

Zylindrisches Schalengewölbe

Autor(en): **Finsterwalder, U.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH
Kongressbericht**

Band (Jahr): **2 (1936)**

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-2821>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

IVa 1

Zylindrisches Schalengewölbe.

Les voiles cylindriques.

Cylindrical Shell Structures.

Dr. Ing. U. Finsterwalder,
Berlin.

Die Konstruktion der Schalendächer ist in den letzten Jahren in zweierlei Richtung beeinflusst worden:

1. durch die Erkenntnis von den plastischen Eigenschaften des Betons und
2. durch das Bestreben, in den Zuggliedern die Betonzugzonen möglichst auszuschalten.

Seit der Erfindung der Schalendächer wurde daran gearbeitet, durch eine Verbesserung der theoretischen Erkenntnisse eine möglichst sichere Grundlage für die vielfach sehr kühnen Konstruktionen zu erhalten. Wie Herr Professor *Dischinger* in seinem Referat dargestellt hat, ist es auch gelungen, den Spannungszustand mit großer Vollkommenheit zu beschreiben. Eine wichtige Voraussetzung bleibt allerdings das Vorhandensein eines elastischen Konstruktionsmaterials von den der Rechnung zugrunde gelegten Eigenschaften.

Hier stützte man sich zunächst auf die Angaben der amtlichen Vorschriften, nach welchen man für die Rechnung ein $E = 210000 \text{ kg/cm}^2$ zugrunde zu legen hatte. Dieser Wert wurde durch Messungen beim Ausrüsten kontrolliert, wobei sich durchwegs kleinere Formänderungen als die errechneten zeigten. Man schloß daraus auf einen höheren Elastizitätsmodul und eine gegenüber der Rechnung größere Knicksicherheit.

Tatsächlich stellt sich jedoch heraus, daß die Formänderungen im Laufe der Zeit sehr beträchtlich, ja manchmal um ein Mehrfaches ihres ursprünglichen Wertes zunehmen. Diese Zunahme der Formänderung tritt durchaus nicht immer im Anschluß an das Ausrüsten der Konstruktion auf, sondern im wesentlichen in der warmen Jahreszeit mit dem Einsetzen der Sonnenbestrahlung und dem Austrocknen des Betons. Im Winter dagegen ist meistens nur eine geringe Bewegung festzustellen. Trotz des Absinkens des Moduls der Formänderung für die ständige Last zeigt sich eine erhöhte Steifigkeit gegenüber vorübergehenden Belastungen. Der eigentliche Elastizitätsmodul ist also größer geworden. Wenn man die ständige Last wieder entfernen würde, dann ginge die Formänderung nur mit diesem eigentlichen Elastizitätsmodul zurück, während der größte Teil verbleiben würde. Es ist also eine Änderung der Ausgangsform eingetreten.

Diese Erscheinung ist für Schalenkonstruktionen insofern wichtig, als man bei besonders weit gespannten und im Vergleich zur Krümmung dünnwandigen Aus-

führungen an die Grenze kommen kann, bei welcher durch die Verbiegung die Ausgangsform beträchtlich abgeändert wird. Es ist das für die Schale der analoge Fall wie für die ebene Platte mit großer Ausbiegung. Von einem gewissen Verhältnis von Krümmung und Wandstärke ab, welches von der Größe der Biegungsspannungen abhängt, muß die Schale durch Rippen versteift werden, in ähnlicher Weise, wie man bei einer ebenen Konstruktion von der Platte auf die Rippendecke übergeht.

Die Biegungsspannungen der zylindrischen Schalen können durch das bekannte Mittel der korbogenartigen Einkrümmung des Querschnitts vermindert werden. Hierdurch erhält man in der Gegend der Ränder, in welcher die Biegungsspannungen hauptsächlich auftreten, kleine Krümmungsradien, bei welchen eine Verbiegung nichts ausmacht. Die Scheitelpartie mit ihren großen Radien bleibt dagegen frei von Verbiegungen.

Je nach der Beanspruchung wird die Schale durch Querrippen in der Wölb-richtung bzw. bei noch flacheren Krümmungen durch Quer- und Längsrippen ausgesteift. Der Abstand der Rippen richtet sich nach der Knickgefahr der zwischen den Rippen liegenden Schale, welche das Bestreben hat, in kurzen Wellen zu knicken. Da auf die Länge einer Welle der Stich der Wölbung sehr klein ist, wird auf den günstigen Einfluß der Wölbung verzichtet und nur mit der Sicherheit einer ebenen, in ihrer Fläche gespannten und an den Rändern festgehaltenen Platte gerechnet. Die Höhe der Rippen wird so gewählt, daß gefährliche Verbiegungen infolge der Kriecherscheinungen ausgeschlossen sind und außerdem für die gerippte Schale zwischen den Bindern eine genügende Knicksicherheit gewährleistet ist.

Auf dieser Grundlage wurden für Flugzeughallen gewaltige Gewölbe bis zu 60 m freier Trägerspannweite und 45 m Gewölbespannweite mit ganz flachen Krümmungen ausgeführt. Die Fig. 1 zeigt eines dieser Gewölbe in seiner charakteristischen einseitigen Form, wie sie sich als möglichst einfache Lösung der gestellten Aufgabe ergibt. Ein nach dem Flugplatz geöffnetes Viereck von zwei-stöckigen Werkstatt- und Büroanbauten soll möglichst flach überdeckt werden unter Einhaltung einer freien Torspannweite von 50 m. Entgegen der üblichen Anordnung ist das Gewölbe quer zur Toröffnung gestellt, so daß der Schalenträger mit seinem großen Trägheitsmoment die freie Toröffnung überspannt. Nach hinten ist er auf die Höhe der Anbauten heruntergezogen und liegt auf einer Reihe dünner Pendelstützen auf. Der rückwärtige Anbau erhält also durch das Gewölbe keinerlei horizontale Kräfte. An den Stirnwänden bzw. am Mittelbinder wird der gewaltige Horizontalschub des Gewölbes zusammengehalten. Zu diesem Zweck ist an den Stirnwänden eine Verstärkung des Gewölberandes als Zuggurt ausgebildet, welcher sich auf die Säulen des Wandfachwerkes auflegt. Der Mittelbinder ist als Zweigelenkrahmen mit einem im Boden liegenden vorgespannten Zugband konstruiert. Seine Belastungsbreite ist gleich der Torspannweite eines Feldes, d. h. im vorliegenden Fall 50 m. Er ist zwecks Schaffung einer Ausdehnungsmöglichkeit als Doppelbinder ausgebildet. Das Gewölbe wird durch dünne Rippen in Abständen von 3,60 m ausgesteift. Durch diese Rippen können auch Einzellasten von Kranbahnen in das Gewölbe eingeführt werden. Je nach den angehängten Lasten, welche bei ausgeführten Hallen bis zu 35 t betragen, werden die Rippen auch stärker ausgebildet.

Die Berechnung der Spannungen für die Einzellasten erfolgt nach der strengen Schalentheorie durch Annäherung der Einzellast mit Hilfe von Fourier'schen Reihen. Durch Messung der Deformation am fertigen Bauwerk konnten die Resultate der Rechnung bestätigt werden.

Die Tragfähigkeit der Schale für Einzellasten ist erstaunlich groß. Sie erklärt sich daraus, daß die Bogenrippe die Last durch Biegung auf eine große Breite verteilt, so daß sie von dem Schalenträger mit einem günstigen Hebelarm der inneren Kräfte nach den Bindern übertragen wird. Die unter der Last auftretenden allseitigen Druckspannungen überlagern weitgehend die Biegun-
zugspannungen.

Der Einfluß des Kriechens auf die Konstruktion wurde ebenfalls untersucht. Da die hocharmierten Konstruktionsteile der Ränder durch das Kriechen weniger

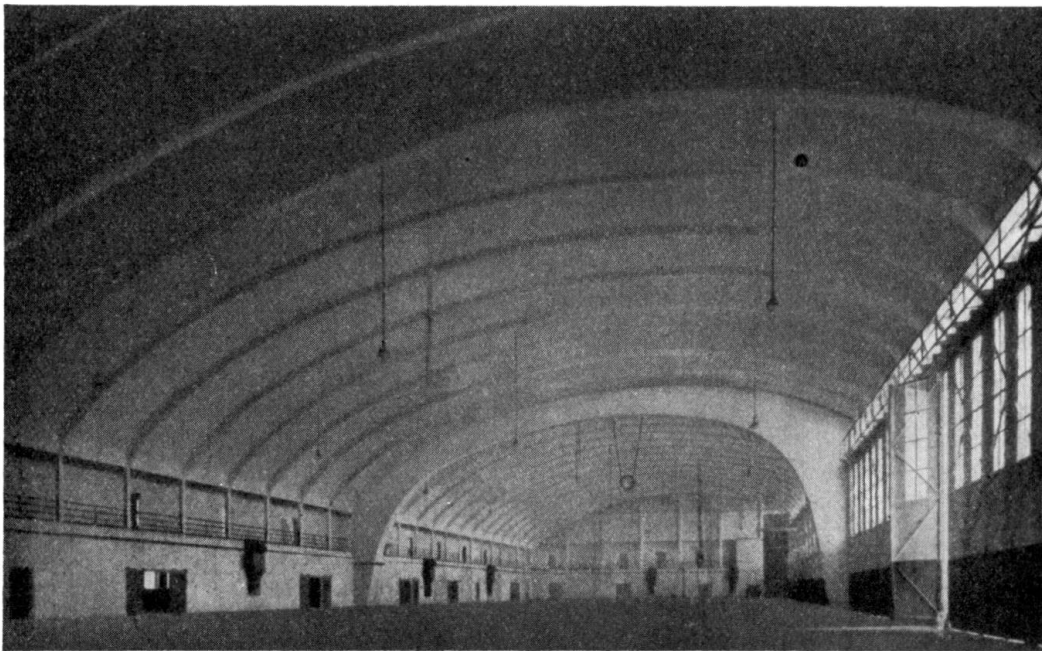


Fig. 1.

Flugzeughalle 35×100 m Grundriß.

beeinflusst werden als die übrigen Teile der Schale, ergeben sich nicht unerhebliche Spannungsverlagerungen. Sie wurden mit guter Annäherung dadurch erfaßt, daß die Rechnung mit einem auf 100000 kg/cm^2 herabgesetzten Modul der Formänderung ein zweites Mal durchgeführt wurde. Es zeigte sich sowohl in der Theorie als auch in der Praxis, daß der Gewölbescheitel nachträglich mehr einsinkt als der Randträger, der annähernd auf gleicher Höhe bleibt.

Die Konstruktion des Randträgers über dem Tor ist eine in gleicher Weise schwierige wie interessante Aufgabe. Erstens muß durch den Randträger die ganze Belichtung der Halle erfolgen, denn das hochliegende einseitige Licht erzeugt die auffallend gleichmäßige Belichtung des Raumes. Zweitens hat dieser Randträger neben seiner vertikalen Belastung als Zugglied des Schalenträgers eine Zugkraft von rd. 1000 t aufzunehmen, die vom Auflager bis zur Feldmitte parabolisch anwächst.

Gerade in Bezug auf die Lichtführung wurden an diesen Hallen wertvolle Erkenntnisse gesammelt, die darauf hinauslaufen, daß man mit einer wesentlich kleineren Fensterfläche den gleichen Lichteffect erzielt wie bei den üblichen ringsum laufenden Lichtbändern. Eine Hauptursache liegt in der Verminderung der Blendwirkung, die dem Auge gestattet, die vorhandene Lichtfülle wirklich aufzunehmen, eine zweite Ursache sind die hellen Gewölbeflächen, welche, soweit sie tiefer als das Lichtband liegen, direktes Licht erhalten und gerade in den



Fig. 2.

Fachwerkträger über dem Tor nach der Ausrüstung.

rückwärtigen Teilen der Halle eine sehr wirksame zusätzliche Lichtquelle bilden. Es wurde so erreicht, daß bei 12 % Lichtfläche und 45 m Hallentiefe bei geschlossenen Toren feinmechanische Arbeiten ausgeführt werden können.

Die konstruktive Lösung für den Randträger erfolgt durch Anordnung eines Eisenbetonfachwerkträgers besonderer Konstruktion. Fachwerkträger wurden im Ausland mehrfach ausgeführt, indem man ähnlich wie im Stahlbau die Nebenspannungen des Trägers vernachlässigte. In Deutschland sind solche Konstruktionen nicht durchführbar, da die Einhaltung der zulässigen Beanspruchungen bei Einschluß aller Nebenspannungen verlangt wird. Weiterhin ist die Verankerung von Eisen in Zugzonen unzulässig. Diese erschwerenden Bedingungen werden dadurch erfüllt, daß die Zugstäbe des Fachwerkträgers erst nach dem Ausrüsten ummantelt werden (Fig. 2). Da die Zugstäbe als Bündel von Rundeisen ausgeführt sind, können sie die erforderlichen Winkeldrehungen zwanglos mit-

machen. Außer den Nebenspannungen konnten durch dieses Verfahren auch die Betonzugspannungen weitgehend vermindert werden, obwohl für die Zugglieder hochwertiger Stahl mit 2100 kg/cm^2 Spannung verwendet wird. Als System für den Fachwerkträger werden Zugdiagonalen und Druckpfosten verwendet, welche harmonisch in die Aussteifungsrippen der Schale einlaufen. Sie haben die Nebenaufgabe, die Winddrücke der Torfront in das Gewölbe einzuführen. Für die Zugstäbe werden starke Rundeisen in geringer Zahl verwendet, die in den betonierten Knotenpunkten mittels Muttern und Platten verankert werden. In jedem Knoten wird die gesamte Kraft der Diagonale verankert, nachdem sie in einem schlanken Bogen durch den Knoten geführt worden sind. Die Gegenkraft des Untergurtes wird ebenfalls durch den Knoten geführt und auf der anderen Seite

verankert. Hierdurch steht der Knotenpunkt unter starker Druckspannung und ist befähigt, den Ausgleich der Stabkräfte vorzunehmen. Bei der Verankerung der Kräfte wird der schmalen Diagonale der innere Teil des Knotens und dem breiteren Untergurt der äußere Teil zugewiesen. Die Bewehrungseisen lassen sich deshalb ohne Schwierigkeit verlegen. Zur Vermeidung von unerwünschten Exzentrizitäten werden eiserne Montageplatten eingebaut, so daß eine große Genauigkeit der Ausführung gewährleistet ist. Aus diesem Grunde können die Pfosten so schlank ausgeführt werden, daß sie aus den Nebenspannungen keine Biegezugspannungen erhalten.

Die Wirtschaftlichkeit des Fachwerkträgers ergibt sich neben der Ausnützbarkeit des hochwertigen Stahls aus der beträchtlichen Ersparnis an Gewicht bei einer gleichzeitigen Steigerung der Steifigkeit nach jeder Richtung. Die für Schalenträger möglichen Spannweiten können durch die Anwendung des Fachwerkträgers beträchtlich vergrößert werden.

Aus der Fülle der in den letzten Jahren erfolgten Ausführungen von Schalendächern habe ich das beschriebene Beispiel ausgewählt, weil es das in Deutschland entwickelte System des zylindrischen Schalengewölbes in einer besonders einprägsamen Form und Größe zeigt. Mit jeder Steigerung der Größe und Schwierigkeit der Bauaufgaben müssen wir unsere Kenntnisse über die theoretischen Grundlagen, die Arbeitsmethoden und nicht zuletzt über das Konstruktionsmaterial vertiefen. Gerade in der Kenntnis des Materials haben wir aus dem Ausland sehr wertvolle Anregungen erhalten. Es ist zu hoffen, daß dieser Nutzen ein gegenseitiger ist und zur Bereicherung der Ingenieurkunst beiträgt.