



*Prof. Julius Natterer  
EPFL Lausanne CH*

# Flächentragwerke und Kuppelstrukturen in Holz



## 1. Struktur

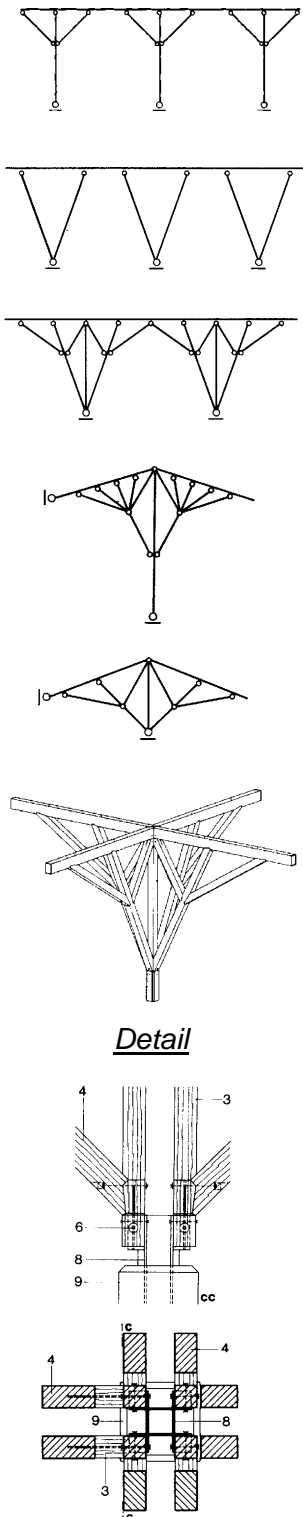
Jede Baukörperform kann bei entsprechender Entwicklung des Tragsystems wirtschaftlich in Holz ausgeführt werden. Die Optimierung der Tragstruktur durch Reduzierung der Biegebeanspruchung zugunsten der Normalkraftbeanspruchung durch die Anordnung von Gelenken, zusätzlichen Stäben, Unterspannungen und Abspannungen bedarf einem erhöhten Planungsaufwand. Holzkonstruktionen sind zumeist als leicht und filigrane Konstruktionen gestaltbar.

Eine Reduzierung des Baustoffbedarfes im Holzbau ist durch die Verwendung von druckbeanspruchten Stabsystemen möglich. Diese besitzen den Vorteil einfacher Anschlüsse und Verbindungspunkte. Pilz- oder Stabbündelstrukturen sind in vielfältigster Art gestaltbar und sind gleichzeitig innenraumausfüllende Strukturen. Es ergibt sich eine Raumgestaltung mit sichtbarer Tragstruktur ohne Unterhangdecke.

Eine weitere Möglichkeit zur Optimierung bzw. Minimierung des Materialaufwandes sind die statisch hochgradig unbestimmten Flächentragwerke, Platten, Roste, Fachwerkroste, Schalen und Hängeschalen. Derzeitige Entwicklungen laufen in Richtung statisch unbestimmter Systeme, durch die statische Unbestimmtheit wird die Materialstreuungen des Holzes ausgeglichen und das Verformungsverhalten für die Dimensionierung maßgebend. Orthotrope Systeme aus Rundholz, Kantholz, Bohlen oder in Brettstapelbauweise, Brettschicht- oder Brettnagelholz im Verbund mit Beton sind wirtschaftliche Konstruktionsmethoden..

Die nachfolgenden Beispiele zeigen ausgeführte Holzkonstruktionen mit verschiedenen Tragsystemen.

**Tragwerksysteme:  
Stabbündelsysteme**



**2. Stabbündelsysteme**

Um die Stützweite des Durchlaufträgers zu vermindern werden Kopfbändern eingesetzt.

**Autobahnraststätte, Niederurnen, (CH) 1986**

Das 1400 m<sup>2</sup> überspannende Dach ruht auf eingespannten Betonstützen - Schneelast 2.5 kN/m<sup>2</sup>. Für die sichtbare Holztragkonstruktion wurden nur Kanthölzer 16/16 cm verwendet. Zwei Typen von räumlichen Pyramiden und daraus abgeleiteten Sprengwerken bilden das Haupttragssysteme.

Schirmartige aufgefächerte Holzstützen tragen ein räumliches Faltdach. Sie lagern auf eingespannten Betonstützen, welche in einem Quadratraster mit 14.4 m Seitenlänge angeordnet sind. Die dreieckformige Dachelemente laufen zu einem hohen und niedrigen Punkt gegeneinander.

**Autobahnraststätte, Niederurnen**



**Cafeteria, Weiherstephan, (D) 1980**

Pilzähnlich aufgeständerte Balkenrostdecke. Hauptträger bis mit einer Länge von bis zu 7.2 m bilden mit den Nebenträgern ein quadratisches Deckenraster von 2.4 x 2.4 m. Lastabtragung der Balken auf die im 7.2 x 7.2 m Raster angeordneten eingespannten Betonstützen über räumlich angeordnete Stebenbündel. Sie bestehen aus vierteiligen Vertikalstützen und zweiteiligen Kopfbändern. Die Quer- und Längsstabilität entsteht durch ein Kopfbandsystem

**Cafeteria, Weiherstephan**

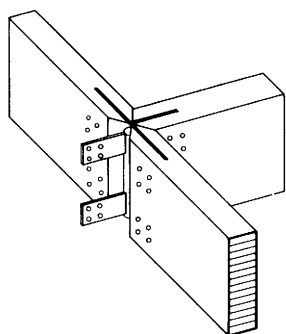
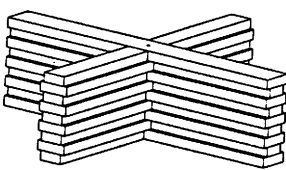
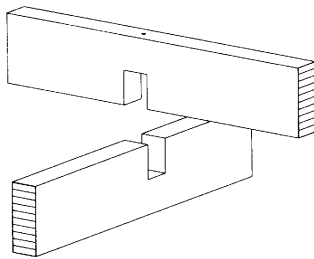
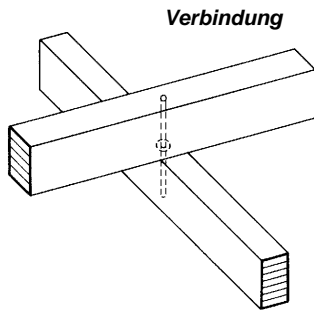
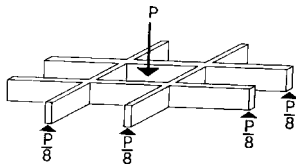


**Cafeteria, Bayreuth**



**Cafeteria, Universität Bayreuth, (D) 1981**

**Tragsysteme:  
Trägerroste**



**3. Trägerroste**

Trägerroste sind flache Tragsysteme bestehend aus Einfeldträgern welche in einem Winkel von 90, 60 oder 45° zueinander stehen. Die Träger sind entweder in Kreuzungspunkt durchgehend oder biegesteif miteinander verbunden. Durch diese biegesteifen Knoten entsteht ein hochgradig unbestimmtes System, welches die Lasten in zwei oder drei Richtungen abträgt. Die Tragstruktur ähnelt in der Lastabtragung den Ripenschalen. Unter Last werden alle Träger beansprucht - nicht nur diejenigen, auf welche die Last aufgebracht wird. So beteiligen sich alle Träger entsprechend ihrer Steifigkeit an der Lastabtragung.

**Salzlagerrhalle,  
Lausanne (CH) 1989**

11-eckige Halle mit einem Durchmesser von 26 m. Haupttragsystem als Balkenrost, bestehend aus 11 BSH-Trägern mit einer Länge von 13.5 m, auf Betonmauern bzw. auf Nachbarträgern aufgelagert. Innere Knotenpunkte sind als Gerbergelenkknoten ausgebildet. Das Sekundärtragsystem besteht aus parallel zu den Seitenwänden angeordneten Kantholzpfeilen. Eine 30 mm Schalung mit aufgeklebter Dichtungsfolie bildet die Dachhaut.

**Kolbermoor, Kirche (D)**

Quadratischer Kirchen Grundriss mit einer freien Überspannung durch ein Trägerrost aus Brett-schichtträgern mit Stahlknotenpunkten. Der Anschluß der zweiteiligen Träger an das

Stahlkreuz erfolgt über Nagelplatten und Gelenkbolzen. Das Sekundärsystem aus Vollholzpfeilen ist feldweise nach den unterschiedlichen Hauptrichtungen ausgerichtet.

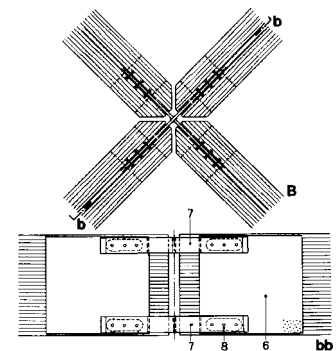
**Salzlagerrhalle, Lausanne**



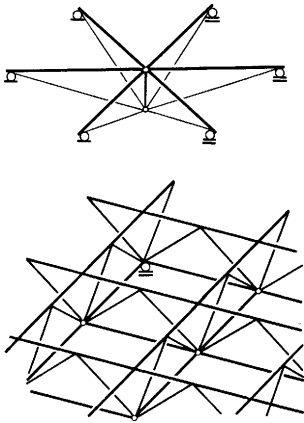
**Kirche, Kolbermoor**



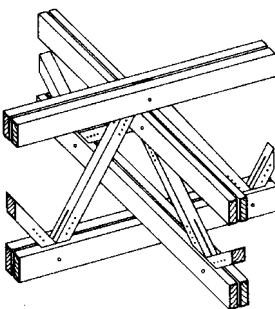
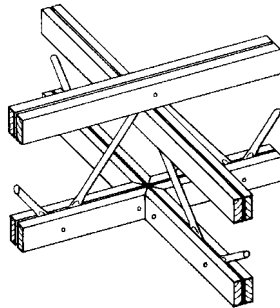
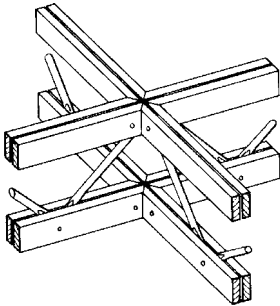
**Detail**



**Tragsystem:  
Fachwerkroste**



Beispiele:



**4. Fachwerkroste**

Die Gestaltung der Bauteile und Anschlüsse resultiert aus den Biegemomenten, die axialen Kräfte werden in den Ober- und Untergurt eingeleitet. Die Axialkräfte in den Diagonalen resultieren aus der Scherkraft. Die Hauptträger, welche für große Spannweiten notwendig sind, wirken filigran und transparent. Dies ergibt eine eindrucksvolle räumliche Struktur welche eine große Freiheit für die spätere Nutzung bietet.

**Weierstefan, Auditorium (D)**

Hörsäle mit Verwaltung und Bibliothek. Hier dargestellt das Dachtragwerk über den Sälen welches in den Eckpunkten des 9.6 x 9.6 m Rasters gestützt sowie im Randbereich 1.8 m auskragt. Knotenpunktabstand im 3D-Fachwerk 1.20 m, System Höhe 1.20 m. Ober- und Untergurte sind zweiteilig hingegen die Diagonalen einteilige Bauteile. In einem Untergurtnoten treffen acht Stäbe 6/14 cm der Untergurte und vier Diagonalstäbe 6/12 cm zusammen.

**Lüterkofen, Mehrzweckhalle (CH) 1993**

Nur der Eingangsbereich ist ein Fachwerkrost (Spannweite 16 x 16 m, Rasterfeld 2.3 x 2.3 m). Die Lastabtragung erfolgt in zwei Richtungen. Das Dach der Sporthalle besteht aus Fachwerkbindern.

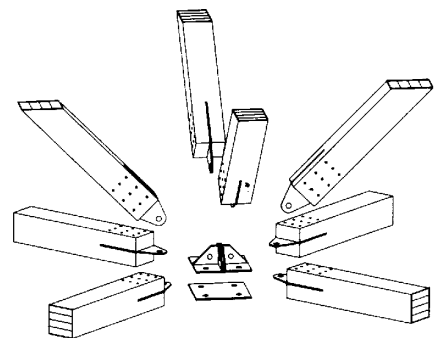
Auditorium, Weierstefan



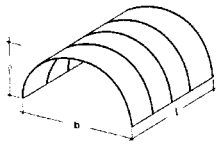
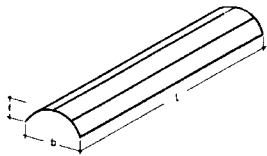
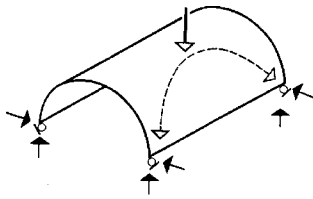
Sporthalle, Lüterkofen



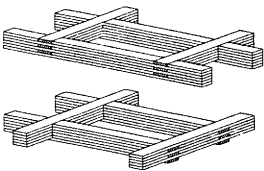
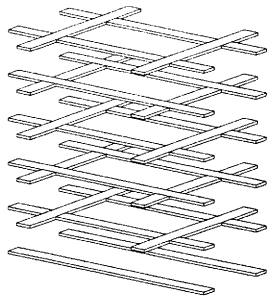
Beispiel vom Detail



**Tragsystem:  
Tonnenschalen**



**Konstruktion**



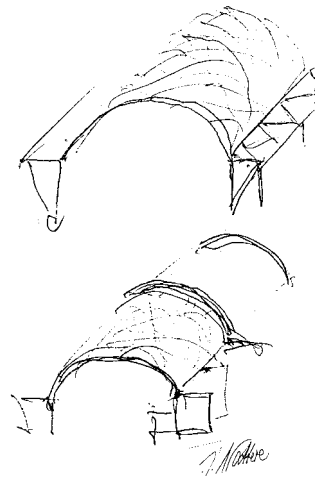
**5. Tonnenschalen**

Das Raster der dargestellten Rippentonnenschalen vereint folgende Vorteile: einfache und kostengünstige Errichtung, Verwendung von nicht verleimten Brettern ästhetisch ansprechende und sichtbare Tragstruktur. Die Rippen bestehen aus mehreren Brettlagen welche kreuzweise verschraubt werden. In einer Richtung sind die Bretter durchgehend, in der anderen Richtung sind sie unterbrochen und dienen als Füllhölzer.

**Chaumont, (F) 1993**

Die Berufsschule für Lehrlinge ist von einer Rippenschale überdacht welche aus vier sich kreuzenden Brettlagen besteht. Jedes der vier aufeinander gestapelten Bretter ist 35 mm stark. Die Lasten auf der Konstruktion betragen etwa 120 kg/m<sup>2</sup>. Die Struktur wird von Stahlstützen getragen. Der Innenraum bietet durch die sichtbare Holzkonstruktion eine gute Akustik.

**Skizze einer  
Tonnenschale**

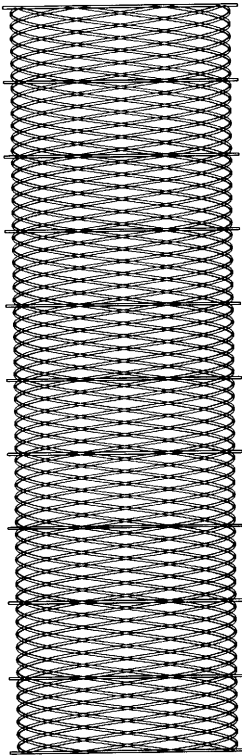


**Chaumont**



Halle für Galeree,  
Morges (CH) 1995

Grunriß



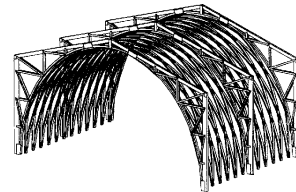
Halle für Galeree,  
Morges (CH) 1995

Diese Brettstapelschale dient als Hallenkonstruktion für den Wiederaufbau einer historischen Galeere. Mit der Verwirklichung dieses Projektes wurde eine Konstruktion geschaffen, welche zeigt - wie mit einfachen Mitteln von zum Teil ungelerten Arbeitskräften ein funktionelles ansprechendes Bauwerk entstehen kann. Durch die diagonale Anordnung von Brettstapeln als Tonnengewölbe ist die Längsaussteifung der Halle gewährleistet. Die Windbelastungen quer zum Gebäude werden von neun externen Schnittholzrahmen aufgenommen. Durch die Optimierung der Konstruktionsholzdicke und der Anordnung der externen Rahmen wurden für das umbaute Volumen von der 60 m langen, 20 m breiten und 12 m hohen Halle insgesamt nur 51,3 m<sup>3</sup> Holz verbaut.

Sporthalle, Berlin (D)  
1997

Die Tonnenschale überspannt 25,4 m. Das Rippenetz besteht aus vier sich kreuzenden Brettlagen. Drei Aussteifungsbögen aus Brettschichtholz, zwei an den Giebelflächen und einer in der Mitte der Halle, nehmen die unsymmetrischen Lasten auf.

Halle für Galeree,  
Morges



Reithalle, Berlin



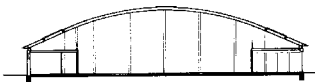
Reithalle, Berlin (D) 1996

Die Reithalle besitzt eine freitragende Schalenkonstruktion welche zwischen Holzrahmen aufgespannt ist. Die Spannweite beträgt 20 m. Mit der waagrechten Gliederung des sehr flachen Hallenkörpers wird eine gute Einordnung des Gebäudes in die Landschaft erreicht.

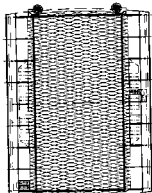
Reithalle, Berlin



Sporthalle, Berlin

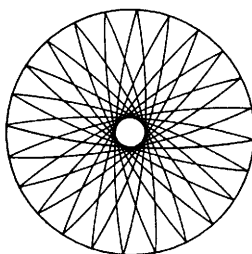
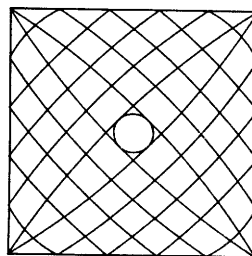
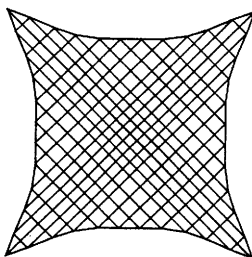
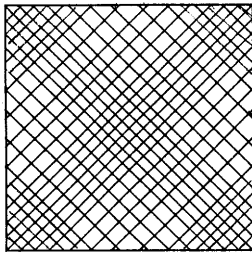


Sporthalle, Berlin





**Tragsysteme: Kuppelschalen**



**6. KUPPELSCHALEN**

Die folgenden Projekte bestehen aus einer Rippenstruktur welche mit Hilfe der selbigen Technik wie bei den vorher beschriebenen Tonnenschalen erbaut wurden. Die Schalenform unterscheidet sich durch ihre zweiseitige Krümmung.

**Polydome, Ecublens (CH) 1991**

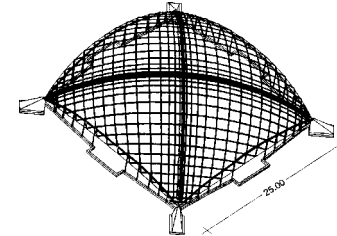
Die sphärische Kuppel in geschraubter Brettstapelbauweise hat einen Radius von 27.5 m auf einer Basisfläche von 25 x 25 m und erreicht in der Mitte eine Scheitelhöhe von 6.8 m. Die über die Diagonalen gespannten Rippen bestehen aus zwei kreuzweise angeordneten Schichten verschraubter Bretter mit Füllhölzern in den Zwischenräumen. Die Bretter sind mit Hilfe von Schrauben und Bolzen an den Kreuzungspunkten verbunden. Die auf Lücke gelegte Schalung, welche auf die Rippen geschraubt ist, dient als Aussteifung der Rippenkuppel. Das Rippen-schalen-Tragwerk erforderte ca. 32 m<sup>3</sup> Vollholz.

**Ausstellungshalle, Ober-Ramstadt (D) 1997**

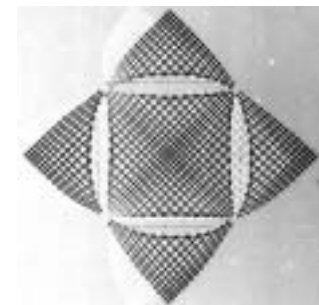
Das Brettriipennetz der Dachschale überspannt einen rechteckigen Grundriß von 20 x 25 m, und ist auf 4 m hohen Stützen aufgelagert. Die Kuppel hat von der Fußbodenoberkante bis zum Kuppelstich eine Höhe von ca. 11 m. Auf die im Rechteck angeordneten Stützen und Scheiben wurde ein umlaufendes Brettschicht-holzzugband flach aufge-

bracht. Dieses nimmt die Horizontalkräfte aus der Dachschale auf.

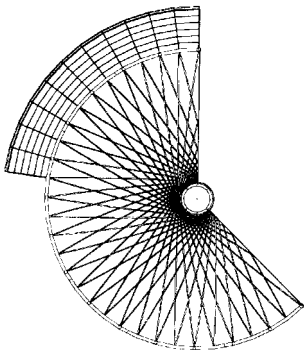
**Ecublens, Polydome**



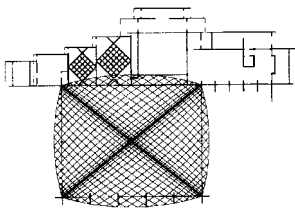
**Arbeitsmodelle**



St. Quentin,  
Schwimmbad



Oberramstadt,  
Ausstellungshalle



**Schwimmbad,  
St. Quentin, (F) 1997**

Die Kuppel überdeckt die Umkleidekabinen, die Technikräume sowie die Cafeteria des Schwimmbads. Die Struktur mit einem Durchmesser von 54 m hat die Form eines Torus mit einer Segmentgröße von 225°. Außen ist die Schale auf Stützen gelagert, innen auf einem zentralen Kreis aus Stahlbeton. Die Rippen folgen den geodätischen Linien. Somit wird eine Biegung in zwei Richtungen vermieden. Ausgehend vom Rand werden die Rippen an den ersten Kreuzungspunkten verleimt, zur Mitte hin wurden diese auf der Baustelle vernagelt. Somit wurde sichergestellt, daß die Elemente in beiden Richtungen durchgehen. Die horizontalen Kräfte werden von einem äußeren Ring aus Brettschichtholz aufgenommen. Die Holzschalung auf der Dachoberfläche trägt zur Stabilität der Schale bei.

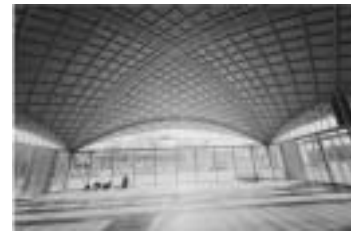
**Schule, Nantes (F) 1995**

Rundholzstützen tragen eine orthogonale, quadratisch angelegte Hauptträgerlage. Darauf wurde diagonal ein Kantholzrost angeordnet, in welchem eine kreisrunde Rippenkuppel in Brettstapelbauweise eingesetzt wurde. Die Horizontalkräfte der Kuppel nimmt ein Ring aus BSH auf. Die vertikale Lastabtragung der Kuppel funktioniert über Holzstützen, welche gleichzeitig das Traggerüst des Kegelstumpfes bilden. Dessen Holzschalung übernimmt die Abtragung der Windkräfte.

Ecublens, Polydome



Ober-Ramstadt,  
Ausstellungshalle



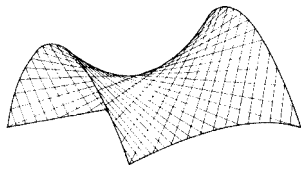
St. Quentin, Schwimmbad



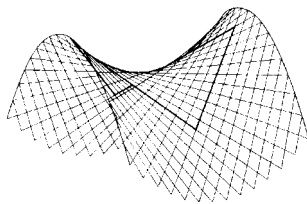
Nantes, Schule



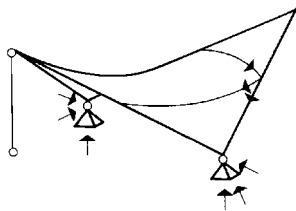
### Tragsysteme von Satteldachschalen



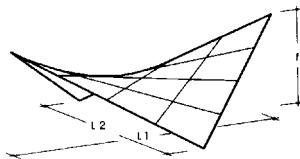
Hyperbolikparaboloid



Beschreibung einer Oberfläche



Auflagerreaktionen und innere Kräfte



## 7. Satteldachschalen

Bei diesen sattelförmigen Schalen werden die Lasten über Zugstreben zwischen den zwei hohen Punkten und über Druckstreben zwischen den zwei niedrigen Punkten zu den Randgliedern geleitet. Die Randglieder leiten diese Lasten zu den Lagern weiter. Die horizontalen Auflagerreaktionen müssen durch Zugbänder ausgeglichen oder durch massive Lager aufgenommen werden. Die Form wird von den Normalkräften in den Brettlagen, sowie von Schub- und Biegebeanspruchungen im Randbereich infolge einseitiger Lasten bestimmt. Wenn die Form der Schale den Biegemomenten angepaßt wird, nennt man die Schale Rippenschale. Diese Schalen bestehen aus zwei oder drei Rippengruppen und einer oder mehrere Brettschichten. Die Lasten werden nicht nur durch Zug-, Druck- und Scherkräfte in der Brettlagen, sondern auch über Biegung der Rippen abgetragen. Dadurch ist es möglich, abgeleitet von der reinen Membrantheorie, neben Kuppeln, Rotationsformen und sattelförmigen Schalen sowie freie Formen zu entwickeln. Das Design der Rippenschalen wird von der Spannweite, der Form und den äußeren Lasten (besonders unsymmetrische und Windlasten) bestimmt. Die Stabilität der Rippenschalen kann bei großen Spannweiten durch zusätzliche Befestigungen erhöht werden.

Altusried, Freilichttribüne



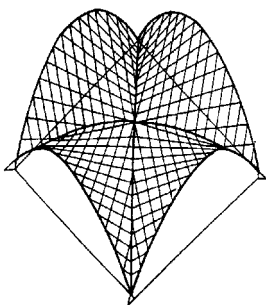
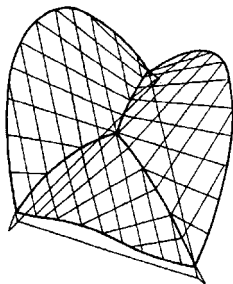
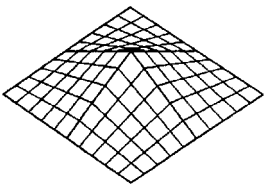
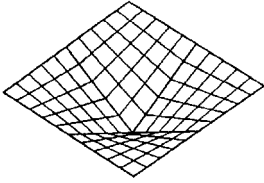
München, Rippenschale



Rosenheim, Rippenschale



### Tragsysteme: Combinierte Schalen Typen



### Freilichttribüne, Altusried (D) 1998

Die Freiluftbühne nimmt 4000 Zuschauer auf. Die Struktur überdacht eine Fläche von 30 x 100 m in einer Höhe von 13 m. Die vier hoch belasteten Fachwerkträger sind im Abstand von 25 m (aus Fichtenrundholzstämmen) angeordnet. Die Dachschaale, welche zwischen den Fachwerkträgern gespannt ist, besteht aus zweilagig diagonal vernagelten Brettern.

### Rippenschale in München, West (D)

Rippenschale als Ausstellungspavillon vor dem Messegelände in München. Die Schale besteht aus vier zusammengesetzten Sattelflächen. Die Spannweite beträgt 9,00 m und die Auskragungen 4,50 m. Wegen der Auskrägung und der freien Form der Schale wurde ein biegesteifer Aufbau der Schale aus einem Lattenrost 3/6 cm mit zwei Lagen schubsteif vernagelter Bretter gewählt.

### Rippenschale in Rosenheim

Rippenschale aus drei 18,00m auskragenden, hyperbolischen Paraboloiden. Die Randbalken 22/80 cm sind gedrillt verleimt und auf Stahlrohrstützen aufgelagert. Die eigentliche Schale besteht aus rechtwinklig zueinander verlaufenden Rippen 4/10 cm und zwei Lagen schubsteif vernagelten 2,4 cm starken Brettlagen.

### ExpoDach2000, Hannover (D)

Für diese Dächer wird Holz in einer eindrucksvollen Form eingesetzt. Die Schirmdächer werden aus einem Netzwerk von geschwungenen Hölzern gebildet und sind in einer Höhe von über 20 m an hölzernen Stützen aufgehängt. Die Schirme stehen unabhängig voneinander und haben eine Seitenlänge von etwa 40 x 40 m. Konstruktionvollholz, Brettchichtholz und unterschiedliche Holzwerkstoffe werden unter Berücksichtigung des konstruktiven Holzschutzes zum Einsatz kommen

Hannover, ExpoDach 2000

