Die Kragschalenkonstruktion des Stadions Lehen in Salzburg

Autor(en): **Oberndorfer, Wolfgang**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE publications = Mémoires AIPC = IVBH Abhandlungen**

Band (Jahr): **34 (1974)**

PDF erstellt am: **30.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-26275

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Die Kragschalenkonstruktion des Stadions Lehen in Salzburg

The Cantilever Roof Construction of the Lehen Stadium at Salzburg, Austria

La construction du toit en porte-à-faux du stade de Lehen à Salzbourg, Autriche

WOLFGANG OBERNDORFER
Dr. Dipl.-Ing., Linz

A. Allgemeines

Beim Neubau des Stadions Lehen im Herzen von Salzburg in den Jahren 1969 bis 1971 wurde beschlossen, die Zuschauertribünen zum grössten Teil zu überdachen. Der Entwurf sah hierfür eine Kragschalenkonstruktion vor, die je Spielplatzseite aus 9 nebeneinanderliegenden zylindertonnenähnlichen einmanteligen Teilen eines liegenden Rotationshyperboloids besteht (Fig. 1).

Fig. 1. Modell des Stadions.

Würde eine derartige Form rein als einmanteliges Hyperboloid ausgebildet, ergäbe sich an den seitlichen Begrenzungen ein gekurvter Rand. Die Architekten sahen jedoch – wie bein Tribünendach des Hippodroms in La Zarzuela (Spanien) von E. Torroja, das in vielfacher Hinsicht Vorbild war – am Kämpfer einen geradlinig verlaufenden Rand vor. Um eine solche Form zu erreichen, wurde eine sich zum Einspannende hin verbreiternde Kämpferzone vorgesehen, die jedoch in der Vorderansicht des Tribünendaches nicht in Erscheinung tritt, da sie hier in ihrer Breite fast auf Null ausläuft.

Das Schalendach besteht aus der eigentlichen Schale, die eine Stärke von 16 cm über der Stütze und 6 cm am Kragrand aufweist, und dem sog. Kehlträger, der den Zwickel zwischen den Schalenrändern monolithisch ausfüllt und von 1,50 m auf 0,15 m Höhe abnimmt (Fig. 2). Die Kragweite beträgt

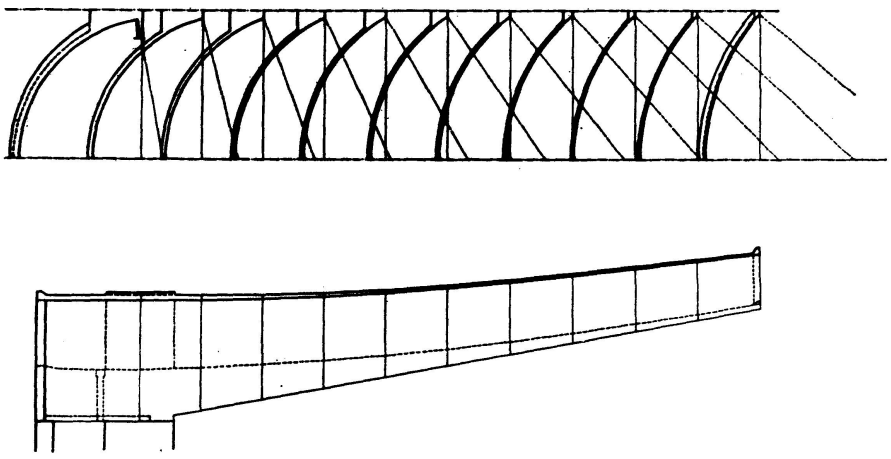

Fig. 2. Schalplan einer Regelschale (Querschnitt in den 1/10-Punkten und Längsschnitt).

18 m und die Schalenbreite (Achsabstand der Kehlträger) 8,70 m. Der 1. Hauptkrümmungsradius des Rotationshyperboloides nimmt von der Einspannstelle zum Kragrand hin von 4,15 auf 6,59 m, der 2. von 73 auf 284 m zu. Das rückwärtige Ende des Kehlträgers ist durch Spannstäbe in den Rahmenstiel, der das Tribünendach und die Zuschauerstufen trägt, niedergespannt. Die Ableitung der Schalenkräfte an der Stützstelle in die Stiele übernimmt eine Stützrippe, deren Stärke von 24 cm im Scheitel auf 36 cm am Kämpfer ansteigt. Das rückwärtige (also spielfeldabgewendete) Ende der Dachkonstruktion wird durch eine 25 cm starke Binderscheibe, die gleichzeitig die Schale aussteift und damit ihre Form erhält, abgeschlossen.

B. Theoretische Grundlagen der Schalenberechnung

Die charakteristischen Schalenparameter für die Stützstellen und den Kragrand sind:

$$\alpha = \frac{S}{L} = R\frac{y}{2K}, \qquad 1:8{,}1 \text{ bzw. } 1:8{,}0,$$

$$\beta = \frac{t}{R}, \qquad 1:26 \text{ bzw. } 1:110.$$

Zur Berechnung standen folgende Methoden zur Diskussion:

Fast strenge Berechnung nach [5].
Annäherungsberechnung als Kreiszylinderschale.
Elektronische Berechnung nach einer finiten Elementmethode.
Näherungsberechnung nach LUNDGREN [6].

Nach den bisherigen Erkenntnissen, die in der Theorie der Tonnendächer erarbeitet wurden, liegt hier der Fall einer sog. «langen» Schale vor, die mittels einer Näherungsmethode berechnet werden kann. Es wurde die Lundgrensche Methode ob ihrer Anschaulichkeit gewählt, jedoch waren einige theoretische Überlegungen zur Ermittlung der spezifischen Schubkräfte notwendig [7]. Lundgren betrachtete nämlich in seinem Werk nur den Träger mit konstantem Trägheitsmoment, während hier durch die Geometrie der Schale ein Differentialquotient der Steifigkeitsabnahme von 0,50 m 4/m vorhanden war. Dementsprechend wurde die spezifische Schubkraft nach der Formel

$$\frac{\partial N_{xy}}{\partial x} = \frac{\partial^2}{\partial x^2}\left(M_{xx}\frac{S(x,y)}{I_{xx}} + N_{xx}\frac{T(x,y)}{F_{xx}}\right)$$

berechnet, wobei:

N_{xy}	Schalenschubkraft	[Mp/m]
M_{xx}	Trägerlängsmoment	[Mpm]
N_{xx}	Trägerlängsnormalkraft	[Mp]
$S(x,y)$	stat. Moment des Teilquerschnittes	[m³]
$T(x,y)$	zugeh. Fläche des Teilquerschnittes	[m²]
I_{xx}	Trägheitsmoment des Gesamtquerschnittes	[m⁴]
F_{xx}	Fläche des Gesamtquerschnittes	[m²]

Als Gesamtquerschnitt des Trägers in Kragrichtung wurde eine Schale mit den zugehörigen Hälften des linken und rechten Kehlträgers angesehen.

Die Spannungen in Längsrichtung wurden also nach der Trägermethode ermittelt. Eine Bogenrechnung in Querrichtung ergab die Querbiegemomente, -normalkräfte und Schubkräfte in der Schale. Der Vorteil dieser Näherungsmethode liegt darin, dass jede Querschnittslamelle, für die die Bogenrechnung

durchgeführt wird, im Gleichgewicht ist und dass auf die Veränderlichkeit der Schalenstärke, Radius und Öffnungswinkel eingegangen werden kann.

C. Konstruktive Einzelheiten

Das Schalendach wird nach dem System DYWIDAG mit Spanngliedern ⌀ 12,2 St 140/160 formtreu vorgespannt. Die Spannglieder verlaufen trajektorienförmig von der Spannstelle am rückwärtigen Schalenrand im Scheitel hinunter in den Kehlträger, wo sie miteinander verankert sind (Fig. 3). Zur

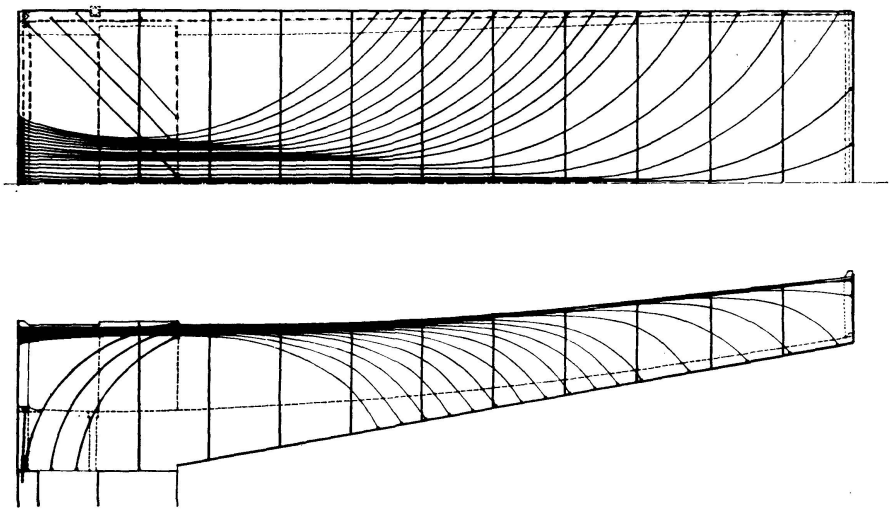

Fig. 3. Spannkabelplan (Grundriss und Längsansicht).

Abdeckung der Quermomente sind UNIDIM-Baustahlmatten mit variabler Stärke an der Ober- und Unterseite durchgehend verlegt. Der Schalenbeton hat eine Würfelfestigkeit von 4500 Mp/m². Der Kragrand ist mit einer Rippe, die einen Querschnitt von 14×14 cm² aufweist, zur Erhaltung der Schalenform versteift.

Da die 9 Schalen einer Tribünenseite nicht am Scheitel, sondern mit einem Randträger enden, werden Horizontalkräfte frei, die durch Vorspannung des Randträgers aufgenommen werden. Dies wurde so durchgeführt, dass der Randträger zunächst für sich allein betoniert und so vorgespannt wurde, dass er infolge eben dieser Vorspannung und der Horizontalkräfte für den Lastfall $g + \frac{p}{2}$ momentenfrei wurde.

Die diesem Spannungszustand entsprechende seitliche Verformung wurde durch ein sehr steifes Gerüst verhindert. Nach dem Anbetonieren und Vorspannen der 1. Schale wurde der Randträger und die im Gerüst gespeicherte verhinderte Verformungsenergie freigesetzt und kompensierte den nun freiwerdenden Horizontalschub. Die für die Lastfälle g bzw. $g+p$ auftretenden zusätzlichen Quermomente wurden überschlägig berechnet.

Der von der Stützrippe herrührende Horizontalschub wird über eine waagrechte Aussteifungsplatte in den Endfeldern in die Ebene der Binderscheibe übergeleitet. Die Binderscheibe läuft über alle 9 Felder kontinuierlich durch und ermöglicht durch ihre Vorspannung mit 2 DYWIDAG-Spanngliedern ∅ 32, St 85/105, eine Insichverhängung des Horizontalschubes. Im Bereich der Überleitung der Niederhaltekraft zur Stützrippe sind die Schubspannungen so hoch, dass noch vorgespannte Schubnadeln ∅ 12,2 eingelegt werden, die die Einhaltung der zulässigen Hauptzugspannungen gemäss DIN 4227 gewährleisten. Die Niederspannung, ebenfalls mit DYWIDAG-Spanngliedern ∅ 32, ist so bemessen, dass für die Last $g+\frac{p}{2}$ der Rahmenstiel gerade momentenfrei ist. Ihr hauptsächlichster Zweck ist der, die Verformungen aus Schnee möglichst hintanzuhalten (Fig. 4).

Fig. 4. Spanngliedverlegung und Bewehrung eines Schmetterlingträgers.

Literaturverzeichnis

1. E. Torroja: Logik der Form, S. 113.
2. Joedicke: Schalenbau, S. 167/168.
3. Hart: Kunst und Technik der Wölbung, S. 204/205.
4. Strangmann: Das Hippodrom von La Zarzuela in Madrid. Bautechnik 26 (1969), Heft 12, S. 381.
5. Aas Jakobson: Zylinderschalen mit veränderlichem Krümmungshalbmesser und veränderlicher Schalenstärke. Bauingenieur 18 (1937), S. 418–422 und 436–444.
6. Lundgren: Cylindrical Shells, Cylindrical Roofs. Vol. 1, S. 60–110.
7. W. Oberndorfer: Schubspannungen in Stäben mit veränderlicher Steifigkeit und eine Erweiterung des Lundgrenschen Verfahrens. Bauingenieur 47 (1972), Heft 4, S. 136–140.

Zusammenfassung

Es werden die statischen und konstruktiven Eigenheiten bei Entwurf und Berechnung eines vorgespannten Hyperboloid-Kragschalendaches aus Spannbeton zur Überdachung einer Stadiontribüne beschrieben.

Summary

The report deals with the static and design criteria that were applied on the outlay and calculation of a prestressed hyperboloid concrete cantilever shell roofing over a stadion's gallery.

Résumé

La contribution décrit les particularités statiques et constructives au projet et calcul d'un toit hyperbolique en porte-à-faux et en béton précontraint pour la tribune d'un stade.