



*Dipl.-Ing. Andreas Keil
Schlaich Bergemann u.
Partner, Stuttgart*

Weitgespannte Holzrippenschalen – ein Werkbericht

Weitgespannte Holzrippenschalen – ein Werkbericht

A. Tonnenschalen in Rauten-Lamellen-Konstruktion

Allgemeines

Schon im Jahre 1920 wurde eine Rauten-Lamellen-Konstruktion von dem Merseburger Stadtbaurat Zollinger entwickelt. Entstanden ist die Zollinger – Bauweise aus dem 'Bohlensparren' der aus zusammengenagelten, gegeneinander versetzten Brett- und Bohlenlamellen besteht. Durch Auseinanderklappen der Bohlensparren an den Stosstellen um einen Winkel α und die Anordnung mehrerer solcher Systeme nebeneinander entsteht ein netzartiges, räumliches Stabwerk, das Zollinger-Lamellendach.

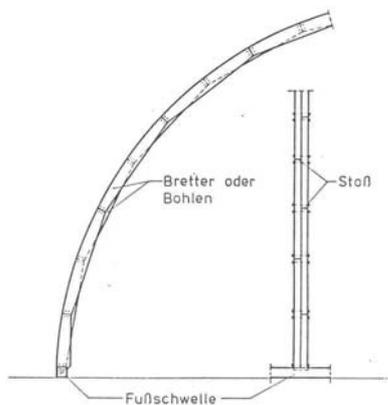


Bild 1 Bretter + Bohlen

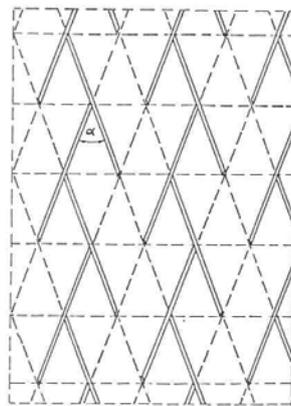


Bild 2 a,b Räumliches Stabwerk



In den Knotenpunkten wurden jeweils drei Lamellen, von denen die mittlere durchlaufend ausgeführt wurde, durch Bolzen verbunden. Der Anschluss der Lamellen an die Auflager ist ähnlich einfach wie die Knotenverbindung mit einer Bolzenverbindung ausgeführt. Mit der aufgenagelten Dachschalung entsteht aus den Rauten-Stabwerk ein Schalentragerwerk.

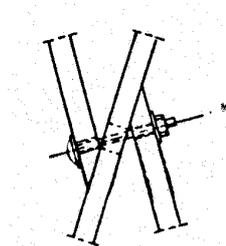


Bild 3 Zöllinger-Knoten

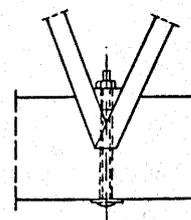


Bild 4 Zöllinger-Auflager

Das Zöllingersystem kam vorwiegend als einfach gekrümmte, parabolische Fläche in Form einer flachen Tonne zur Verwendung. Weitere Tragwerksformen, die alle aus einfach gekrümmten Gewölben bestehen sind die Spitzbogenform und die Kreisbogenform, zusammengesetzt entstehen das Kreuz- und Klostersgewölbe. Durch ihre Wirtschaftlichkeit und die einfache Montage wurde das Zöllingersystem hauptsächlich im Wohnhausbau eingesetzt, allerdings gibt es auch schon frühe Beispiele für weitgespannte Dachtragwerke wie die 'National Exhibition Hall in St.Louis' und die Münsterlandhalle.

Jüngere Beispiele für den Einsatz sind Hallen in Straubing und in Ostfildern bei Stuttgart.

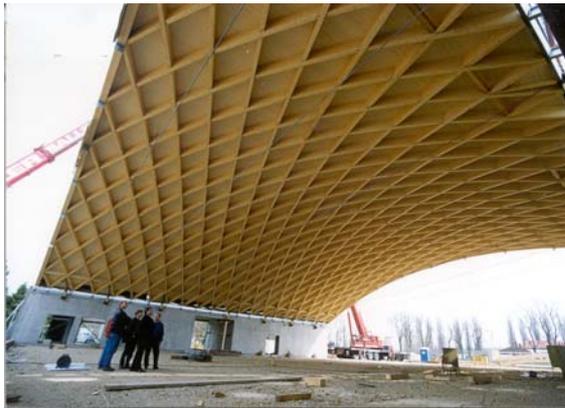


Bild 5 Halle Straubing



Bild 6 Halle Ostfildern

Betrachtet man die Tonnenschale, so wirkt die Konstruktion als 'Druckgewölbe'. Je besser die Geometrie der Stützlinie folgt, desto geringer ist die Momentenbeanspruchung bei gleichmässiger Belastung. Bei einseitiger Last braucht die einfach gekrümmte Schale eine ausreichend hohe Biegesteifigkeit oder/und zusätzliche Aussteifungssysteme.

Die an den Stirnseiten angeordneten Binder oder Scheiben übernehmen an den Rändern diese Aussteifungsfunktion, jedoch müssen abhängig von der Länge der Konstruktion und der Biegesteifigkeit der Schale zusätzliche Aussteifungsscheiben vorgesehen werden. Die Effizienz dieser Aussteifungssysteme hängt von ihrer Anordnung und von ihrer Steifigkeit selbst ab.

Bei weitgespannten Zylinderschalen spielt zudem die Auflagerung für die Wirtschaftlichkeit des Tragwerks eine zentrale Bedeutung. Grundsätzlich gibt es zwei Möglichkeiten der Lagerung:

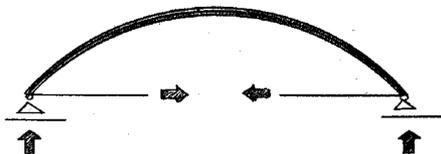


Bild 7 Bogen mit Zugband



Bild 8 Bogen ohne Zugband

Sofern funktional möglich, sollte bei grösseren Spannweiten (> 30 m) eine Lösung mit Zugband angestrebt werden, um die aufwendige Weiterleitung der 'Bogen-Schubkräfte' in den Baugrund zu vermeiden. Mit 'Hochhängen' der Zugbändern kann der Lichtraum im Halleninneren verbessert werden, zudem kann dadurch das Zugband in Verbindung mit diagonal angeordneten Verbindungsseilen Aussteifungsfunktion für die Holzschale übernehmen. Bei einer reinen Zugbandlösung kann allerdings keine zusätzliche Vorspannung eingebracht werden. Dies ist nur bei kombinierten Lösungen (Zugband und horizontale Festhalterungen) möglich. Wegen der statischen Unbestimmtheit benötigen diese eine sehr differenzierte Betrachtung der Steifigkeitsverhältnisse, einschliesslich des Baugrunds.

Das für das Verformungsverhalten und für die Wirtschaftlichkeit entscheidende Details ist die Verbindung der Lamellen. Da bei der Zollinger-Konstruktion aus der versetzten Lamellenverbindung mit ihrer lokalen Momentenbeanspruchung ein sehr ungünstiges Beanspruchungs- und Verformungsverhalten resultiert, müssen bei grösseren Spannweiten

die Knoten 'zentriert' und mit möglichst unnachgiebigen Anschlüssen zusätzliche Verformungen vermieden werden.

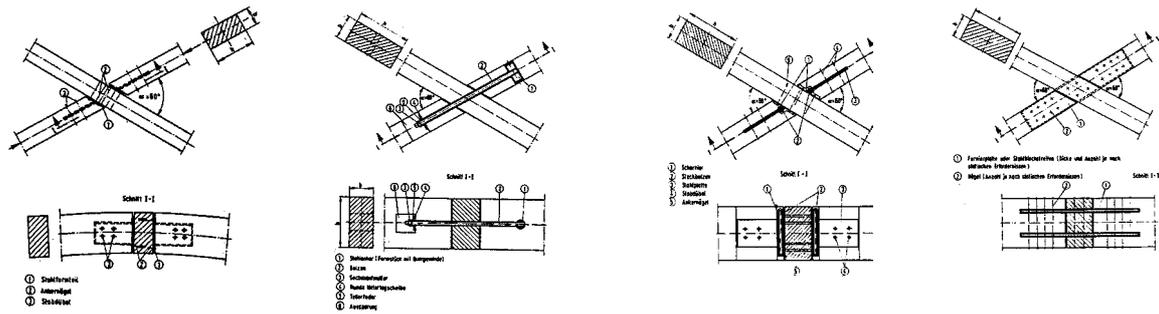


Bild 9 Varianten Knotendetail

Messehallen Rimini

Umgesetzt wurde dies bei der Konstruktion der Messehalle Rimini, die in Zusammenarbeit mit dem Hamburger Architekten gmp und den italienischen Ingenieuren Favero & Milan entworfen wurde, und mit 60 m das derzeit weitgespannteste Dach in Lamellenbauweise ist.



Bild 10, 11 Messehalle Rimini

Als 'kombinierte' Lösung wird der Bogenschub über ein hochgehängtes Zugband kurzgeschlossen, zudem wird der stählerne Randträger, der die Lamellenkräfte 'einsammelt' fest mit den im Abstand von 12.00 m angeordneten Stahlbetonscheiben verbunden.



Bild 12 Randträger mit Auflagerschuh und Zugband

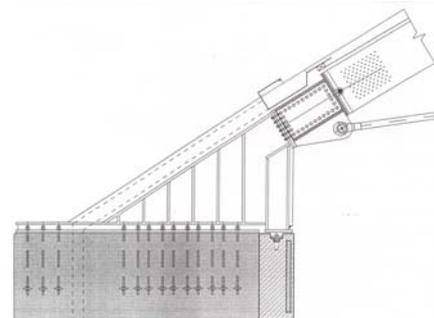


Bild 13 Schnitt Auflagerung

'Überschüssige' H-Kräfte werden so in die Stahlbetonscheiben eingeleitet. Die in der Achse der Auflager angeordneten, vorgespannten (Zugband-) Seilbinder steifen die Schale zusätzlich aus.

Eingeschlitzte und vernagelte Bleche verbinden die Lamellen untereinander. Aus Montagegründen wurden die Verbindungskreuze zweigeteilt und miteinander verschraubt. Nach dem selben Prinzip werden die Lamellen am Rand über ein Stahlteil am Randträger angeschlossen.



Bild 14 Deckenuntersicht mit Zugband

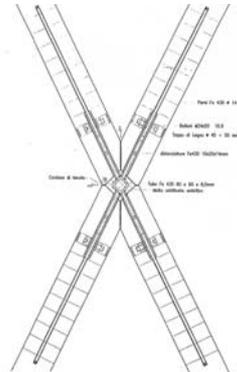


Bild 15 Knotendetail

Messehalle Rostock

Während bei der Messehalle in Rimini die Anforderungen an den Lichtraum ein Zugband erlaubten, musste beim Entwurf der Warnow-Halle darauf geachtet werden, dass das Zugband den geforderten Lichtraum nicht beeinträchtigt. Die durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, dass durch zu hoch hängende Zugbänder zum einen sehr unwirtschaftliche Verhältnisse durch grosse Kräfte entstehen, zum anderen kein effizientes Aussteifen der Schale mehr möglich ist.

Deshalb wurde bei der Messehalle Rostock gänzlich auf Zugbänder verzichtet und die Schubkräfte über die steifen Riegelbauwerke an den Längsrändern der Halle abgetragen. Die Aussteifung der Halle übernimmt die Biegesteifigkeit der Schale. Um die Probleme unterschiedlicher Ausdehnungen in Stahl und Holz entgegenzutreten, wurden die Randträger in Holz ausgeführt. Die Lamellen sind mit 'Bertsche' - Dübel unnachgiebig miteinander verbunden.

Messehallen Friedrichshafen

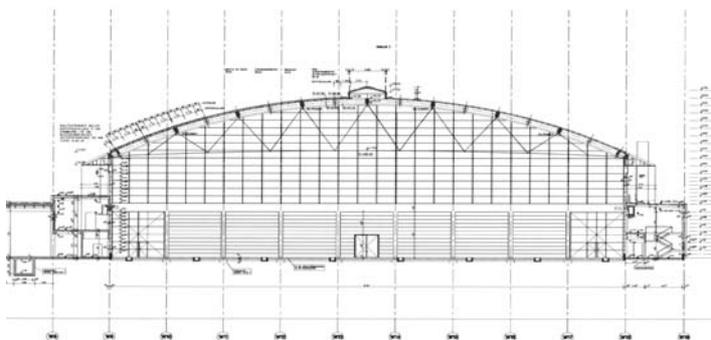


Bild 16 Mehrzweckhalle Messe Friedrichshafen

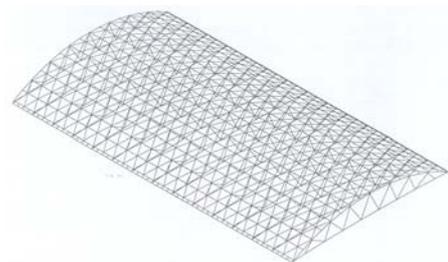


Bild 17 Isometrie Tragwerk

Die für die Neue Messe Friedrichshafen in Lamellenbauweise vorgeschlagenen Standard- und Mehrzweckhallen sind aufgrund der schlechten Baugrundverhältnisse wieder mit hochgehängten Zugbänder konzipiert worden. Von den ursprünglich vorgesehenen 6 Standard- und 1 Mehrzweckhallen, wird aus Kostengründen lediglich die grössere Mehrzweckhalle (Spannweite 67.50 m) in Lamellenkonstruktion realisiert.

B. Kuppeln

Allgemeines

Bei den Kuppeln kommt im Vergleich zu den Tonnenschalen die 'zweite' Krümmung hinzu. Die Kuppeln werden zu den gleichsinnig doppelt gekrümmten Schalen gezählt. Während die Tonnenschalen auf äussere Lasten nur einachsig mit inneren Axialkräften in Richtung der Bogenachse reagieren können, die den Meridiankräften in den Kuppeln entsprechen, können sich bei Kuppeln durch die zweiachsige Krümmung auch Ringkräfte in Breitenkreisrichtung entwickeln.

Unter den verschiedenen Kuppelarten wie Gitterkuppeln, Rippenkuppeln und geodätische Kuppeln hat sich im Holzbau für grosse Spannweiten die Lamellenkuppel als wirtschaftliches Tragsystem durchgesetzt.

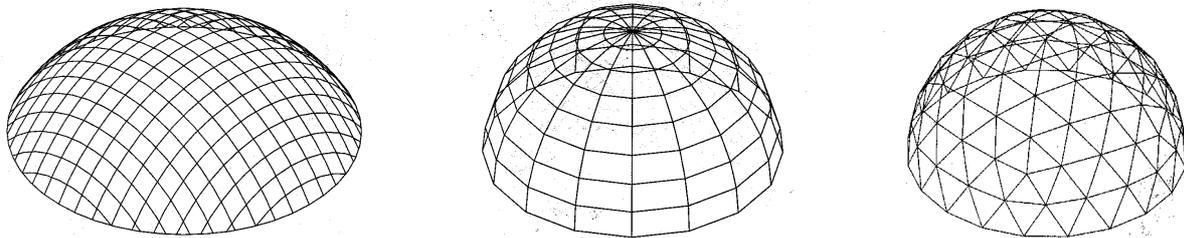


Bild 18 Gitter-, Rippen-, Geodätische Kuppel



Bild 19 Lamellenkuppel

Das Stabnetz wird aus drei Scharen von Stäben gebildet, die dann ein gleichmässiges Dreiecksnetz bilden. Der grosse Vorteil dieser Bauweise sind die grösstenteils gleichen Dreieck-Stablängen der Hauptträger, sowie die grosse Anzahl identischer Knotenpunkte. Die Dreiecksmaschen werden normalerweise durch die zu einer Seite parallelen Einfeldträgern und die aufgenagelte Brettverschalung ausgesteift.

Grosse Holzkuppelkonstruktionen wie der Tacoma-Dome oder die Oulu-Halle belegen die Möglichkeiten dieses Konstruktionsprinzips eindrucksvoll.



Bild 20 Tacoma Dome



Bild 21 Oulu Halle Knotendetail

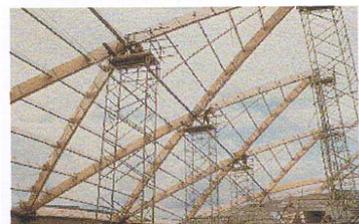


Bild 22 Montage Oulu Halle

Sporthalle Stuttgart

In Anlehnung an dieses Prinzip wurde im Rahmen eines beschränkten Architektenwettbewerbs für eine neue Sporthalle in Stuttgart eine Kugelschale mit einem Durchmesser von 190 m vorgeschlagen.



Bild 23 Sporthalle Stuttgart

Dreiecksmaschen aus gekrümmten Brettschichtholzträgern bilden eine echte kontinuierliche Schale. Die sekundäre Tragstruktur bilden eingehängte Einfeldträger aus Brettschichtholz mit einer 25 mm starken Bretterschalung.

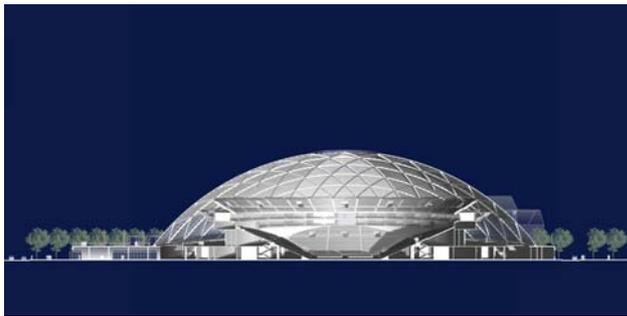


Bild 24 Querschnitt



Bild 25 Ansicht

Während im geschlossenen Bereich der Kuppel das Dach eine PVC-Membran als Abdichtung erhält, sorgt im unteren, irregulären Bereich der Kalotte eine transparente Stahl-Glas Fassade für ausreichende Belichtung. Der hohe Vorfertigungsgrad und die einfache Montage der Kuppel im Freivorbau ohne aufwendige Rüstungen unterstreichen die Wirtschaftlichkeit und Effizienz dieser Konstruktion.

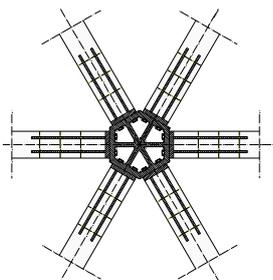


Bild 26 Knotendetail (Gussteil mit Schlitzblechen)

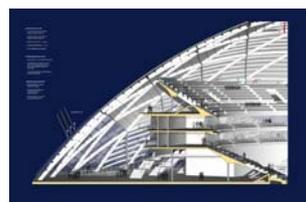


Bild 27 Randdetail

Der Entwurf erhielt den 1.Preis und soll 2001 realisiert werden.