

KONSTRUIEREN IN EINER REGELLOSEN ZEIT. EISENBETONBEMESSUNG ZWISCHEN MONIER-BROSCHÜRE UND DEN ERSTEN BEHÖRDLICHEN VORSCHRIFTEN (1887–1904)

Zusammenfassung

Gustav Adolf Wayss (1851–1917) hat mit der Monier-Broschüre 1887 den eigentlichen Startschuss für das Bauen mit Eisenbeton in Berlin gegeben. Basierend auf dieser Publikation und vor allem den vorhergehenden Bauteilversuchen war es möglich, im Voraus bemessene Bauelemente in Eisenbeton auszuführen. Behördliche Regelungen dafür wurden im Deutschen Reich erst etwa 15 Jahre später erlassen. In dieser somit regellosen Zeit war es Wayss in Zusammenarbeit mit Mathias Koenen (1849–1924) gelungen, eigene Konstruktionsregeln zu definieren. Diese Zusammenarbeit begründete die Vorherrschaft der Firma G. A. Wayss beziehungsweise deren Nachfolgefirmen im Raum Berlin. Nennenswerte Konkurrenz hat sich auf dem Berliner Markt erst nach 1904 etabliert.

Zwei ausgewählte Bauprojekte aus der Berliner Frühzeit zeugen von den Herausforderungen und der schrittweisen Entwicklung der Eisenbetonbemessung. Dies ist zum einen der Musikpavillon der Rennbahn Hoppegarten (Baujahr 1887) und zum anderen eine gewölbte Monier-Decke in einem Brauereigebäude der Schultheiß Brauerei (Baujahr 1889) in Berlin. Beide Bauten wurden von der Firma G. A. Wayss ausgeführt. Basierend auf Archivmaterialien, bauzeitlichen Veröffentlichungen, Konstruktionszeichnungen und statischen Berechnungen werden die Bauprojekte analysiert und ihre Besonderheiten in der Konstruktion und Bemessung im Kontext verortet. Vor dem Hintergrund, dass fehlendes Wissen über das Materialverhalten durch systematisch ausgewertete Versuchsergebnisse und eine daraus entwickelte erste Bemessungstheorie kompensiert werden musste, zeigen beide Bauten deutliche Spuren dieser Annäherung an die neue Bauweise. So ist der Musikpavillon ein gebautes Experiment, das in seiner Ausführung, aber ohne das theoretische Verständnis zum Tragverhalten, teilweise die Schalenbauten der Zeiss-Dywidag in den 1920er Jahren vorwegnimmt. Am Beispiel der Gärhausdecke lässt sich aufzeigen, wie Koenen seine Bemessungstheorie über die Zeit und mit wachsender Erfahrung weiterentwickelt hat.

Abstract

With the publication of his Monier-Brochure in 1887, Gustav Adolf Wayss (1851–1917) initiated the beginning of reinforced concrete construction in Berlin. Based on this publication and, most of all, based on the preliminary material tests accompanying the publication it was then possible to calculate reinforced concrete elements prior to their erection. It took 15 more years for German authorities to issue public regulations covering the new building material. During this fortuitous time, Wayss, in cooperation with Matthias Koenen (1849–1924), was able to define his own design rules. Their cooperation also seems to be the key to their early success. The company G. A. Wayss and its subsequent firms dominated the Berlin building market until well after the turn of the century.

By discussing and analysing two selected case studies from the early beginnings of reinforced concrete in Berlin it is possible to point out challenges and developments in designing reinforced concrete. The first example is a music pavilion built in 1887 in Hoppegarten, a small town nearby Berlin. The second example is a vaulted ceiling within a Brewery complex realised in 1889 in Berlin. Both projects have been realised by the company G. A. Wayss respectively G. A. Wayss & Co. Based on archive material, historic publications, construction drawings and structural calculations both projects are analysed with an evaluation of their structural and design characteristics. Keeping in mind that there was no craftsmanship to rely on it becomes clear how the published material tests and the first design theory by Koenen could compensate this lack of experience. Both examples present clear signs of this process of convergence. The music pavilion has been a truly remarkable project. The construction realised is, in some parts, a predecessor to the Zeiss-Dywidag concrete shells from the 1920ies – though without the theoretical understanding of the load bearing characteristics of shells. By investigating the vaulted ceiling construction it becomes clear that, over time and with growing experience, Koenen did some redefining of his design theory.

Eine erste Bemessungsvorgabe – Die Monier-Broschüre

Die Idee, Beton und Eisen zu kombinieren, wurde bereits vor 1850 in Europa erforscht und erprobt. Allerdings kann hier noch nicht von Eisenbeton im heutigen Sinne gesprochen werden. Vielmehr war der Ansatzpunkt, eine höhere Feuerfestigkeit bei eisernen Trägern herzustellen.¹ Dem Beton wurde lediglich die Rolle eines besseren Brandschutzputzes zugedacht. In einer weiteren Anwendungsform wurde das Eisen zur Formgebung genutzt, also eher als Armierung in die Bauteilmitte schlanker Bauteile positioniert. Bei diesen frühen Objekten gibt es bislang nur vereinzelte Hinweise auf ein grundlegendes Verständnis der Tragfähigkeitsanteile und des

¹ Hyatt, Thaddeus: *An Account of some Experiments with Portland-Cement-Concrete*. London 1877.

physikalischen Zusammenwirkens von Beton und Eisen. Dies gilt auch für den Ansatz von Josef Monier (1823–1906), der durch sein deutsches Patent im Jahr 1881 den Eisenbeton nach Deutschland brachte.

Neben traditionellen Bautechniken wurden im ausgehenden 19. Jahrhundert in Berlin zahlreiche Kombinationen von Bauweisen und -materialien getestet. Die Entwicklung der verschiedenen Massivdeckenkonstruktionen sei hier nur beispielhaft genannt. Dies erforderte nicht nur aufmerksame Architekten und Ingenieure, auch staatliche Behörden mussten stets die Anforderungen an das Tragverhalten oder beispielsweise den Brand- und Schallschutz präziser formulieren. Die Etablierung der Eisenbetonbauweise fällt genau in diese Zeit. Dabei fällt auf, dass die Geschichte des Eisenbetons in Berlin durch eine anfängliche Ignoranz seitens der baupolizeilichen Behörden gekennzeichnet war, die erst mit Beginn des 20. Jahrhunderts ihr Ende fand. Zudem hegten auch die im Deutschen Reich tätigen Baufirmen starke Ressentiments gegen die Eisenbetonbauweise. In erster Linie wurden dabei Zweifel an der Dauerhaftigkeit und der Tragfähigkeit geäußert. Tatsächlich gab es bis 1904 keine baupolizeiliche Vorschrift zum Eisenbeton.²

In dieser, für die Eisenbetonbauweise, »regellosen Zeit« konnte Gustav Adolf Wayss (1851–1917), der mit seiner Firma und den norddeutschen Lizenzrechten für das Monierpatent 1885 nach Berlin übersiedelte, kaum Bauaufträge akquirieren. Erst mit Veröffentlichung der *Monier-Broschüre* im Jahr 1887³ und den entsprechenden vorhergehenden Bauteilversuchen⁴ wendete sich das Blatt. Die Erkenntnisse aus den Versuchen wurden später nicht nur mittels 10 000 gedruckter Exemplare der *Monier-Broschüre*, sondern auch in Zeitschriftenartikeln, Vorträgen und Ausstellungen verbreitet. Anders als etwa Francois Hennebique (1842–1921),⁵ der in seiner Firma sämtliche Berechnungsvorgaben als Firmeneigentum nicht publizierte,⁶

2 Durch die fehlenden behördlichen Vorschriften erhielten privat finanzierte Publikationen die Bedeutung von Regelwerken, waren sie doch die einzigen Hilfsmittel für den Umgang mit der neuen Bauweise. Für das System Monier war dies die im Folgenden näher betrachtete Monier-Broschüre.

3 Wayss, Gustav Adolf: *Das System Monier. In seiner Anwendung auf das gesammte Bauwesen*. Berlin 1887.

4 Für eine Teilnahme an den Versuchen konnten im Vorfeld Eintrittskarten käuflich erworben werden. Die genaue Anzahl der Teilnehmer ist nicht überliefert. Bei der Auswertung der *Monier-Broschüre* fällt aber auf, dass die Anzahl konkurrierender Ingenieure und Architekten im Vergleich zu staatlichen Bauräten, Inspektoren und Regierungsbaumeistern offenbar deutlich kleiner war.

5 Zur Bedeutung von Hennebique s. a. Delhumeau, Gwenael: *Hennebique and Building in Reinforced Concrete around 1900*. In: Gregotti, Vittorio (Hg.): Reinforced Concrete: Ideologies and Forms from Hennebique to Hilberseimer. Beton als Gestalter. Bologna 1992, S. 15–25; Van de Voorde, Stephanie: *Hennebique's Journal le Béton Armé. A Close Reading of the Genesis of Concrete Construction in Belgium*. In: Kurrer, Karl-Eugen; Lorenz, Werner; Wetzk, Volker (Hg.): Proceedings of the Third International Congress on Construction History. Brandenburg University of Technology Cottbus, Germany, 20th - 24th May 2009. Berlin 2009, S. 1453–1461.

6 Hellebois, Armande: *Theoretical and experimental studies on early reinforced concrete structures*. Dissertation Université Libre Brüssel 2013, S. 199. Erst gegen Ende des 19. Jahrhunderts wurden Details der Bemessung nach Hennebique in den Fachzeitschriften von unabhängigen Ingenieuren diskutiert, beispielhaft sei hier auf Ritter verwiesen. Ritter, Karl Wilhelm: *Die Bauweise Hennebique*. In: Schweizerische Bauzeitung 33 (1899), H. 5, S. 41 ff.

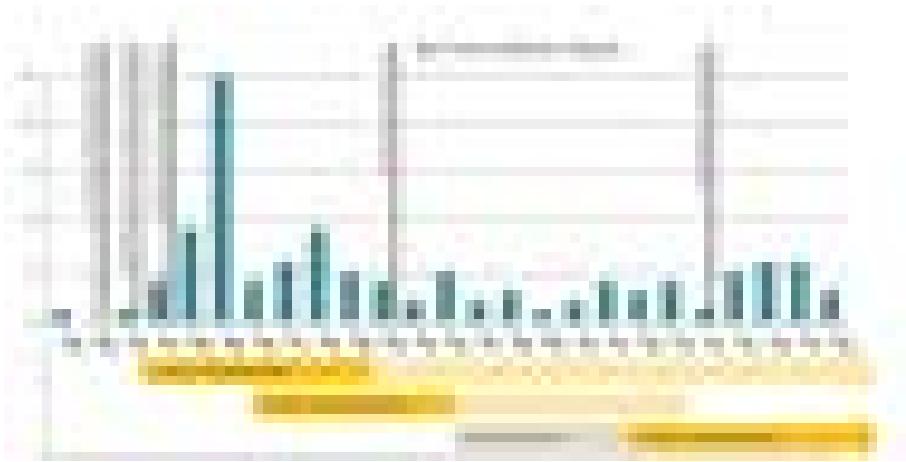


Abb. 1 Übersicht über die in Berlin realisierten Bauprojekte mit Verwendung von Eisenbeton unter Angabe maßgebender zeitlicher Begebenheiten

hat die Firma G. A. Wayss⁷ von Anfang an ihre theoretischen Erkenntnisse veröffentlicht. Die *Monier-Broschüre*, als eine »fachlich begründete Streit- und Werbeschrift«⁸ angelegt und in Zusammenarbeit mit Mathias Koenen (1849–1924), einem im Staatsdienst tätigen Regierungsbaumeister,⁹ entstanden, erwies sich als äußerst nutzbringende Investition. Zum einen kurzfristig für Wayss und seine Firma, da sich das Auftragsvolumen dank der Sicherheit einer aussagekräftigen Statik und damit eines Nachweises der Tragfähigkeit in den Jahren nach der Veröffentlichung deutlich vermehrte (Abb. 1).¹⁰ Dabei ist festzustellen, dass gerade in der Anfangszeit in Berlin eine eindeutige Dominanz durch die Firma G. A. Wayss nachweisbar ist. Dies ist zum Teil durch die bis 1894 auf die Firma übertragenen Nutzungsrechte für das Mo-

⁷ Mit dem Eintritt von Koenen (1888) wurde die Firma G. A. Wayss in eine Kommanditgesellschaft mit dem Namen G. A. Wayss & Co. umgewandelt, bevor sich daraus 1889 die Actien-Gesellschaft für Monierbauten gründete. Auf eine detailliertere Auseinandersetzung mit der Firmengeschichte wird hier verzichtet. Als Verweis wird im Text immer die G. A. Wayss angegeben.

⁸ Kurrer, Karl-Eugen: *Geschichte der Baustatistik*. Berlin 2002, S. 343.

⁹ Koenen beschreibt 1921 in einem persönlichen Rückblick sein Zusammentreffen mit Wayss und seine Zweifel, die er zu Beginn gegen die Bauweise hegte. Er führt hier detailliert die Punkte auf, die seinerzeit auch andere Ingenieure an der Tragfähigkeit zweifeln ließen: z. B. Rosten des Eisens im Beton, Unterschiede in der Temperaturdehnung, Haftverbund der Eiseneinlagen, wobei er seine Zweifel nach einer intensiven Auseinandersetzung mit der Thematik ausräumen konnte. Koenen, Matthias: *Zur Entwicklungsgeschichte des Eisenbetons*. In: Der Bauingenieur (1921), H. 13, S. 347–349.

¹⁰ Die in der Abbildung dargestellten absoluten Zahlen zeigen Bauten, die in Berlin (in den Grenzen von 1920) ausgeführt wurden, unabhängig davon, welche Firma an der Realisierung beteiligt war. Dies ist ein aktueller Zwischenstand einer angehenden Untersuchung im Rahmen einer Dissertation zu dem Thema ›Frühe Eisenbetonbauten in Berlin. 1880–1930‹ BTU Cottbus-Senftenberg.

nierpatent begründet. Allerdings hat sich nennenswerte Konkurrenz auf dem Berliner Baumarkt erst nach 1904, offenbar dank der Sicherheit der ersten behördlichen Vorschriften, etabliert.

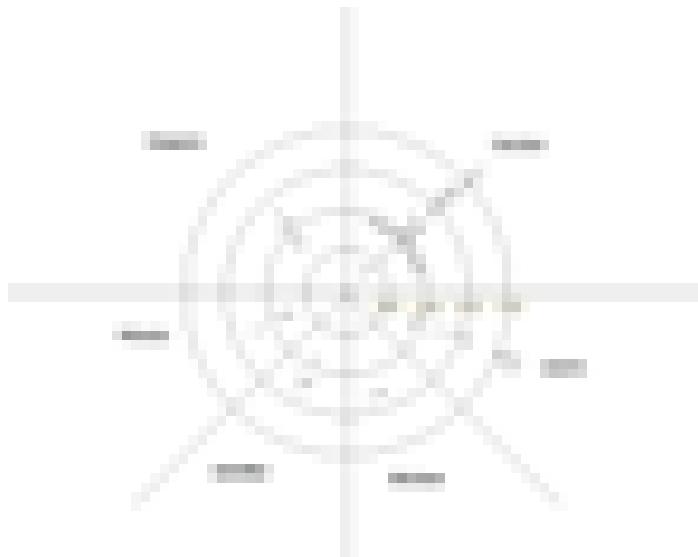
Zum anderen hatte die Veröffentlichung der *Monier-Broschüre* nicht nur für Wayss' Firma langfristige Folgen. Wayss und Koenen haben sich damit ein erstes Regelwerk für das Bauen mit Eisenbeton geschaffen. Die Verknüpfung der wissenschaftlichen Erkenntnisse aus den systematisch ausgewerteten Versuchsreihen mit der praktischen Bautätigkeit ist noch heute eine der maßgebenden ingenieurwissenschaftlichen Leistungen des ausgehenden 19. Jahrhunderts. Es war nun möglich, Bauteile zu planen, deren Tragfähigkeit mittels einer auf den Versuchsergebnissen basierenden Bemessungstheorie (Nachweis vereinfachter Spannungen) nachgewiesen werden konnten. Diese Bemessungstheorie wurde zur Grundlage einer Bauweise, die noch heute das weltweite Bauwesen prägt.

Der frühe Eisenbeton in Berlin – vier Phasen der Entwicklung

Im Rahmen eines laufenden Dissertationsvorhabens werden die in Berlin in der Zeit von 1880 bis 1918 erstellten Eisenbetonkonstruktionen in einer Datenbank erfasst. In einer aktuellen Auswertung der bisher untersuchten Objekte lässt sich der Beginn – diese ›regellose Zeit‹ der Eisenbetonbauweise in Berlin – in vier Phasen unterteilen (Abb. 1). Demgemäß kann eine erste ›Innovationsphase‹ eingegrenzt werden. Sie ist deutlich von den ersten Erkenntnissen der Bemessung und Realisierung von Eisenbetonelementen gekennzeichnet. Monier hat dabei nur den Anstoß gegeben. Das eigentliche Verständnis zum Bauteilverhalten lässt sich erst mit Koenen und Wayss in Berlin nachweisen. Diese Anfangszeit war vor allem geprägt durch die Realisierung einzelner einfacher Bauelemente (Abb. 2) und durch gebaute Kunstformen (wie beispielsweise der Musikpavillon, der im Folgenden näher betrachtet wird). Eine zweite ›Kombinationsphase‹ lässt sich ab 1892 erkennen. In dieser Phase wurden in den Bauprojekten verschiedene Elemente wie Wände und Decken kombiniert realisiert, allerdings ohne eine monolithische Verbindung. In der Zeit etwa zwischen 1895 und 1902 kam es in Berlin zu einem regelrechten Stillstand der Bautätigkeit mit Eisenbeton. Diese ›Stillstandsphase‹ kennzeichnet ein allgemein geringes Gesamtbauvolumen in Berlin. Erst durch den Einfluss von Hennebique erlangten die monolithischen Verbindungen von Eisenbetonelementen stärkere Verbreitung. Zeitlich spiegelt sich das in Berlin vergleichsweise spät, ab 1902, wider.¹¹ Monolithische

¹¹ Im Vergleich dazu war man in Leipzig und Straßburg deutlich schneller in der Anwendung der Erkenntnisse Hennebiques. Detailliertere Informationen zur Firma Hennebique und deren Tätigkeitsbereich im Deutschen Reich bei Kierdorf, Alexander: *Why Hennebique Failed in Germany. Strategies and Obstacles in the Introduction of a New Construction Technology*. In: Kurrer, Karl-Eugen; Lorenz, Werner; Wetzk, Volker (Hg.): *Proceedings of the Third International Congress on Construction History*. Brandenburg University of Technology Cottbus Germany 20th – 24th May 2009. Berlin 2009, S. 897–901 sowie Krieg, Stefan W., u. a. (Hg.) *Max Pommer. Architekt und Betonpionier*. Markkleeberg 2015.

*Abb. 2
Typologische Verteilung der in Berlin realisierten Eisenbetonelemente (Stand Sept. 2015)*



Konstruktionen wurden in Berlin erst nach der Jahrhundertwende gebaut. Somit lässt sich diese vierte ‚Vollendungsphase‘ in die Zeit nach 1902 einordnen.

Im Folgenden werden zwei Bauprojekte aus der ersten Innovationsphase näher beschrieben. Eine genauere Analyse tatsächlich realisierter Bauprojekte aus der Frühzeit des Eisenbetonbaus ermöglicht es, baupraktische Erkenntnisse, die sich aus der Realisierung ergeben haben, genauer darzustellen. Dennoch bleibt die Rekonstruktion der Anwendungspraxis ungenau, denn Details zur Bemessung sind zum Teil zwar schriftlich überliefert, aber auf die praktische Ausführung auf der Baustelle gibt es kaum zuverlässige Hinweise.

Der Musikpavillon in Hoppegarten – ein gebautes Experiment

Der Musikpavillon (Abb. 3) ist auf dem Gelände der Pferderennbahn Hoppegarten¹² zwischen 1887 und 1888 entstanden. Bedingt durch die geografische Nähe konnte die Berliner Firma G. A. Wayss in Zusammenarbeit mit dem Architekten Ferdinand Friedrich Heinrich Ludolff (1846–1906) hier einen frühen Eisenbetonbau realisieren, der in seiner Ausführung und Form deutlich aus Ludolffs Oeuvre herausragt. Im Gegensatz zu gemauerten Pavillonbauten erhoffte man sich eine bessere Resonanz durch die Anwendung »dünner, elastischer und organisch gefügter einheitlicher Wandflächen [...] wie es die aus Eisenrippen mit Cementumhüllung

¹² Auch wenn Huberti ihn als »eines der ersten Eisenbetonbauwerke in Berlin« bezeichnet, so war Hoppegarten immer eigenständig und gehört heute zum Land Brandenburg, s. Huberti, Günter (Hg.): *Vom Caementum zum Spannbeton*. Wiesbaden 1964, Bd. 1, S. 56.

sind«.¹³ Neben dem Musikpavillon entstanden im Rahmen des Projektes weitere Gebäude auf dem Rennbahngelände, auch der sogenannte Kaiserpavillon, in denen mehrere gewölbte Eisenbetondecken nach dem System Monier ausgeführt wurden.

Der Musikpavillon ist durch zwei Bereiche gekennzeichnet – erstens ein gemauertes Sockelgeschoss, das gleichzeitig als Garderobe diente und über eine Treppe mit der Bühne verbunden war. Zu den Fundamenten finden sich keine Angaben. Zweitens besteht der Pavillon aus einer Eisenbetonkonstruktion, die sich als eine Halbkuppel auf einem halbkreisförmigen Unterbau beschreiben lässt. Bei der Kuppel handelte es sich um eine außen vieleckige, durch acht Rippen verstärkte und innen runde Apsiden-Schale, die an der Stirnseite fein ausgearbeitet war. Diese fein ausgearbeitete Front kennzeichnete auch den Unterbau, unterhalb der Kuppel. Die Form der Kuppel beschrieb in der Ansicht einen Halbkreis, der sich vom Scheitel bis zur Oberkante der Bühne als gedachter Vollkreis mit einem Radius von 4 Metern fortsetzte. Bei einer Gesamthöhe von 11 Metern betrug die Mauerwerkssockelhöhe etwa 3 Meter. Die Bauteildicke der Kuppel variierte vermutlich zwischen 10 Zentimetern an der schmalsten sowie rund 20 Zentimetern an der breitesten Stelle (ohne Rippe). Die Gesamtbreite des Pavillons betrug 8 Meter. In der *Monier-Broschüre* wurden zum Objekt zwei Bewehrungsdetails, sowie zwei Grundrisse und eine Ansicht (Abb. 4) publiziert.¹⁴ Die Projektrealisierung war für das Frühjahr 1887 geplant, wobei das genaue Ausführungsdatum nicht recherchiert werden konnte. Der Pavillon ist heute nicht mehr vorhanden. Die Bemessung der Konstruktion ist nach aktuellem Stand nicht überliefert.¹⁵ In der *Monier-Broschüre* wurde unter anderem die Bemessung für ein Kuppelgewölbe veröffentlicht. Mit dem Hinweis auf Schwedler sollten »[d]ie Rundeisenstäbe [...] nach Richtungen der Trajektorien der Hauptspannungen eingelegt [werden], folgen also (nach der Schwedler'schen Theorie) den Meridianen und Parallelkreisen«.¹⁶ Die Bemessung einer Halbkuppel kann auf Grundlage dieser theoretischen Ansätze allerdings nicht durchgeführt worden sein, weist sie doch deutliche Unterschiede auf. So bedingt die Öffnung des Querschnitts nicht nur eine andere Lastverteilung, Vielmehr entstehen durch die Öffnung der Kuppel zusätzliche Winddruck- und -sogkräfte, die bei einer Bemessung hätten berücksichtigt werden müssen. Zum Ende des 19. Jahrhunderts gab es jedoch noch keine Bemessungstheorie für Eisenbetonkuppeln, vielmehr wurde das »Thema Kuppeln in den Raum der Sonderbetrachtungen« verwiesen.¹⁷ Erst mit den Schalenkonstruktionen der Firma Zeiss-Dywidag ab 1922, also etwa 30 Jahre später,

¹³ Wayss 1887 (Anm. 3), S. 99.

¹⁴ Wayss 1887 (Anm. 3), S. 100. Die genauen Abmessungen der Konstruktion sind nicht überliefert. Die im Text angegebenen Maße wurden durch Auswertung der Zeichnungen entwickelt.

¹⁵ Unklar ist, inwieweit Koenen an der Bemessung beteiligt war. Allerdings besaß er die Fachkenntnis und das Ingenieurverständnis, das die Realisierung dieser Konstruktion erforderte und in seiner Tätigkeit als Regierungsbaumeister hatte er mit Wayss bereits mehrere Aufträge zusammen bearbeitet. Wayss wollte ihn schon im Anschluss an die Zusammenarbeit bei der *Monier-Broschüre* an seine Firma binden. Jedoch wurde Koenen erst etwa 2 Jahre später technischer Direktor der Firma.

¹⁶ Wayss 1887 (Anm. 3), S. 31.

¹⁷ Schöne, Lutz: *Eisenbetonschalen zwischen 1898 und 1928*. Aachen 2011, S. 3.

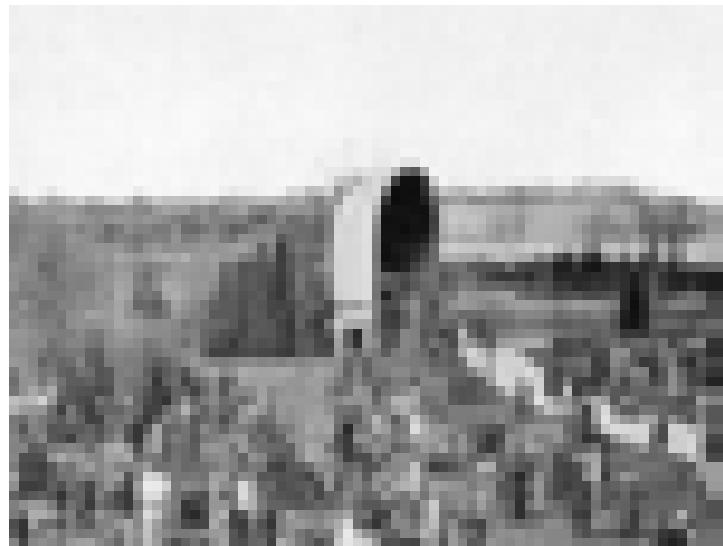


Abb. 3 Der Musikpavillon um 1900, Rennbahn Hoppegarten



Abb. 4 Bauzeitliche Konstruktionszeichnungen zum Musikpavillon



Abb. 5 Ausschnitt aus dem 3D-Modell, Detail der äußeren Verstärkungsrippe

wurden die »theoretisch-wissenschaftlich und die empirisch-konstruktiven Aspekte [einer Bemessungstheorie für Schalen] innovativ verschmolzen«.¹⁸ In Anbetracht dieser Umstände kann der Musikpavillon als ein bauliches Experiment bezeichnet werden.

Wegen der geringen Angaben in der bauzeitlichen Publikation (Abb. 4) ist es schwierig, die genaue Ausführung dieser bewehrten Konstruktion nachzuvollziehen. Durch Auswertung einer digitalen Rekonstruktion der Bewehrungsführung (Abb. 5) lässt sie sich wie folgt beschreiben: Die Bewehrung wurde in Richtung der Hauptspannungstrajektorien, also in Richtung der Meridiane und Parallelkreise,¹⁹ eingelegt. An den Kreuzungsstellen wurden die vertikalen Eisen mit den horizontal verlaufenden Eisen mittels Bindedraht verbunden, wobei die horizontal verlaufende Bewehrung in Abständen lagenweise eingebaut wurde. Der genaue horizontale Abstand zwischen den Bewehrungslagen ist nicht überliefert. Um die horizontalen Rundstäbe an der Stirnseite zu verankern, wurden zwei Flacheisen eingeplant, die, zusammen mit einem Abstandshalter, miteinander vernietet waren. Dadurch entstand ein Zwischenraum zwischen den Flacheisen, durch den die Bewehrungseisen durchgeführt und mit aufgebogenen Enden an den Flacheisen verankert werden konnten. Vor allem im Bereich der oberen Stirnseite ist zu vermuten, dass ein Teil der vertikalen Bewehrung über die Höhe verteilt bereits vor der Front endete. Wegen der dadurch reduzierten Anzahl an Bewehrungseisen musste nur ein geringer Anteil der Stäbe durch die Flacheisen hindurchgeführt und verankert werden. Bei der Erstellung der Rekonstruktion wurde deutlich, dass sich das Frontdetail nicht einfach in

¹⁸ Ebd., S. 101.

¹⁹ Wayss 1887 (Anm. 3), S. 31.

den Grundriss der Bühne einfügen lässt. Die Rundung muss in den Innenkreis übergehen, der durch die aneinandergesetzten Rippendetails entsteht. Dadurch würde aber an der Außenseite ein Knick entstehen und die Front seltsam schief im Grundriss einbinden. Begradiert man dies, so entsteht der Knick im Innenkreis, was ebenfalls baupraktisch schwierig zu lösen gewesen wäre. Somit ist zu vermuten, dass vor Ort die Bewehrungsführung ausgehend von den Bewehrungszeichnungen noch einmal angepasst wurde, um so eine optimale Geometrie zu erzeugen. Eine Auswertung historischer Fotografien zur Oberflächengestaltung der inneren und äußeren Kuppeloberfläche hat sich bisher jedoch als schwierig erwiesen, da die Aufnahmen entweder nicht detailreich genug, zu weit entfernt oder aber die Auflösungen zu grobkörnig sind.

Der Bautyp des Musikpavillons ist nicht eindeutig definiert. Bauzeitlich gab es unterschiedliche Ausführungsvarianten in Holz und Mauerwerk. In der Entwurfsbeschreibung wird die Entscheidung, den Pavillon in Eisenbeton zu realisieren, mit einer besseren Akustik begründet.²⁰ Allerdings ist nicht überliefert, ob dies wirklich einen positiven Effekt auf den Klang hatte. Bei der Konstruktion handelt es sich im Grunde um ein Schalentragwerk, dessen eigentliches Tragverhalten erst rund 30 Jahre später theoretisch verstanden wurde. Die fehlenden behördlichen Regelungen waren dabei vermutlich ein Vorteil, der eine bauliche Umsetzung überhaupt erst ermöglicht hat. Es bleibt fraglich, inwieweit Koenen an der Bemessung beziehungsweise der Ausführung beteiligt war. Ebenso kann nicht nachgewiesen werden, inwieweit die Bewehrung zur planmäßigen Kraftaufnahme positioniert wurde, oder ob nicht vielmehr die Formgebung die Bewehrungsführung definiert hat. Dieses Gebäude blieb singulär in dem Ausführungskanon der Firma G. A. Wayss. Es handelte sich offenbar um einen Experimentalbau, der auch aus dem Rahmen des Bauprogrammes auf dem Rennbahngelände fiel.

Die Gärhausdecke in Prenzlauer Berg – mit der Sicherheit der eigenen Bemessungstheorie

Im Jahr 1887 war die Schultheiß-Brauerei ein erfolgreiches Unternehmen in Berlin. Die Firma expandierte am Standort Schönhauser Allee 36–39B in Berlin Prenzlauer Berg mit Unterstützung des Architekten Franz Heinrich Schwechten (1841–1924). Er entwarf einen Gebäudekomplex für das rund 20 000 Quadratmeter umfassende Firmengelände, inklusive Lagerflächen und Schankwirtschaft. Die äußere Architektur der Gebäude zeichnet sich durch einen einheitlichen neoromanischen Stil aus, dessen bestimmendes Element gelbe Back- und Sandsteine sind. Die Einheitlichkeit des Gebäudeensembles kennzeichnet bis heute diesen Industriekomplex in Berlin (Abb. 6).

Im Rahmen der Hochbauarbeiten wurde die Firma G. A. Wayss beauftragt, in einigen Gebäuden die Decken im Monier System auszuführen. Dabei gab es verschiedene Ausfüh-

²⁰ Wayss 1887 (Anm. 3), S. 99.



Abb. 7 Auszug aus der Originalstatik zur Gärhausdecke

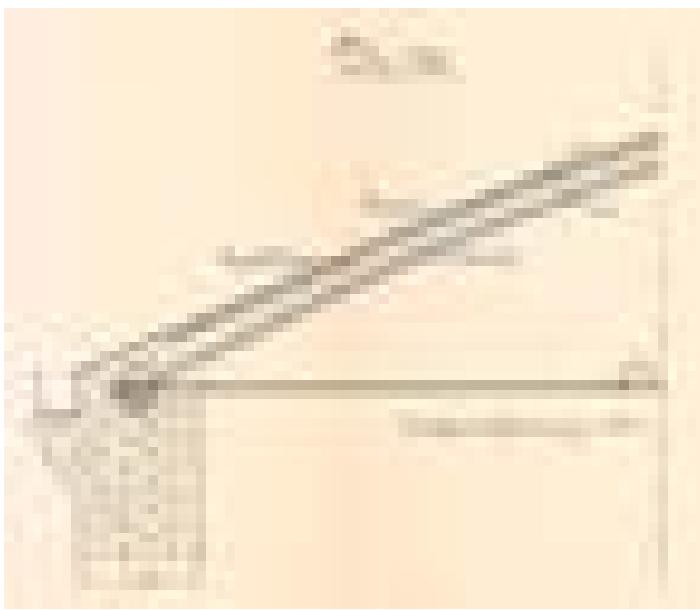


Abb. 8 Detail der Konstruktionszeichnung der Gärhausdecke

rungarten. Die Auswertung der Angaben einer Firmenbroschüre der Firma G. A. Wayss von 1889²¹ und von Konstruktionszeichnungen, die im Landesarchiv Berlin archiviert sind, liefert Hinweise auf ein sogenanntes Monier-Isoliergewölbe.²² Zu dieser Art Decke finden sich in den Bauakten des Bauaktenarchivs Berlin Pankow-Prenzlauer Berg jedoch keine detaillierteren Informationen. Dort sind Akten von 1889 und 1892 überliefert, die eine Bemessung für ein Kreuzgratgewölbe aus Eisenbeton und eine gewölbte Monier-Decke über einem Gärhaus²³ beinhalten. Für letztere ist neben der handschriftlichen Statik von Koenen (Abb. 7) auch eine Konstruktionszeichnung überliefert. Beide Archivalien sind mit einem Stempel der Firma G. A. Wayss versehen.

Von den drei vorgenannten Ausführungsarten ist nach aktuellem Stand nur noch die Gärhausdecke vorhanden. Als »Dachkonstruktion über dem Obergeschoß des Gärkellers der Schultheiß Brauerei«²⁴ war die Decke auf der Oberseite mit Gipsdielen verkleidet, die wiederum mit einer Doppellage vermutlich bituminierter Pappe abgedeckt worden waren. Bei der Konstruktion handelt es sich um eine gewölbte Decke in Tonnenform (Abb. 8) mit einer Spannweite von 18,3 Metern. Die Bauteilhöhe der Deckenplatte variiert von 5 Zentimetern im Scheitel bis zu etwa 20 Zentimetern im Bereich der Wandaufklager. Die Decke weist eine kreuzweise eingelegte Bewehrung auf, deren Dimension in der Konstruktionszeichnung nicht vermasst wurde. Zur Aufnahme der durch den Gewölbeschub hervorgerufenen Horizontalkräfte wurden im Kämpferbereich eiserne Anker eingeplant.²⁵

Das Vorliegen der bauzeitlichen Statik erlaubt einen direkten Vergleich mit der ersten Bemessungstheorie, die Koenen kaum zwei Jahre vorher in der *Monier-Broschüre* veröffentlicht hat. Es ist zwar an sich nicht ungewöhnlich, eine Bemessung im Einzelfall den vorhandenen Randbedingungen entsprechend zu justieren. Interessant ist aber, dass Koenen, offenbar mit zunehmender Erfahrung, seine theoretischen Bemessungsannahmen verändert hat. So wurden nicht nur die Eingangswerte neu festgelegt, auch bei den Werten zur statischen Höhe kam es zu Anpassungen.

21 Wayss, Gustav Adolf: *Verzeichnis ausgeführter Arbeiten nach dem System Monier und in Stampfbeton*. Berlin 1889, S. II.

22 Das Monier-Isoliergewölbe wurde mit einer maximalen Spannweite von 6,50 m und einer Plattendicke von 4,5 cm geplant. Diese Deckenart war offenbar aus zwei bewehrten Deckenplatten, ähnlich einem Sandwich, aufgebaut, wobei der Zwischenraum mit einem Dämmmaterial (beispielsweise Koksasche) ausgefüllt war. Insgesamt wurden nach Wayss »rund 1000 qm« davon ausgeführt.

23 Bauaktenarchiv Berlin Pankow-Prenzlauer Berg, Bauakte Schönhauser Allee Nr. 36/39, Band 14, 1889–1890.

24 Ebd.

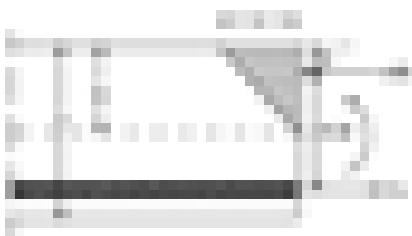
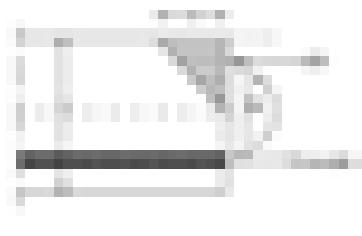
25 Die Decke sieht heute, im Gegensatz zu dem überlieferten Plan, etwas anders aus. So fehlen die in der Zeichnung dargestellten Zuganker, die im Abstand von 1,5 m eingebaut waren. Deutlich sichtbar sind heute dafür rechteckige Metallplatten mit den Abmessungen von 10/30 cm, die in einem Raster von 1,0–1,5 m über die Decke in Längs- und Querrichtung verteilt sind. Aus diesen Metallplatten stehen raumseitig die Enden von zwei Gewindestangen heraus, die jeweils mit einem Abstandhalter und einer Mutter verankert sind. Dabei handelt es sich um eine Abhängung der Decke, die bei dem Ausbau der Zuganker während der letzten Sanierungsphase (ab 1998) notwendig wurde. Die Abhängungen sind in eine neue, ebenfalls gewölbte Stahlbetondecke eingebaut, die über der historischen Decke ausgeführt wurde.

Im Folgenden wird die Handrechnung der Gärhausdecke näher erläutert und dann dem Ansatz in der *Monier-Broschüre* gegenübergestellt. Der statische Bauteilnachweis der Gärhausdecke ist kurz. Als Eigenlast wurden 230 kg/m^2 inklusive einer Gipsdielenlage und einer doppelten Pappe angesetzt.²⁶ Als Verkehrslasten wurden nur 100 kg/m^2 gewählt, da es sich bei der Konstruktion um eine raumabschließende Decke nach außen handelte, die nicht zusätzlich mit Auflasten belastet werden sollte. Nach Ermittlung der lotrecht einwirkenden Lasten bemaß Koenen den maximal angreifenden Horizontalschub im Scheitel an der Stelle der geringsten Querschnittshöhe ($d = 5 \text{ Zentimeter}$) unter gleichmäßiger Auflast (Eigengewicht und Verkehrslast). Die dadurch entstehenden Druckspannungen wurden angegeben, aber nicht weiter kommentiert. Mit Verweis auf die zu den Auflagern hin größer werdende Plattendicke wurde kein weiterer Nachweis geführt. Des Weiteren erfolgte der Nachweis bei einseitig wirkender Verkehrslast im Viertelpunkt der Spannweite und einer dortigen Querschnittshöhe von 12 Zentimetern . Hierbei wurden der Horizontalschub und das anstehende Biegemoment berechnet. Die dadurch entstehenden Spannungen wurden zu einer Gesamtspannung addiert beziehungsweise subtrahiert. Sowohl die Druck- als auch die Zugspannungen lagen unter den genannten Vergleichswerten für die zulässigen Spannungen. Damit war nach Koenen der Nachweis des Querschnitts erbracht. Für die zulässige Betondruckspannung wurde auf die damals gültige Bau-Polizeiverordnung verwiesen, die einen Wert von 30 kg/cm^2 vorgibt. Die zulässige Zugspannung des Schmiedeeisens wurde auf 750 kg/cm^2 festgelegt. Als ein weiterer Materialparameter wurde in der Statik das Mischungsverhältnis für Zement und Zuschlag des Betons mit eins zu drei vorgegeben.²⁷ Für die Bemessung der notwendigen Eisenquerschnitte bediente sich Koenen der Formel für einen ebenen, einfach bewehrten Plattenquerschnitt. Die der Statik beigelegte Skizze definierte den Hebelarm der inneren Kräfte zu zwei Dritteln des Querschnitts und die Spannungsnulllinie in Querschnittsmitte. Als Ergebnis wurde die notwendige Hauptbewehrung mit einem Durchmesser von 10 Millimetern und einem Abstand von 7 Zentimetern zwischen den Eisen ermittelt. Die Ermittlung der Bewehrungsmenge in Nebentragsrichtung wurde nicht separat nachgewiesen. Hier wählte Koenen offenbar konstruktiv eine Bewehrung von 5 Millimetern Durchmesser, die im Abstand von 7 Zentimetern angeordnet wurde. Im Folgenden ist zur besseren Übersicht die Berechnung der Handstatik den Angaben aus der *Monier-Broschüre* gegenübergestellt.

²⁶ Im Vergleich dazu gibt Bargmann 330 kg/m^2 für Monierdecken an, wobei diese Konstruktion eine Schlockeauffüllung und eine zusätzliche Estrichschicht beinhaltet, s. Bargmann, Horst: *Historische Bautabellen*, 4. Auflage. Köln 2008, S. 66.

²⁷ Bauakte Bd. 14, 1889 (Anm. 23).

Berechnungsansatz nach <i>Monier-Broschüre</i> 1887 ²⁸	Berechnungsansatz in der Bauakte Schultheiß-Brauerei 1889 ²⁹
Lastannahmen	
	<p>Spannweite $l = 18,3$ m Pfeilhöhe $h = 230$ cm Gewölbestärke im Scheitel $d_o = 5$ cm bei $l/4$ $d = 12$ cm</p> <p>Belastung pro m^2 mobile Belastung aus Schnee und Wind 100 kg Eigengewicht der Monierkappe 22 kg/m^2 Gewölbestärke auf 1 cm Höhe also bei 9 cm mittl. Stärke $9 \cdot 22 = 198$ kg Eindeckung mit 5 cm starken Gipsdielen und Pappe 32 kg</p> <p>Insgesamt = 330 kg/m^2</p>
Volle gleichmäßig verteilte Belastung	
<p>Der Ansatz unterscheidet hinsichtlich der Gewölbeform der Decke:</p> <ol style="list-style-type: none"> Parabelbogen > Berechnung der Druckspannungen unter Anrechnung der Bewehrung. Kreisbogen > Überlagerung von Druck- und Biegespannungen unter Anrechnung der Bewehrung. 	<p>Koenen gibt in der Statik die Gewölbeform nicht genau an, ein Kreisbogen ist eigentlich offensichtlich. Dennoch wählt Koenen den vereinfachten Nachweis für einen Parabelbogen. Er weist die Betondruckspannungen im Scheitel unter Vernachlässigung der Bewehrung nach.</p>
Einseitig verteilte Belastung	
<p>Keine Unterscheidung der Bogenform. Die Bestimmung der vorhandenen Spannung bei erhöhter Belastung erfolgt ohne Anrechnung der Bewehrung.</p> <p>Die Angaben in der Monier-Broschüre enden hier.</p>	<p>Der Nachweis der Betondruckspannungen erfolgt bei einseitig erhöhter Belastung. Mit Verweis auf die Bau-Polizeiverordnung wird die zulässige Betondruckspannung mit 30 kg/m^2 angegeben. Die Bemessung des notwendigen Eisenquerschnitts erfolgt unter An- satz der zulässigen Eisenzugsspannung von 750 kg/m^2. Der gewählte Eisenquerschnitt ist etwa doppelt so groß. Die Querbewehrung wird nicht separat bemessen.</p>

Berechnungsansatz nach <i>Monier-Broschüre</i> 1887	Berechnungsansatz in der Bauakte Schultheiß-Brauerei 1889
Festlegungen zum Spannungsverlauf im Querschnitt	
	
Hebelarm der inneren Kräfte rd 3/4d »[...] rd. [...]« steht hier sehr wahrscheinlich als Abkürzung für rund. ³⁰ Lage der Spannungsnulllinie: 1/2a	Hebelarm der inneren Kräfte 2/3 d Lage der Spannungsnulllinie: 1/2a

Bei der Gärhausdecke handelt es sich um eine einfach gekrümmte, flache Deckenkonsstruktion, die mit rund 18 Metern Spannweite deutlich über den Dimensionen der Bauteilversuche von 1887 und den vertafelten Deckenspannweiten der *Monier-Broschüre* (maximal 12 Meter) liegt.³¹ Zur Bauzeit löste sich Koenen somit von den gesicherten Versuchsergebnissen der *Monier-Broschüre* und findet für seine Bemessungstheorie eine neue Anwendungsbreite. Angefangen bei den Lastannahmen ist der Detaillierungsgrad in der Handstatik zwar höher als in der Monier-Broschüre, dennoch gibt es weiterhin Unklarheiten. Beispielsweise ist eine Angabe zur Bogenform der Gärhausdecke nicht eindeutig überliefert. Von Koenen wurde ein Parabelbogen bemessen, wobei nach Auswertung der Konstruktionszeichnung eher eine Kreisbogenform vorgelegen haben müsste. Welche Form

28 Wayss 1887 (Anm. 3), S. 28.

29 Bauakte Bd. 14, 1889 (Anm. 23).

30 »[...] rd. [...]« steht hier als Abkürzung für rund, s. Pauser, Alfred: *Eisenbeton 1850–1950*. Wien 1994, S. 43

31 Bei Christophe wird diese Art der Decke 1905 bereits als eine typische Hallenüberdeckung mit einer Spannweite von bis zu 20 m aufgeführt, s. Christophe, Paul: *Der Eisen-Beton und seine Anwendung im Bauwesen*. Übersetzung der 2. Französischen Aufl. von Le béton armé et ses applications. Berlin 1905, S. 151.

letztendlich ausgeführt wurde, konnte im Rahmen der Bearbeitung noch nicht eindeutig bestimmt werden. Es bleibt fraglich, inwieweit Koenen von seinen eigenen Vorgaben in der *Monier-Broschüre* abgewichen ist, in der er umfangreich den Einfluss der Bogenform thematisiert hatte. Weiterhin variierte Koenen die statische Höhe. Während in der *Monier-Broschüre* noch drei Viertel der Querschnittshöhe maßgebend waren, reduzierte sich dieser Wert in der Rechnung von 1889 auf zwei Drittel, ohne dass eine Anpassung der Spannungsverteilung erfolgt wäre. Koenen skizzierte die resultierende Betondruckkraft weiterhin im Drittelpunkt des Spannungsdreiecks angreifend und ging dabei von einem linearen Spannungsverlauf im Betonquerschnitt aus. Es ist anzunehmen, dass er die Betondeckung entsprechend erhöhte, allerdings findet sich dazu keine genaue Angabe.

Unabhängig von den Überlegungen zum Eisenbeton fällt ein weiterer Sachverhalt auf: In den Archivunterlagen findet sich kein Hinweis auf die Berechnung der Zuganker. Der Abstand der Zuganker ist in der Konstruktionszeichnung zwar angegeben, aber sowohl der Querschnitt als auch der Abstand wurden scheinbar rein konstruktiv gewählt.

Fazit

Die hier präsentierten Beispiele datieren in die Anfangszeit des Eisenbetons in Berlin. Trotz der teilweise lückenhaften Dokumentation gelingt eine detailliertere Auseinandersetzung mit den ersten theoretischen Grundlagen. Es gelang Koenen in dieser für den Eisenbeton regellosen Zeit, basierend auf den Materialversuchen von Wayss, einen ersten Bemessungsansatz zu formulieren. Die *Monier-Broschüre* wurde damit zu einem Grundlagenwerk mit normativem Charakter. Auch bedingt durch die gewählten Beispiele fanden Koenens Erkenntnisse direkte Anwendung, nicht nur in der deutschen ingenieurwissenschaftlichen Baupraxis.³² Die hier vorgestellten Bauten werfen nur zwei Streiflichter auf die zahlreichen Bauprojekte, die in der direkten Zusammenarbeit von Wayss und Koenen in Berlin entstanden sind. Trotz fehlender Bemessungsvorgaben und wenig detaillierter Ausführungshinweise waren beide Ingenieure von der Leistungsfähigkeit des Baustoffs überzeugt. Sie haben fehlendes Wissen durch experimentelle Versuche kompensiert und durch die Realisierung von Bauwerken weitere Erfahrungen gesammelt. Sie haben sich somit ihre eigenen Regeln definiert. Aus heutiger Sicht waren diese in der Anfangszeit noch unzulänglich, aber sie zeigen ein erstes Verständnis für den Baustoff. Es ist zu hoffen, dass im Verlauf der Untersuchung noch weitere, besser dokumentierte Beispiele zu Tage treten werden, deren Auswertung zu einem vertieften Verständnis der frühen Berliner Eisenbetonbauten beitragen können.

³² Die *Monier-Broschüre* ist zwar nur in der deutschen Auflage erschienen, dennoch fand damals ein intensiver fachlicher Austausch zwischen den Ländern Kontinentaleuropas statt. Dieser kontinuierliche, gern streitbare aber dennoch fachlich niveauvolle Austausch hat maßgebend dazu beigetragen, die Bauweise weiterzuentwickeln, sowohl in ihrer baupraktischen Ausführung als auch im theoretischen Verständnis ihrer Wirkungsweise.