte in Österreich in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts. Bei den die Stadt Wien in dieser Zeit besonders prägenden Großprojekten wie dem Bau der Wiener Ringstraße und ihrer Bauwerke sowie der Erweiterung der Hofburg wurden ab den 1870er-Jahren eine große Anzahl weitspannender Kuppel-, Dach- und Deckentragwerke aus Eisen errichtet, die bis heute anschaulich den enormen technologischen Fortschritt auf dem Gebiet der Eisenkonstruktionen vor Augen führen.¹ Mit der bauhistorischen Untersuchung der zwischen 1891 und 1893 errichteten Eisentragwerke der großen Mittelkuppel und der kleineren nordwestlichen Seitenkuppel über dem Michaelertrakt der Wiener Hofburg liegen nun Erkenntnisse zu Einzelbauwerken vor, die ein weiteres Licht auf diese zukunftsweisende Epoche im österreichischen Baugeschehen des 19. Jahrhunderts werfen. Die detaillierte messtechnische Erfassung und Baudokumentation der gut erhaltenen Kuppeltragwerke gibt in Kombination mit den recherchierten zugehörigen historischen Planunterlagen und statischen Berechnungen einen Einblick in die Praxis des Entwurfs und der Herstellung von großen Eisenkonstruktionen der Zeit sowohl aus architekturhistorischer als auch aus baustatischer Sicht.²

Städtebaulicher Kontext und Entwicklung des Projektes

Im Rahmen der Planungen Kaiser Karls VI. zur Erweiterung der Hofburg entstanden unter anderem zwischen 1723 und 1730 im Norden und Osten der Burg anstelle älterer Bürgerhäuser der Reichskanzleitrakt nach Plänen von Johann Lucas von Hildebrandt (Trakt an der Schauflergasse) und Joseph Emanuel Fischer von Erlach (Trakt zum Burghof)³ sowie ab 1729 der sogenannte Michaelertrakt als rückwärtige Fassade der kaiserlichen Residenz. Die

¹ Vgl. Wehdorn, Manfred: *Eisen als Konstruktionsbaustoff im Hochbau in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts in Österreich*. In: ICOMOS, Deutsches Nationalkomitee: Eisen Architektur: Die Rolle des Eisens in der historischen Architektur der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts/The Role of Iron in the Historic Architecture in the Second Half of the 19th Century. Bad Ems 1981, S. 89–95; ders.: *Die Bautechnik der Wiener Ringstraße: mit einem Katalog technischer Bauten und Anlagen in der Ringstraßenzone*. In: Wagner-Rieger, Renate (Hg.): Die Wiener Ringstraße – Bild einer Epoche, Bd. II. Wiesbaden 1978, Taf. 106–109; Georgeacopol, Ute: *Die Wiener Ringstraße – eine epochale technische Meisterleistung*. In: Denkma[i]l. Nachrichten der Initiative Denkmalschutz, Nr. 20 (2015), H. Mai-August, S. 10–11.

² Die noch andauernden Untersuchungen begannen 2015/2016 im Rahmen des laufenden Gesamtprojekts zu den historischen Dachwerken der Wiener Hofburg, das seit 2011 im Rahmen forschungsgeleiteter Lehre am Fachgebiet Baugeschichte & Bauforschung in Kooperation mit dem Institut für Mechanik der Werkstoffe und Strukturen an der TU Wien durchgeführt wird.

³ Lorenz, Hellmut: *Johann Lucas von Hildebrandt: Die Reichskanzlei und der „General-Plan“ zur Erweiterung der Wiener Hofburg*. In: Lorenz, Hellmut; Mader-Kratky, Anna (Hg.): Die Wiener Hofburg 1705–1835. Die kaiserliche Residenz vom Barock bis zum Klassizismus. Wien 2016, S. 77–81.



Abb. 1 Wien, Hofburg, Michaelertrakt mit älterer Seitenkuppel über der Winterreitschule (links), großer Mittelkuppel und nordwestlicher Seitenkuppel (rechts)

Bauarbeiten am Michaelertrakt durch Joseph Emanuel Fischer von Erlach wurden spätestens 1740 eingestellt.⁴ Seitdem bestimmte für mehr als 150 Jahre der Turm einer Rotunde das Stadtbild am Michaelerplatz, was auf historischen Darstellungen sowie Archivaufnahmen nachvollzogen werden kann (Abb. 2).⁵ Hinderlich für die Vollendung des neuen Hofburgtraktes war neben Bürgerhäusern am Michaelerplatz, die erst aufgekauft werden mussten, ein älteres Ballhaus. Nach seinem Umbau eröffnete hier ab 1748 das Theater nächst der Burg. 1888 fand die letzte Vorstellung statt. Fortan war das Burgtheater am Ring die neue Spielstätte und das alte Burgtheater konnte für den Bau des Michaelertraktes, der 1889 von Kaiser Franz Joseph genehmigt wurde, abgerissen werden.

Auch in der Gesamtplanung zur Gestaltung des Kaiserforums von Gottfried Semper und Carl Hasenauer wurde der Abschluss der Hofburg zum Michaelerplatz seit Ende 1869 thematisiert. Ausgangspunkt für die Planungen 1888 sollte das ursprüngliche Projekt von Joseph Emanuel

⁴ Weinberger, Manuel: *Die Michaelerfassade*. In: Lorenz/Mader-Kratky 2016 (Anm. 3), S. 104–111.

⁵ Vgl. zum Beispiel Dreger, Moriz: *Baugeschichte der k. k. Hofburg in Wien bis zum XIX. Jahrhunderte*. In: Österreichische Kunstopographie 14 (1914), Abb. 244 (Federzeichnung: »Rückfahrt von dem Feste in der Reitschule am 2. Jänner 1743 ...«); Abb. 245 (»Blick vom Michaelerplatz auf die Hofburg, nach einer Lithographie von X. Sandmann nach Rud. Alt«); Abb. 259 (»Ausschnitt aus dem Vogelperspektiv-Plan Wiens von Josef Daniel von Huber 1769–1774«); Abb. 313 (»Grundriss des obersten Geschosses der k. k. Hofburg, gezeichnet von Louis de Traux, ...«).

Fischer von Erlach sein. Hasenauer reichte einen Entwurf mit großer Mittelkuppel ein. Ein weiteres Projekt, das gegenüber dem von Hasenauer erstellten Vorschlag raumökonomische Vorteile bot, wurde von Ferdinand Kirschner vorgestellt. Das ursprüngliche Projekt Fischer von Erlachs für den Michaelertrakt und die angrenzende Winterreitschule sah einer überlieferten Ansicht zufolge keine Kuppeln vor. Andererseits existierte die kleinere Kuppel über der Winterreitschule, auch wenn sich nicht nachweisen ließ, dass sie noch vom Architekten selbst geplant war. Es entwickelte sich eine längere Diskussion darüber, den Entwurf mit großer Mittelkuppel und kleinerer Seitenkuppel als Pendant zur bestehenden Kuppel über der Winterreitschule zu realisieren oder diese rückzubauen und auf Kuppeln zu verzichten, wie in der überlieferten Ansicht dargestellt. Im Frühjahr 1889 wurde schließlich Kirschner beauftragt. Unter der Auflage, das eigene Raumkonzept mit dem Fassadenentwurf Hasenauers in Übereinstimmung zu bringen, sollte der Michaelertrakt mit großer Mittelkuppel und Seitenkuppel vollendet werden.⁶

Entwurf, Werkplanung und Ausführung der Kuppeln

Die Vorbereitung und Durchführung der Bauarbeiten zur Vollendung des Michaelertraktes begannen 1889 und dauerten bis 1895 an.⁷ Archivunterlagen zeigen verschiedene Studien Kirschners zur Ausgestaltung und städtebaulichen Wirkung der beiden Kuppeln.⁸

Mit der Ausführung der Kuppeltragwerke wurde die Wiener Firma *Ig. Gridl k. k. Hof-Eisen-Constructions-Werkstätte, Schlosserei und Brückenbau-Anstalt* betraut.⁹ Aus der Schlosserei und Kleineisenfabrik seines Vaters entwickelte Ignaz Gridl eine der wichtigsten Eisenkonstruktionswerkstätten und Brückenbauanstalten der österreichisch-ungarischen Monarchie. Ab den 1870er-Jahren machte sich das Unternehmen mit der Spezialisierung auf konstruktiven Hoch- und Brückenbau aus Eisen weithin einen Namen. In Wien wurden unter anderem spektakuläre Dach- und Kuppelkonstruktionen der Bauten an der Wiener Ringstraße (Dachstühle des Wiener Rathauses, Kuppeldachwerke über dem Lese- und Festsaal der Universität Wien,

⁶ Vgl. Kurdiovsky, Richard: *Die ersten Projekte von Carl Hasenauer und Ferdinand Kirschner (1888/1889)*. In: Telesko, Werner (Hg.): Die Wiener Hofburg 1835–1918: der Ausbau der Residenz vom Vormärz bis zum Ende des »Kaiserforums«. Wien 2012, S. 242–246; Kurdiovsky, Richard: *Kirschners umgearbeitetes Projekt (November 1889)*. In: ebd., S. 246–249.

⁷ Kurdiovsky 2012 (Anm. 6), S. 246–249.

⁸ Vgl. 1. Sichtlinienplan der Hauptkuppel, datiert 1890, signiert Ferdinand Kirschner (ABH-HHSTA, Inv. o-00442, Ausschnitt); 2. Grundriss, Ansicht und lineare Konstruktion für die Hauptkuppel, datiert 25. 04. 1891, signiert Ferdinand Kirschner und andere (ABH-HHSTA, Inv. o-00443); 3. Dach- und Deckenkonstruktion der Hauptkuppel, datiert 1890, signiert Ferdinand Kirschner (ABH-HHSTA, Inv. o-00439); 4. Eisenkonstruktion für die nordwestliche Seitenkuppel, datiert 1889, signiert Ferdinand Kirschner und Siegmund Wagner (ABH-HHSTA, Inv. K-00044); 1.–3. auch in: Wehdorn 1978 (Anm. 1), Taf. 106–109.

⁹ Ein Zeitungsbericht vom März 1888 belegt, dass Ignaz Gridl als »Eisenconstructeur« neben Vertretern anderer Gewerke bereits zur Begutachtung des Torsos der Rotunde in Hinblick auf den Bauzustand zu Rate gezogen wurde. Vgl. *Bauzustand der Rotunde*. In: Der Bautechniker, VIII. Jahrgang (1888), Ausgabe 30.03.1888, Nr. 13, S. 169.



Abb. 2 Wien, Hofburg, Torso der Rotunde des Michaelertraktes vor der Vollendung ab 1889 (Wien, Bundesdenkmalamt, Foto August Stauda, Inventarnummer W 578)

Kuppeln der beiden Hofmuseen, Eisenkonstruktionen für das Burgtheater und vieles mehr) durch die Firma Ig. Gridl ausgeführt. Auch neuartige Hochbaulösungen wie beispielsweise feuerbeständige Deckenkonstruktionen oder Einrichtungen für Baustellentransporte wurden in der Firma entwickelt und als Patente eingereicht. Zur Zeit des wirtschaftlichen Höhepunkts beschäftigte das Unternehmen etwa 100 Angestellte und 500 bis 600 Arbeiter. Erster Chefkonstrukteur war Sigmund Wagner.¹⁰ Für die Entwicklung und Ausführung der Hochbau- und Brückenkonstruktionen publizierte die Firma Ig. Gridl sogar eigene Berechnungstabellen.¹¹

Die beiden zu errichtenden Kuppeln auf dem Michaelertrakt wurden nach dem Konstruktionsprinzip von Johann Wilhelm Schwedler berechnet und ausgeführt. Schwedler hatte in der ersten Hälfte der 1860er-Jahre in Berlin ein Schalentragwerk für flache Kuppelkonstruktionen

¹⁰ Vgl. Georgeacopol-Winischhofer, Ute: *Von der Schlosserei zur Brückenbau-Anstalt. Die Entwicklung einer Technologie*. In: Fogarassy, Alfred (Hg.): Ignaz Gridl Eisenkonstruktionen: Ingenieurbaukunst und Innovation im späten 19. Jahrhundert. Wien 2011, S. 23–45.

¹¹ Vgl. Ig. Gridl k. k. Hof-Eisenconstructions-Werkstätte, Schlosserei und Brückenbau-Anstalt: *Tabellen zur Berechnung der Tragfähigkeit und des Gewichtes von gewalzten und genieteten Trägern, Eisenbahnschienen, gusseisernen Säulen etc.* Wien 1883; Ig. Gridl k. u. k. Hof-Eisenkonstruktions-Werkstätte, Schlosserei und Brückenbauanstalt: *Tabellen und Vorschriften für die Berechnung von Walzeisen, genieteten Konstruktionen, Gussäulen etc.* 6. Aufl. Wien 1908.

entwickelt und später vielfach realisiert.¹² Sogenannte ›Schwedler-Kuppeln‹ wurden zunächst vorrangig im Industriebau errichtet (zum Beispiel Gasometer der Imperial-Continental-Gas-Association in Berlin-Friedrichshain, 1863). Als Kuppeldächer kamen sie aber auch in repräsentativer Architektur (zum Beispiel für die Neue Synagoge in Berlin, 1863) zur Anwendung. Die Firma Ig. Gridl sammelte noch im gleichen Jahrzehnt Erfahrungen mit dieser neuen Konstruktionsweise. So errichtete sie 1867 in Wien »vor der Favoritenlinie« die Kuppel eines Gasbehälters der englischen Gasgesellschaft Imperial-Continental-Gas-Association mit 33,6 Meter Spannweite nach dem Prinzip von Schwedler.¹³ Vergleichbare Kuppelkonstruktionen sind durch historische Plandarstellungen auch für einen Gasbehälter nahe dem Wiener Südbahnhof (Anfang der 1870er-Jahre)¹⁴ und einen Gasbehälter im Gaswerk Wien-Erdberg (eventuell 1872)¹⁵ überliefert. Erste öffentliche Aufmerksamkeit erregte die eiserne Kuppelkonstruktion der Kirche *Maria zum Siege* in Wien-Fünfhaus, die von der Firma Ig. Gridl in Kooperation mit dem Architekten Friedrich Schmidt 1869/1870 ausgeführt wurde. Das Tragsystem, bestehend aus 24 gitterförmigen Sparren, einem oberen polygonalen Druckring und tangential nahezu flächig angeordneten Zugelementen entspricht zwar prinzipiell dem System Schwedler, entbehrt jedoch weitgehend der zugehörigen, flächig angeordneten Aussteifungsdiagonalen. Pläne und ein Modell der Kuppelkonstruktion wurden auf der Wiener Weltausstellung 1873 präsentiert und in der zeitgenössischen Fachliteratur angeführt.¹⁶ Neben einfachen Eisendachwerken für die damaligen Hofmuseen nach den Entwürfen von Hasenauer und Semper (heutiges Kunsthistorisches und Naturhistorisches Museum) baute die Firma Ig. Gridl 1880/1881 auch die eisernen Kuppeltragwerke für diese Gebäude.¹⁷ Es kann also davon ausgegangen werden, dass die Firma Ig. Gridl sowohl mit dem Bau eiserner Kuppelkonstruktionen als auch mit dem Konstruktionsprinzip nach Schwedler bereits umfangreiche Erfahrungen hatte, als ihr der Auftrag für die Kuppeltragwerke des Michaelertraktes zugesprochen wurde.

Die detaillierte Werkplanung der beiden Kuppeln für die Vollendung des Michaelertraktes

¹² Vgl. Schwedler, Johann Wilhelm: *Dachconstruction zum Gasbehälter-Gebäude der Imperial-Continental-Gas-Association zu Berlin*. In: Zeitschrift für Bauwesen, Jahrgang 13 (1863), H. 4–6, Sp. 151–166, Abb. 25–26; ders.: *Die Construction der Kuppeldächer*. In: Zeitschrift für Bauwesen, Jahrgang 16 (1866), H. 1–3, Sp. 7–34, Abb. 10–14.

¹³ Vgl. Winkler, Emil: *Technischer Führer durch Wien*. Wien 1873, S. 318.

¹⁴ *Eiserner Dachstuhl für ein Gasbehälter-Haus im Gaswerk nächst dem Südbahnhofe in Wien, ausgeführt in der Eisenconstructions-Werkstätte von: Ig. Gridl in Wien*. Lithographie von O. Weigel Wien, um 1870, Technisches Museum Wien. Online abrufbar unter: <http://data.tmw.at/object/110234130> (Zugriff: 12. 12. 2018).

¹⁵ *Eiserner Dachstuhl für ein Gasbehälter-Haus im Gaswerke Erdberg*. In: Prokop, August: Hochbau 1. (Constructions- und Gebäudlehre). Wien 1890, Eiserne Dachstühle XXII, Nr. 117a; vgl. Georgeacopol-Winischhofer 2011 (Anm. 10), S. 36–37, Abb. 24. Die beiden Zeichnungen (Anm. 14–15) sind bis auf den Titel fast identisch. Eine detaillierte Prüfung der historischen Darstellungen und zugewiesenen lokalen Bezeichnungen war im Rahmen der Recherche jedoch vorläufig nicht möglich. Emil Winkler führt die Kuppelkonstruktion im Gaswerk Erdberg ebenfalls kurz an. Vgl. Winkler 1873 (Anm. 13), S. 318.

¹⁶ Winkler 1873 (Anm. 13), S. 318, Abb. 135; vgl. auch Georgeacopol-Winischhofer 2011 (Anm. 10), S. 31, Abb. 16; S. 45.

¹⁷ Nierhaus, Andreas: *Zeigen und Verbergen. Eisen im Monumentalbau des 19. Jahrhunderts am Beispiel der Arbeiten der Firma Ig. Gridl für den Wiener Kaiserhof*. In: Fogarassy 2011 (Anm. 10), S. 93.

*Abb. 3
Wien, Hofburg, Mittelkuppel des
Michaelertraktes, Konstruktionszeich-
nungen*

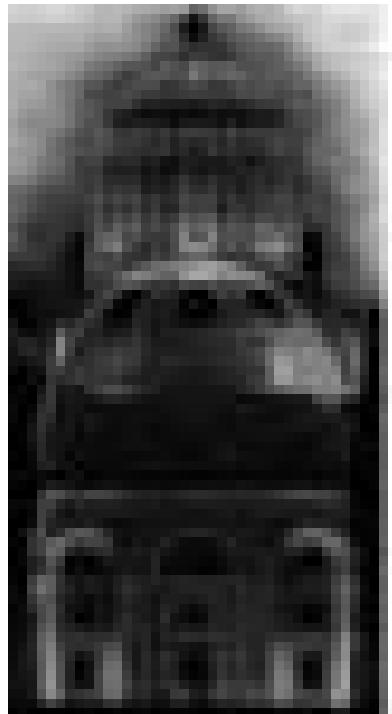
wird Rudolf Ferdinand Mayer zugeschrieben. Der junge Ingenieur war nach seinem Studium an der Ingenieurabteilung der k. k. Technischen Hochschule Wien von 1884 bis 1889 in der Firma Ig. Gridl tätig.¹⁸ Erhaltene Archivunterlagen, wie der Kostenvoranschlag¹⁹ und die

¹⁸ Personalakte Rudolf F. Mayer, eigenhändig ausgefüllte Diensttabelle (TU Wien Archiv, Dezember 1893). Mayer werden außerdem unter anderem das eiserne Tragwerk des Palmenhauses im Schlossgarten Schönbrunn, die Eisenkonstruktionen des Burgtheaters, die ehemalige Dachkuppel (64 Meter Durchmesser) über dem Gasbehälter des Gaswerks in Wien-Erdberg und Eisenkonstruktionen im Wiener Volkstheater zugeschrieben (Neuigkeits-Welt-Blatt Nr. 276 vom 04.12.1900, Nachruf S. 4; Deutsches Volksblatt Nr. 4281 vom 02.12.1900, Nachruf S. 6). Ab 1891 übernahm er verschiedene Vertretungen an der Lehrkanzel für Baumechanik und Brückenbau an der k. k. Technischen Hochschule Wien, 1893, im Alter von 32 Jahren, erfolgte hier seine Ernennung zum *k. k. außerordentlichen öffentlichen Professor für Baumechanik & grafische Statik*. Mayer lehrte die ›Enzyklopädie des Straßen- und Wasserbaues‹, die ›Enzyklopädie des Brücken- und Eisenbahnbaues‹ sowie die ›Theorie der Hochbauconstructionen‹. 1897 wurde er *k. k. ordentlicher öffentlicher Professor für Baumechanik und grafische Statik, Statik der Hochbauconstruktion, Eisencconstructionen des Hochbaus*. Ab dem Studienjahr 1896/1897 war er Dekan der Hochbauschule an der k. k. Technischen Hochschule Wien. Vgl. Personalakte Rudolf F. Mayer, eigenhändig ausgefüllte Diensttabelle (TU Wien Archiv, Mai 1899). Mayer, der als Ingenieur und Lehrer hohe Anerkennung in Fachkreisen und bei den Studierenden genoss, verstarb nach längerer Krankheit 1900 im Alter von 39 Jahren.

¹⁹ ›Kostenvoranschlag und Gewichtszusammenstellung der äusseren und inneren Kuppel-Construction für den Ausbau der k. u. k. Hofburg, datiert 29. Mai 1891 (Österreichisches Staatsarchiv, Akt 44.43–22189).

Abb. 4

Wien, Hofburg, Rotunde und Mittelkuppel des Michaelertraktes, Querschnittsdarstellung als Kombination von 3D-Laserscan und Schnitzzeichnung



Angebotsstatistik²⁰ – beide Dokumente wurden vom leitenden Ingenieur Wagner unterzeichnet –, die für Lehrzwecke zusammengestellten Konstruktionspläne des Kuppeltragwerks der großen Mittelkuppel²¹ (Abb. 3) sowie historische Fotos der Konstruktionen der Mittel- und der Seitenkuppel auf dem Montageplatz der Firma aus dem Jahr 1891,²² geben einen Einblick in die Planung, Berechnung und Herstellung der Tragwerke.

Die feierliche Eröffnung der während der Bauarbeiten gesperrten Durchfahrt durch die Rotunde des äußerlich fertiggestellten Michaelertraktes fand am 9. Juli 1893 unter reger öffentlicher Beteiligung statt.²³

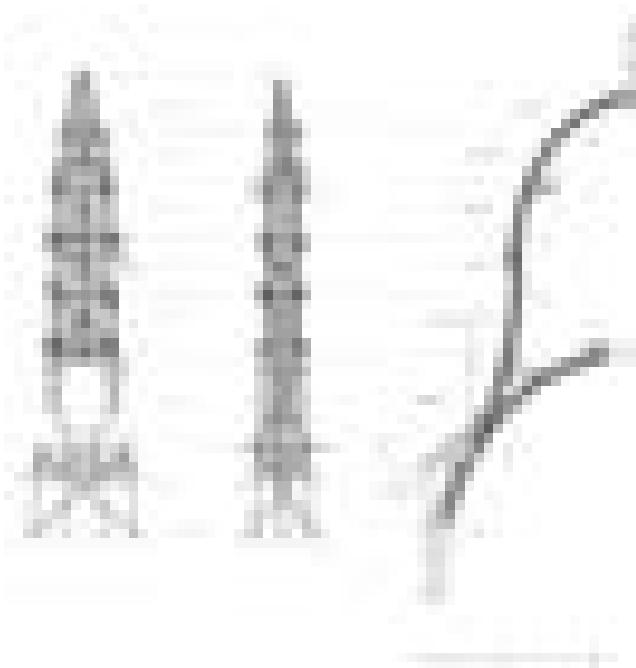
²⁰ »Statische Berechnung der Dach und Deckenkuppel für den Ausbau der k. u. k. Hofburg in Wien nach J. W. Schwedler«, datiert 3. Juni 1891 (Österreichisches Staatsarchiv, Akt 44.40–22123).

²¹ Prokop 1890 (Anm. 15), Eiserne Dachstühle XXII, Nr. 121b.

²² Vgl. *Die Fotoalben der Firma Ig. Gridl*. In: Fogarassy 2011 (Anm. 10) S. 155–156, Abb. 136; Faber, Monika: *Firmengeschichte und Verkaufargument. Industriefotografie in Österreich am Beispiel der Firma Ig. Gridl*. In: ebd., S. 157–187, 174, Abb. 167.

²³ *Baunachrichten. Wien. Bau der Hofburg*. In: Der Bautechniker, XIII. Jahrgang (1893), Ausgabe 15. 09. 1893, Nr. 37, S. 673; vgl. auch *Der Ausbau der Hofburgfaçade*. In: Wiener Bauindustrie-Zeitung, XI. Jahrgang (1893), Ausgabe 01. 10. 1893, Nr. 1, S. 1–2 mit Beilage »Wiener Bauten-Album«, Blatt 1–4.

*Abb. 5
Wien, Hofburg,
Mittelkuppel des
Michaelertraktes,
Querschnittszeichnung
und Ansichten eines
breiten und schmalen
Kuppelsegments der
äußeren Kuppel*



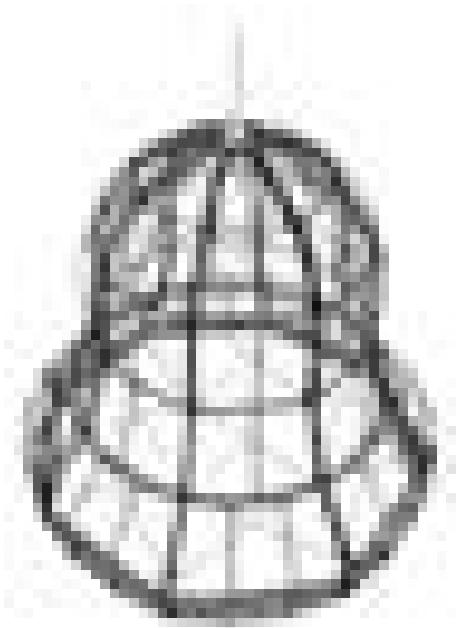
Globale Struktur der Mittel- und Seitenkuppel

Grundsätzlich entsprechen beide Kuppeln dem Konstruktionsprinzip von Schwedler. Das Tragsystem besteht aus radial angeordneten, gekrümmten Hauptsparren, welche nach Bedarf mit Nebensparren zur besseren Darstellbarkeit der runden Dachform verdichtet wurden, und horizontal angeordneten Ringträgern. Die trapezförmigen Teilflächen der schalenartigen Tragstruktur – mit Ausnahme der durch polygonale Rahmen verstärkten Belichtungsöffnungen – wurden mit sich kreuzenden Verbandsdiagonalen ausgesteift. Auf den Sparren befestigte horizontale Pfettenkränze aus Kantholz bilden die Unterkonstruktion für eine vertikale Brettschalung und Eindeckung aus Kupferblech. Die dekorativen Kuppelaufsätze werden durch eine im oberen Druckring integrierte Schwertkonstruktion stabilisiert.

Die große Mittelkuppel besteht aus einer äußeren, stadträumlich wirksamen Dachkuppel in Glockenform und einer integrierten inneren Kuppel mit Opaion im Scheitel als oberer Raumabschluss der darunterliegenden Rotunde (Abb. 4). Im ersten Konstruktionsabschnitt über der Auflagerebene wurden die Tragwerke der beiden Kuppeln zusammengeführt. Im Grundriss sind beide Kuppeln als ein sechzehneckiges zentrisches Polygon aufgebaut. Der untere Zugring mit einem Durchmesser von 22,77 Meter liegt auf einer Höhe von ca. 24 Meter über dem Straßenniveau. Die leider nicht zugänglichen Fußpunkte sind gemäß Planungsunterlagen

Abb. 6

Wien, Hofburg, Seitenkuppel des Michaelertraktes, 3D-Modell des Eisentragwerks



als radial ausgerichtete Gleitlager ausgebildet und zusätzlich mit vertikalen Zugverankerungen – zur globalen Kippstabilisierung während der Bauphase – mit dem Mauerwerk der Rotunde verbunden. Die Konstruktionshöhe der äußeren Kuppel beträgt 25,85 Meter (Abb. 5).

Die Konstruktion der inneren Deckenkuppel erreicht eine Stichhöhe von 11,42 Meter. An den Radialsparren sind in regelmäßigm Abstand von 0,55 Metern senkrecht zur Kuppeloberfläche konzentrisch verlaufende Flacheisenbänder als Unterkonstruktion für meist paarweise, in entgegengesetzter Richtung angeordnete U-förmige Eisenanker, sogenannte Agraffen, befestigt. Diese Anker tragen eine vermutlich einlagig verlegte Ziegelschale, an deren Unterseite die reichhaltige Stuckverzierung der Deckenkuppel angebracht ist. Derartige Agraffenkonstruktionen, teilweise auch Vauxsche Konstruktionen genannt, wurden von der Firma Ig. Gridl bereits in den Hofmuseen umgesetzt.²⁴

Die beschriebene konstruktive Verbindung von Dach- und Deckenkuppel stellte eine Neuerung dar. In den vorhergehenden, oben angeführten Kuppelkonstruktionen der Firma Ig. Gridl waren Dach- und Deckenkuppel jeweils eigenständige Konstruktionen mit eigenen Auflagerniveaus sowie die Deckenkuppel als ausschließlich gemauerte Kuppel ausgeführt.

Die äußere Form und damit stadträumlich wirksame Gestalt der kleineren nordwestlichen Seitenkuppel wurde der seit 1735 bestehenden Holzkuppel auf dem gegenüberliegenden Gebäudetrakt der Winterreitschule nachempfunden, die zugrundeliegende Tragkonstruktion

²⁴ Vgl. Wehdorn 1978 (Anm. 1), Taf. 62–63.



Abb. 7 Wien, Hofburg, Grundriss der nordwestlichen Seitenkuppel des Michaelertraktes, Bestandszeichnung

jedoch jetzt nach Schwedler konzipiert und in Eisen ausgeführt (Abb. 6). Das Kuppeltragwerk hat einen maximalen Durchmesser von 14,05 Meter, die Höhe vom Fußpunkt bis zum oberen Druckring beträgt 13,11 Meter. Im Grundriss basiert die Konstruktion auf einem Achteck. Der untere Zugring ist allerdings angesichts des heterogenen Unterbaus, bestehend aus sich kreuzenden tragfähigen Mauerwerksscheiben als Punktlager und Zonen mit vermutlich biegeweichereren Stahlträgerdecken, als rechteckiger Kastenträger in fachwerksartiger Bauweise zur Aufnahme zusätzlicher Biegemomente ausgebildet (Abb. 7).

Konstruktionsdetails und Hinweise zum Montagevorgang der Kuppeln

Generell ist anzumerken, dass die Ausführung der Knotenpunkte in den eisernen Kuppeltragwerken ein hohes qualitatives Verständnis für den Kraftfluss widerspiegelt. Niete wurden korrekt ausschließlich auf Abscheren beansprucht. Zwecks wirtschaftlicher Konstruktionsweise wurden sowohl Knotenbleche wie Profile unter Anwendung plastischer Formgebung an Knotenpunkten durchlaufend ausgeführt. Möglicherweise aus Gründen eingeschränkter Verfügbarkeit beziehungsweise vereinfachter Logistik kamen ausschließlich kleinformatiger, gleichschenkeliger Winkelstahl in zwei Dimensionen und Flachstahl sowie Blechtafeln als Stege für Vollwandträger, Knoten- beziehungsweise Bindebleche zum Einsatz. Auch die Ausbildung von größeren I-, T- oder Z-Querschnitten erfolgte als zusammengesetzte Querschnitte mit

Niete als Schubverbindungsmittel. Eine Ausnahme dazu sind I-Profile im unteren Abschnitt der Mittelkuppel mit Walzmarken »WIT. 18«, welche auf eine Herkunft aus den Witkowitzer Eisenwerken in Mähren (Vitkovice im heutigen Tschechien) verweisen.²⁵

Sparren- oder Ringquerschnitte wurden im Regelfall als einwandige, parallelgurtige Fachwerkträger mit gekrümmten (Mittelkuppel) oder wahlweise einseitig polygonal geformten (Seitenkuppel) Gurten ausgeführt. Die Ausführung von zweiwandigen Fachwerken mit nur einseitiger Verbindung der Gurte war nur im Verschneidungsbereich von Dach- und Deckenkuppel der Mittelkuppel erforderlich. Vollwandige I-Querschnitte, bestehend aus Stahlblechstegen mit angenieteten Winkelreisen als Gurtverstärkung und Stabilisierung, kamen ausschließlich bei den oberen, kreisförmig gekrümmten Druckringen der Kuppeltragwerke zum Einsatz.

Historische Fotos der Firma Ig. Gridl zeigen neben den Werkstattgebäuden weiträumige Lager- und Montageplätze für die Vormontage der zu produzierenden Tragwerke.²⁶ Die Vormontage in unmittelbarer Nähe zu den maschinell angetriebenen Bohrvorrichtungen zur Herstellung der Nietlöcher war auch ein notwendiger Arbeitsschritt zur Prüfung der Passgenauigkeit von vorgefertigten Segmenten, welche in gerade noch transportierbaren Einheiten auf die Baustelle gebracht wurden. Gleichzeitig konnten die Umsetzbarkeit der geplanten Montagereihenfolge sowie das Erfordernis von Hilfsgerüsten und Hebeeinrichtungen für den Aufbauvorgang verifiziert werden. Derartige Fotodokumentationen existieren auch noch von der kompletten Vormontage der beiden Kuppelkonstruktionen im Michaelertrakt.²⁷ An den Kuppeln lassen sich Montageeinheiten, die auch mit einer eindeutigen Kennzeichnung durch aufgetragene Zahlen oder Körnungen versehen wurden, bis heute ablesen. Es ist zu vermuten, dass infolge der rotationssymmetrischen Bauwerksgometrie und dem daraus abzuleitenden Wiederholungseffekt der Zuschnitt und die Nietlöcher nach Schablonen gefertigt wurden. Dennoch hat die Befundung der Tragwerke vor Ort eine eindeutige Lokalisierung von Passfeldern ergeben. Schraubverbindungen waren sehr selten und wurden entweder temporär zur Verbindung von vorgefertigten Segmenten oder auch permanent an Stellen mit für den Nietvorgang zu beengten Raumverhältnissen eingebracht.

²⁵ *Witkowitzer Bergbau- und Eisenhüttenwerkschaft*. Für einen Einblick in Erzeugung und Produkte vgl. Broschüre 1914 *Das Mammutwerk Witkowitz*. In: Die Moderne Welt (1924), H. 6, S. 9–11; *100 Jahre Eisenwerk Witkowitz*, 1928. In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts bildeten in der österreichisch-ungarischen Monarchie Werke zur Produktion von Gusseisen, Schmiedeeisen und Stahl sowie daraus hergestellte Konstruktionen in Böhmen und Mähren mit eigenen Berg- und Hüttenwerken den Schwerpunkt der Erzeugung. Im letzten Viertel des 19. Jahrhunderts waren auch steirische Produzenten mit Niederlassungen in Wien vertreten. Vgl. Georgeacopol-Winischhofer 2011 (Anm. 10), S. 29–30.

²⁶ Vgl. Georgeacopol-Winischhofer, Ute: *Von der Schlosserei zur Brückenbauanstalt. Die Entwicklung einer Technologie*. In: Fogarassy 2011 (Anm. 10) S. 23–45, 26, Abb. 10; S. 27, Abb. 11; Faber 2011 (Anm. 22), S. 157–187, Abb. 138; S. 160–161, Abb. 145; S. 166, Abb. 153; S. 175, Abb. 168–169. *Ausgewählte Bilder aus den Alben der Firma Ig. Gridl*. In: Fogarassy 2011 (Anm. 10), S. 188–225, 209, Abb. 214.

²⁷ Vgl. Anm. 22.

Baustatische Konzeption und Nachweisführung am Beispiel der großen Mittelkuppel

Die statische Konzeption der neuen Kuppeltragwerke divergiert wesentlich von traditionellen hölzernen Vorbildern beziehungsweise von der bereits bestehenden Kuppel auf dem gegenüberliegenden Dach der Winterreitschule aus dem Jahr 1735.²⁸ An die Stelle stehender oder liegender Stühle traten 1891 freitragende Schalentragwerke in Fachwerkausführung mit erheblichem Freiraum im Kuppelinneren. Die bereits erwähnte Angebotsstatik²⁹ der Firma Ig. Gridl für die Mittelkuppel aus dem Jahr 1891 gibt einen Einblick in den damaligen Wissensstand auf dem Gebiet der statischen Konzeption von eisernen Kuppeltragwerken sowie die Praxis der statischen Nachweisführung. Grundsätzlich wurde die Dimensionierung der Bauteile auf Gebrauchslastniveau mit angegebenen zulässigen Spannungen geführt. Gemäß Angebotsstatik gilt: »Als zulässige Inanspruchnahme wurde für Schweißeisen auf Zug und Druck 800 at, für die Niete auf Abscherung 600 at festgesetzt. Gedrückte Stäbe, welche nicht in Folge ihrer Verbindung mit anderen Constructionstheilen und dgl. in ihrer Lage erhalten werden, wurden nach der Rankinschen Formel berechnet.« Trotz dieser für Schweißeisen geltenden Materialfestigkeiten,³⁰ welche vermutlich in der Phase der Angebotsstatik als auf der sicheren Seite befunden wurden, gibt das Vorhandensein von gerollten und geknickten Profilen in den beiden Kuppelkonstruktionen gleichzeitig einen Hinweis auf die Grundeignung des verwendeten Stahls zu plastischen Umformungen. Es könnte also bereits Flusseisen zur Ausführung gekommen sein.³¹

Die baustatische Nachweisführung für die Mittelkuppel besteht im Wesentlichen aus einer einfachen Umrechnung der Flächenlasten aus Eigengewicht der Dachschale beziehungsweise

²⁸ Zur Winterreitschule vgl. Weinberger, Manuel: *Die Winterreitschule*. In: Lorenz/Mader-Kratky 2016 (Anm. 3), S. 97–104.

²⁹ Vgl. Anm. 20.

³⁰ Alternativ können den Berechnungstabellen der Firma Ig. Gridl aus dem Jahr 1883 (vgl. Anm. 11) folgende Festigkeiten entnommen werden:

Gewalzte Träger: Inanspruchnahme = Referenzfestigkeit von 1000 kg/cm², Verweis auf Umrechnung für zum Beispiel 1200 kg/cm² (S. 7–8),

Genietete Träger: Inanspruchnahme = Referenzfestigkeit von 1065 kg/cm² (S. 10), Reduktion auf 900–1000 (S. 14), *Eisenbahnschienen als Träger: Inanspruchnahme = Referenzfestigkeit von 1065 kg/cm²* (S. 17),

Gusseiserne Säulen: Bruchfestigkeit von Gusseisen = 385 kg/cm (S. 22),

Knickfestigkeit von Rankine mit zulässiger Inanspruchnahme auf Druck von 600 kg/cm² (S. 23).

³¹ Ein wichtiger Hinweis ist auch die Bauzeit 1891–1893, in der bereits der Übergang von Schweiß- zu Flusseisen vorststenging. Witkowitz war als einer der technischen Vorreiter jenes Stahlwerk, welches 1879 die erste Charge nach dem im selben Jahr eingeführten Thomasprozess auf dem europäischen Kontinent verblasen hat. Auch der Martinprozess wurde unmittelbar nach seiner Erfahrung ab 1879 in Witkowitz angewandt. Darüber hinaus wurde hier ein besonderes Verfahren ausgearbeitet, nämlich eine Vereinigung des Bessemer-Prozesses mit dem Martinverfahren, die man als speziellen ‚Witkowitzer Prozess‘ bezeichnet hat und der infolge bestimmter Vorteile für die Massenerzeugung auch in anderen Werken eingeführt wurde. Die Einführung des kombinierten Prozesses erfolgte 1889. Die Autoren danken Prof. Gerhard Stadler (Institut für Kunstgeschichte, Bauforschung und Denkmalpflege, TU Wien) herzlich für diese Hinweise und Informationen.

Schnee in Einzellasten auf die Knotenpunkte der trapezförmigen Teilflächen und Rückrechnung der Normalkräfte in den Sparren mit vorläufig noch geraden Stabachsen. Die Schnittgrößen wurden für die äußere Dach- und innere Deckenkuppel getrennt ermittelt (Abb. 3) und in Querschnittsnachweise in Form einfacher Spannungsnachweise übernommen. Der Vorschlag der vereinfachten Vordimensionierung von Sparren und Ringträgern nach dem Schema von Schwedler,³² ursprünglich entwickelt nur für flache und einseitig gekrümmte Kuppen, ist prinzipiell auch für glockenförmige Dachstrukturen anwendbar. Die Empfehlungen zur Maximierung beziehungsweise Minimierung der Ringkräfte durch spezielle Laststellungen sind allerdings nicht mehr universell gültig. Korrekterweise müsste auch die Ringkraft aufgrund der ungleichen Winkelteilung im Grundriss infolge der großen Belichtungsöffnungen variieren. Die ebenfalls ringförmig eingebauten Vollholzpfetten wurden von der Aufnahme von Ringkräften wegen Nachgiebigkeit der Befestigungen mittels einschnittiger Bolzenverbindungen gänzlich ausgeschlossen.

Neben der Sparrennormalkraft wurde zumindest bei der Spannungsbemessung auch das Moment infolge der Stabexzentrizität wegen der tatsächlich gebogenen Stabachsgeometrie mitberücksichtigt. Beim Nachweis stabilitätsgefährdeter Stababschnitte nach dem Ersatzstabverfahren wurde für die Knickspannungslinie die Formel von W.J. M. Rankine³³ bevorzugt.

Trotz Dominanz der horizontalen Windkraftkomponenten auf die Tragstruktur berücksichtigte man im allgemeinen Nachweisschema nach Schwedler lediglich die vertikalen Komponenten für die Berechnung der Einzellasten. Auch der globale Kippnachweis in der Phase der Montage ohne Zusatzgewicht durch die Ausmauerung der Deckenkuppel erfolgte in Form einer nur vertikalen Kräftebilanz. Das Biegemoment infolge Windbelastung auf die Sparren wurde wegen angenommener entlastender Wirkung in Kombination mit dem Effekt der Exzentrizität der Stabachse pauschal vernachlässigt. Die Differenzierung in Druck- und Sogbelastung auf die weitgehend vertikale Dachfläche der Kuppel bei Wind blieb unberücksichtigt. Trotz Verweis in der Angebotsstatik auf die Erweiterung der Theorie von Schwedler durch August Föppl zur Bestimmung der Diagonalkräfte ist eine Unsicherheit im Umgang mit diesen Ansätzen festzustellen. Das Thema der Bestimmung der Diagonalkräfte wurde dann auch nur sehr knapp in der Berechnung abgehandelt. Möglicherweise gab dieser Umstand, neben weiteren Vorteilen für die Montage, den Ausschlag für die Entscheidung, die Diagonalen – in der Statik explizit als Zugelemente deklariert – doch nicht aus Flacheisen, sondern in Winkelstahl auszuführen.

³² Vgl. El-Schansy, El-Sayed: *Berechnung der Biegungsspannungen und Stabkräfte in Schwedlerkuppen nach Theorie und Modellversuch*. Dissertation ETH Zürich, Zürich 1942; zur Schwedler-Kuppel vgl. auch: <https://www.b-tu.de/great-engineers-lexikon/ingenieure/schwedler-johann-wilhelm-1823-1894/erfindungen> (Zugriff: 12.12.2018).

³³ Vgl. Swain, George F.: *Festigkeitslehre*. Berlin 1928, S. 490–492.

Schlussbemerkung

Der Entwurf und die Realisierbarkeit von weitgespannten Tragwerken waren seit jeher geprägt von den zur Verfügung stehenden Baustoffen und Konzepten zur Dimensionierung. Nicht oder nur unter unverhältnismäßig hohem Aufwand prognostizierbare Tragwerksbeanspruchungen mussten durch erfahrungsbasierte konstruktive Ersatzmaßnahmen ausgeglichen werden. Die archivalischen Dokumente zur Planung der beiden Kuppelkonstruktionen aus dem Jahr 1891 ermöglichen Einsichten in zur Errichtungszeit verbreitete Berechnungsverfahren und Konstruktionsregeln. Durch den Einsatz aktueller baustatischer Berechnungsmethoden und Werkzeuge wie Statiksoftware lassen sich Auswirkungen durch ehemals getroffene Vereinfachungen der baustatischen Modellbildung, bedingt durch die Leistungsgrenzen der Handrechnung und Fehleinschätzungen bei Lastannahmen, heute einfach validieren. Die damit gewonnenen Ergebnisse werden zu geeigneten und effizienten Interpretationshilfen für historische bautechnische Befunde beziehungsweise bilden eine zuverlässige Grundlage zur finalen sicherheitstechnischen Bewertung der Tragwerke nach heutigen Erfordernissen.