

Sonderkonstruktionen von Ausstellungsbauten
von J. Schlaich und W. Sobek

Der nachfolgende Beitrag beschäftigt sich mit Gebäuden, die der Präsentation und dem Handel mit Gütern und Dienstleistungen dienen.

Hierbei sind zwei Gruppen unterscheidbar:

Die erste beinhaltet die für eine langfristige Nutzung vorgesehenen Dauerbauten, wie z. B. Markt- oder Messehallen. Sie müssen den Anforderungen immer wieder wechselnder Ausstellungen genügen, also eine gewisse Flexibilität in der Nutzung aufweisen.

Anders dagegen die zweite Gruppe:

Sie umfasst alle nur für die Dauer einer Ausstellung konzipierten Gebäude. Da die Nutzung somit festgeschrieben ist, wird es möglich, durch das gesamte Gebäude die Werbeabsicht bzw. das angestrebte Image des Ausstellers auszudrücken.

Der Zweck "Überdachung" wird damit wesentlich erweitert um den Faktor Präsentation wirtschaftlicher und technischer Leistungsfähigkeit sowie u. U. auch gesellschaftspolitischer Anschauungen. Besonders bei den Bauten für Weltausstellungen ist dies sehr deutlich ablesbar.

Die Übertragung des Konkurrenz- bzw. Repräsentationsgedankens auf das Bauwerk führte auf der einen Seite im Bereich der Präsentation politischer Aussagen zum Schwergewicht auf dem formalen Ausdruck, auf der anderen Seite im Bereich der Darstellung hauptsächlich wirtschaftlicher und technischer Möglichkeiten zum Bau immer leichter und weiter gespannter Konstruktionen, gerade für die Ausstellungsbauten der zweiten Gruppe.

Da diese Gebäude nur für kurze Standzeiten geplant werden müssen, besteht hier die Möglichkeit, Neues auszuprobieren.

Dies wird zusätzlich dadurch begünstigt, daß für Bauten kurzer Standzeit die technischen Bestimmungen weniger streng ausgelegt werden. So führten Anstöße aus Ausstellungsbauten oft zu beständigen neuen Bauweisen.

Neben der Weiterentwicklung der Berechnungs- und Konstruktionsmethoden ging dieses ständige Probieren und Arbeiten an den Grenzen des Baubaren sehr eng mit der Weiterentwicklung der Baustoffe einher:

Der Kristallpalast (Joseph Paxton) auf der Weltausstellung 1851 in London stellte durch die erstmalige Verwendung industriell gefertigter standardisierter Einzelteile aus Gußeisen und Glas eine Revolution in Bauweise und Raumerlebnis dar. Und doch, letztendlich, ist die filigrane Textur des Gebäudes auch dadurch bedingt, daß es damals einfach nicht möglich gewesen ist, größere Glasscheiben herzustellen.

Bereits auf der Weltausstellung 1889 in Paris zeigte sich ein enormer Sprung in den mittlerweile zur Ausführung kommenden Dimensionen:

Als Präsentation des Möglichen errichtet Gustave Eiffel den damals mit 300 m höchsten Turm der Welt. Die materialtechnische Grundlage hierzu wurde von Bessemer 1885 durch die Entwicklung eines Verfahrens zur einfachen Massenproduktion von Stahl gelegt.

Ebenfalls auf dieser Ausstellung zu sehen und dem Thema "Ausstellungsbauten" mehr verhaftet ist die von Contamin erbaute Maschinenhalle als Aneinanderreihung von Stahlfachwerk - Dreigelenkbögen mit 114 m Spannweite, deren konstruktive Durchbildung alles bisher Gewohnte auf den Kopf stellte: am Bogenfuß, dort, wo das Tragwerk bisher immer am dicksten war, wird ein Gelenk eingebaut, wird der Querschnitt reduziert. Der Kraftfluß wird hier bestimmend für die sichtbare Detailgestaltung. Damit war dem Architekten als dem Entwerfenden eines Bauwerkes der Boden seiner Erfahrung entzogen und die Trennung der Arbeitsgebiete des Architekten und des Ingenieurs vollzogen.



Abb. 1



Abb. 2

Im Bereich der hauptsächlich druckbeanspruchten Konstruktionen war es die Erfindung des Stahlbetons, die dem Schalenbau, der ja im Bereich der Gewölbe eine sehr lange Tradition hat, ungeahnte Möglichkeiten eröffnete.

Erstmals aufgezeigt wurde dies beim Bau einer Versuchschale 1931 durch Dischinger (Abb. 1) oder auch beim Bau der "Zementhalle" in Zürich 1938 durch Maillart.

Sehr wesentliche Impulse bekam die Betonschalbauweise auch immer wieder von Felix Candela. Das Bild zeigt das aus zwei HP-Schalen zusammengesetzte Dach der Kirche San José Obrero, erbaut 1959 (Abb. 2). Die hier verwendete Grundform eines HP zeichnet sich durch die Eigenschaft aus, daß sich seine gegensinnig doppelt gekrümmte Fläche durch gerade Erzeugende darstellen lässt. Dies erlaubt die Verwendung von geraden Schalbrettern. Der allerdings immer noch erhebliche Schalungsaufwand im Zusammenhang mit gestiegenen Löhnen machte den Schalenbau nicht mehr konkurrenzfähig.

Bevor wir hierauf noch näher eingehen, sei ein Werk von P. L. Nervi eingefügt, an dem ebenfalls der erhebliche Arbeitsaufwand für die Schalung ablesbar ist:

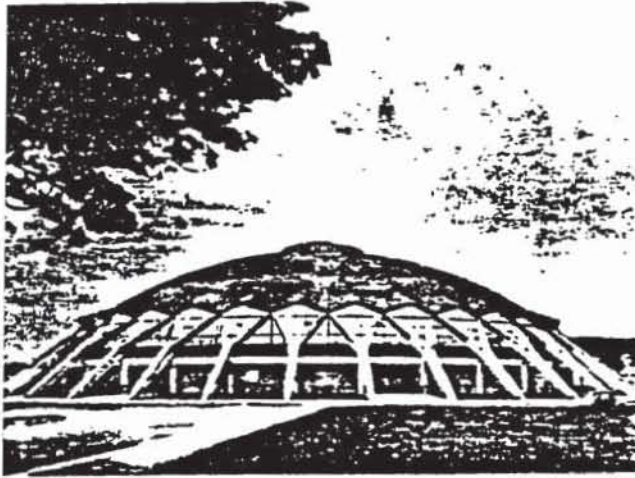


Abb. 3a



Abb. 3

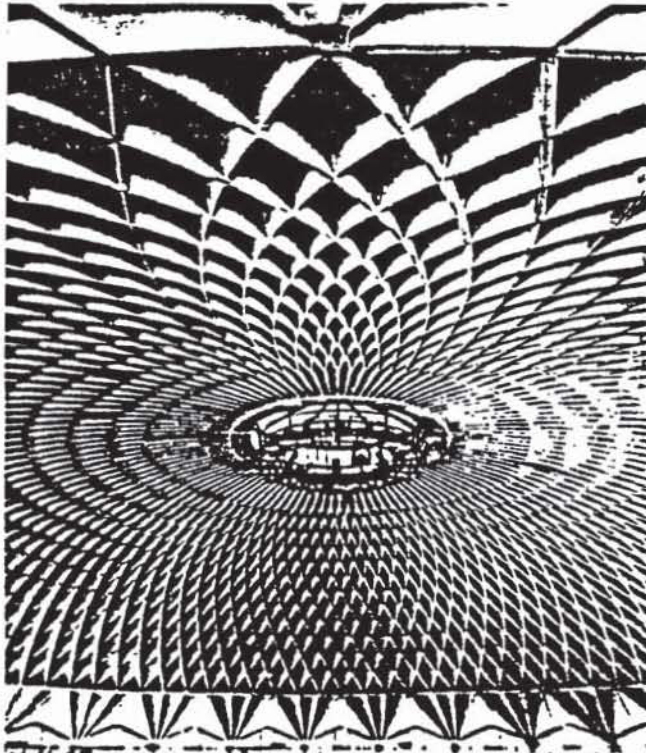


Abb. 3b



Abb. 4

Es handelt sich um die 1960 fertiggestellte kleine Sport-
halle in Rom. Die dünne Betonschale wurde hier durch
Rippen ausgesteift, wobei die Schalkörper aus Ferrozement
hergestellt wurden (Abb. 3).

Deutlich zu sehen ist das Bemühen um eine schalengerechte Lagerung des Randes: Die Stützung liegt in der Schalenebene und erfolgt relativ kontinuierlich über den gesamten Rand. Die Schalenteile zwischen den Gabeln der Randstützen wurden absichtlich hochgezogen, um zu zeigen, daß sie für das Schalentrageverhalten gar nicht nötig sind.

Das nächste Bild (Abb. 4) zeigt eine der größten Schalen überhaupt: Die Halle wurde von dem franz. Ingenieur Esquillan 1960 erbaut und steht in Paris nördlich der Pont de Neuilly.

Um die über einem dreieckigen Grundriss stehende Halle beulsicher zu machen, wurde eine zweischalige Konstruktion mit 2,80 m Systemdicke gewählt. Die beiden 8 cm dicken Außenschalen sind durch 10 cm dicke Rippen miteinander verbunden und zur zusätzlichen Erhöhung der Steifigkeit nochmals von Rippe zu Rippe gekrümmt.

Zur Verminderung der Schalungskosten wurden zuerst die drei in den Kehlen laufenden Rippen zu einer stand-sicheren (Dreibein-) Form zusammengebaut. Danach wurde die Schalung sukzessiv nach außen verlagert und ein Hohlkasten nach dem anderen anbetoniert. Die Schotten zwischen den beiden Schalen wurden hierbei als Fertig-teile eingesetzt.

Ein analoges Beispiel, das man als Weiterentwicklung dieses Konstruktionsprinzips ansehen kann, ist die Paket-umschlaghalle der Bundespost in München.

Hier wurde das Problem Schalung so gelöst, daß als Grundform eine Tonnenschale gewählt wurde, deren Deckenquerschnitt aus vorgefertigten V-Elementen bestand. So konnte durch Verschieben der Rüstung eine Rippe nach der anderen hinzuaddiert werden. Die Bogen-spannweite hierbei beträgt 147 m bei einer Hallenlänge von 124 m. Durch diese große Länge bedingt, ist das Verschieben der Schalung natürlich sehr wirtschaftlich.

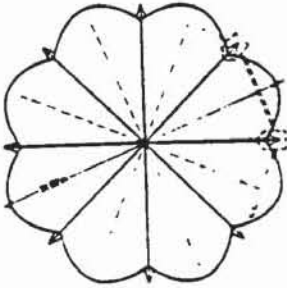


Abb. 5

Die nächsten Bilder zeigen eine anlässlich der Bundesgartenschau 1977 in Stuttgart vom Institut für Massivbau konzipierte Schale (Abb. 5-8). Für das aus acht gleichen Segmenten zusammengesetzte Dach genügte eine Schalung.

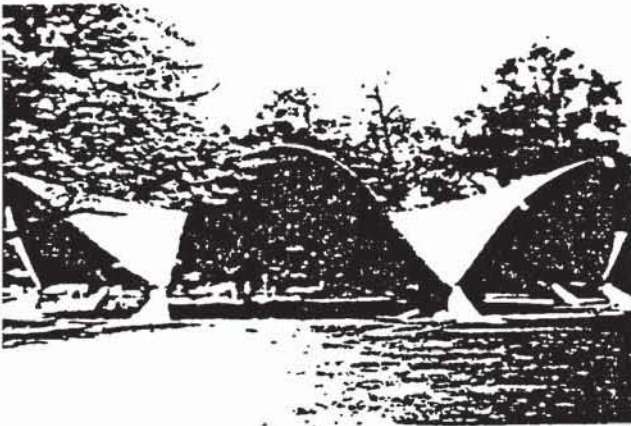


Abb. 6



Abb. 7

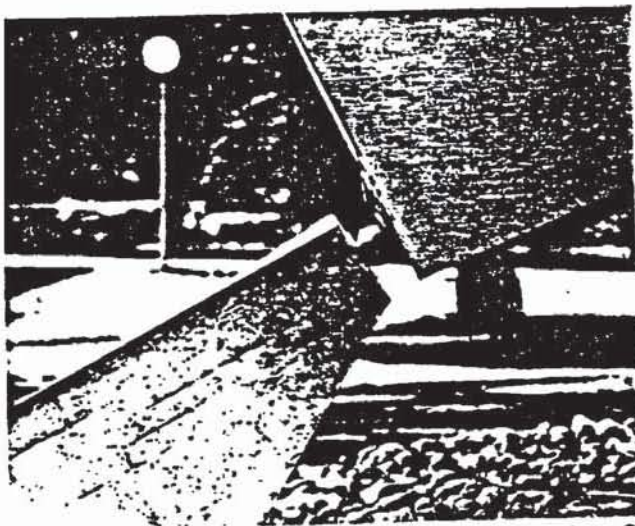


Abb. 8



Abb. 9

Das Neue an dieser Konstruktion ist der verwendete Baustoff: Glasfaserbeton. Er erlaubt eine Schalendicke bei den in Abb. 5 ersichtlichen Abmessungen von teilweise nur 1 cm. Die Achsen der Stützung liegen genau in der Richtung der Auflagerkraft, so daß zu deren Übertragung eine Stahlkugel genügt (Abb. 8).

Im Zusammenhang mit der Betonschalbauweise muß auch der Name des Schweizers H. Isler genannt werden. Er beschäftigte sich besonders intensiv mit dem Bau von Schalen positiver Gauß'scher Krümmung (Abb. 9), wobei er neben anderen auch folgende, besonders anschauliche Formfindungsmethode anwendet: Der Beton als Schalenbaustoff führt dann zur Optimalform, wenn im Tragwerk nur Druckspannungen herrschen. Stellt man sich dieses System 180° um die Horizontale gedreht vor, so erhält man eine nur zugbeanspruchte Form.

Der Formfindungsprozess von nur-druckbeanspruchten lässt sich also auf das Arbeiten mit nur-zugbeanspruchten Systemen wie Seilen, Netzen und Membranen zurückführen. In einfachster Weise lässt sich dieses Vorgehen an einem Vorhangstoff zeigen, der - an mehreren Punkten aufgehängt - im Winter mit Wasser besprüht und dadurch in seiner Form fixiert wurde.

Dreht man die versteifte Form um, erhält man die nur-druckbeanspruchte Schale. Diese biegeweichen Hängemodelle lassen sich natürlich auch auf andere Weise verfestigen, z. B. mit Harzen.

Eine andere Möglichkeit die Umkehrform zu erzeugen besteht darin, die Knotenpunkte des hängenden Netzes in ihren Koordinaten zu erfassen und anschließend das Bezugssystem zu drehen.

Auch die Multihalle Mannheim (Bundesgartenschau 1975) wurde von Frei Otto aus einem Hängemodell entwickelt.

Hierbei wurden die Einzelteile des hängenden Netzes in der späteren Schale durch Holzlatten mit gelenkigen Knotenpunkten ersetzt, die Dachform stellt also ein Scherengitter dar.

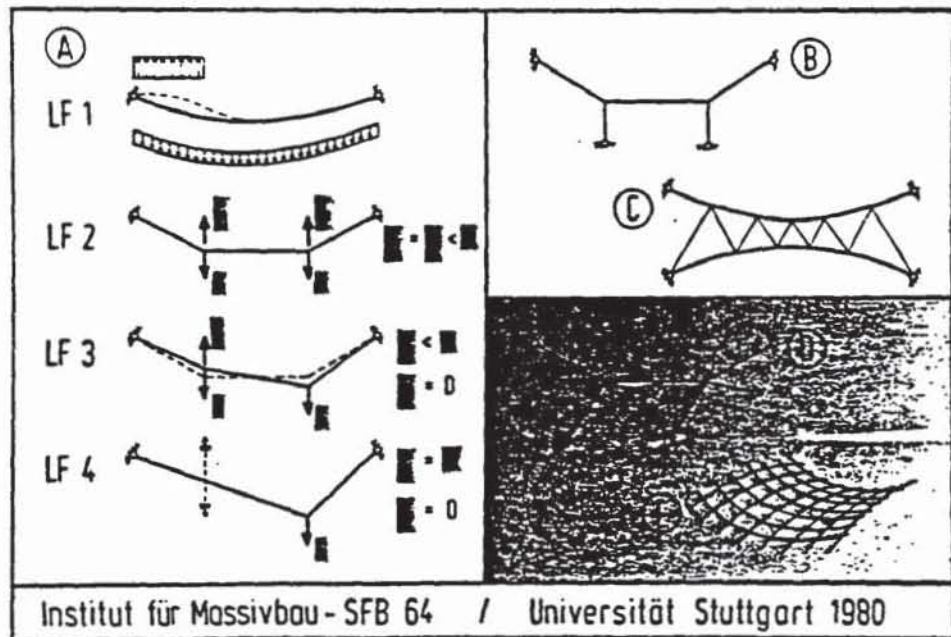


Abb. 10

Hierin besteht ein Vorteil dieser Bauweise:

Das gesamte Gitter wird fertig montiert auf dem Boden ausgelegt und dann kontinuierlich mit einfachen Mitteln, wie Gerüstböcken und Hubstaplern, hochgedrückt. Auf dem Weg zur endgültigen Form sind so durch die Möglichkeit der Maschenwinkelverdrehung sehr viele Zwischenformen möglich. Nachdem der endgültige Zustand erreicht ist, werden die Schrauben in den Knotenpunkten des Gitters angezogen. Die Tragfähigkeit dieser Lattenkuppeln ist wegen der ihnen fehlenden Schubsteifigkeit allerdings gering.

Als Eindeckung wurde bei der Multihalle ein mit Folie kaschiertes Gittergewebe auf die Lattung geheftet. Durch ihre beschränkte UV-Beständigkeit ist die Lebensdauer solcher Folien allerdings nicht sehr hoch (Abb. 10).



Institut für Massivbau - SFB 64 / Universität Stuttgart 1980

Abb. 11

Das Problem der Beul- und Knickstabilität, wie es bei den bisher besprochenen Konstruktionen evident ist, besitzen die nur zugbeanspruchten Bauteile und Tragwerke nicht.

Hier wird deshalb eine optimale Werkstoffauswirkung möglich.

Betrachtet man ein zwischen 2 Punkten aufgehängtes Einzelseil, so wird sofort eine Eigenart der zugbeanspruchten Konstruktionen deutlich: das "Umhängen" des Seiles bei Änderung der Belastung. Man kann dieses "Umhängen" und damit die Verformungen, z. B. eines Dachtragwerkes unter wechselnden Lasten wie Wind vermindern, wenn man eine ausreichend hohe Dauerlast aufbringt (Schwergewichtshängedächer), oder, noch vorteilhafter, sie fachwerkartig in der Gegenrichtung verspannt.

Erfolgt diese Vorspannung nicht in der Ebene, sondern im Raum, so führt sie vom Seilfachwerk zum Seilnetz (Abb. 11).

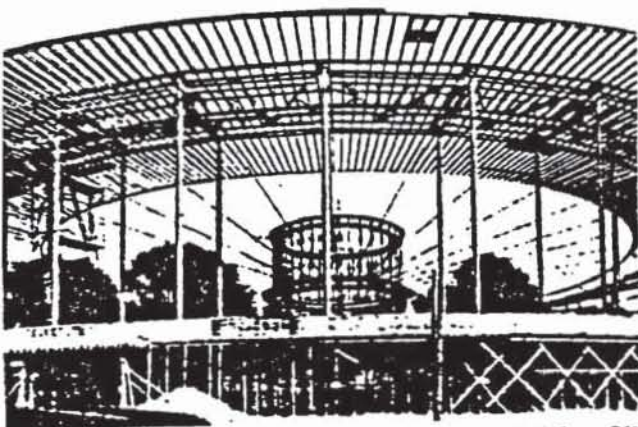


Abb. 12

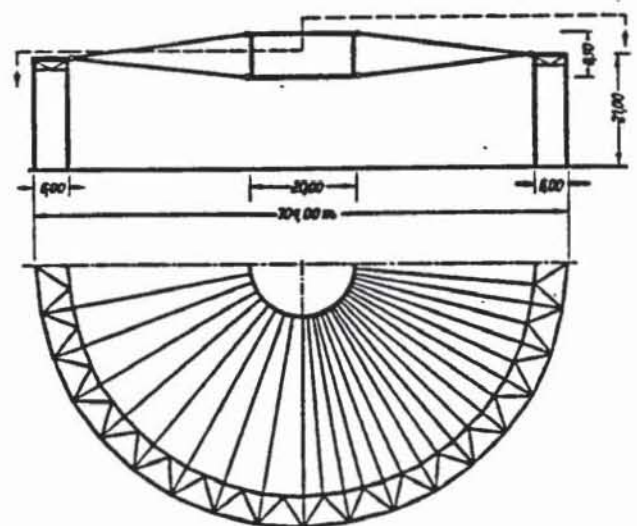


Abb. 13

Der U. S. Pavillon auf der Weltausstellung 1958 in Brüssel stellt als Rundbau eine besonders wirtschaftliche Lösung eines seilverspannten Daches dar, da der äußere 6 m breite Druckring und der innere Zugring mit 20 m Durchmesser in sich geschlossen im Gleichgewicht sind, so daß die das Dach tragenden Außenstützen infolge Eigengewicht und Vorspannung nur Vertikallasten abzutragen haben. (Abb. 12).



Abb. 14

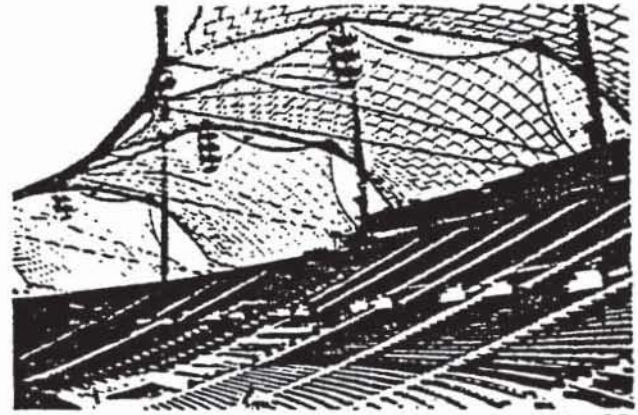


Abb. 15

Zu einer wesentlich größeren Vielfalt möglicher Formen gelangt man durch Verwendung der bereits angesprochenen Seilnetze, auch wenn sie, um vorspannbar zu sein, in ihrem Formenkanon auf Flächen mit negativer Gauß'scher Krümmung begrenzt sind.

Das Bauen mit Seilnetzen erfuhr gerade aus Stuttgart immer wieder neue Impulse und Anregungen:

Der deutsche Pavillon auf der Weltausstellung in Montreal wurde von R. Gutbrod und F. Otto entworfen mit Leonhardt und André als Ingenieuren.

Auf dem Bild (Abb. 14) deutlich zu sehen ist ein quadratmaschiges Seilnetz, dem als raumabschließende Hülle eine Membrane aus PVC-beschichtetem Polyester-gewebe untergehängt wurde. Durch die Vorspannung des Netzes bedingt, müssen die Kräfte in den Fußpunkten in Zugfundamente geleitet werden. Die Hochpunkte des Netzes "stechen" als singuläre Punkte sehr tief in die Seilnetzfläche ein. Dadurch wird der "unnötig" umbaute Raum sehr groß, aber in diesem Fall auch die Erlebniswirkung des Innenraums legitim gesteigert.

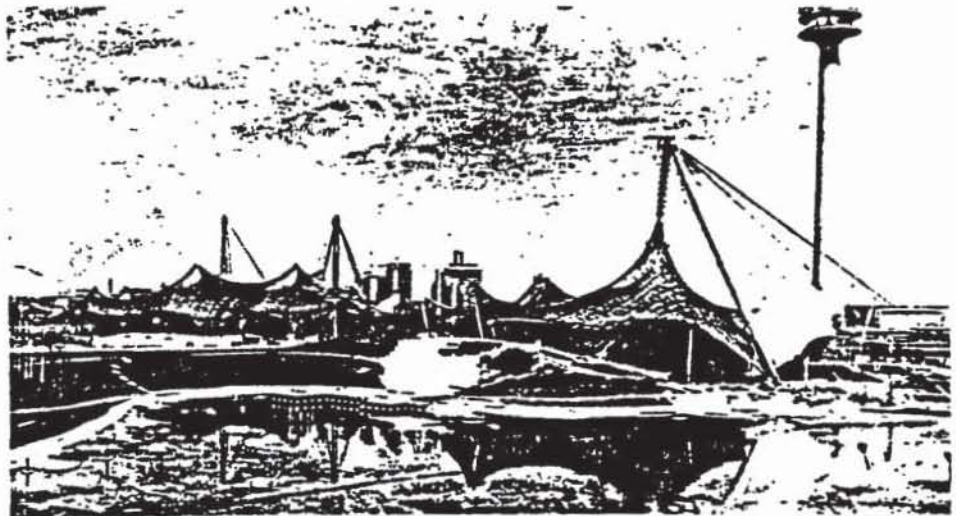


Abb. 16

In den zeitlichen Zusammenhang gebracht, ist der Ausstellungsbau Montreal als Vorläufer der Bauten der Olympischen Spiele 1972 in München zu sehen. (Abb. 15, 16). Hier wurde ebenfalls ein vorgespanntes Seilnetz mit Quadratmaschen verwendet, das allerdings in ganz anderen Abmessungen und Dimensionen eingesetzt wurde.

Während in Montreal 8.000 m^2 überdacht wurden, beträgt die Fläche der Dächer in München 75.000 m^2 . Auch die Seilkräfte sind um ein Vielfaches höher.

Die Aufgabe, einen Dauerbau zu errichten, zwang hier zu einer wesentlich intensiveren Auseinandersetzung mit Einzelfragen, wie Eindeckung des Daches (Farbfernsehen), Korrosionsschutz der Seile, etc.

Ein wesentlicher Unterschied zu Montreal ist das Herausnehmen der Stützen aus dem überdachten Raum. In ein sogenanntes Primärseilsystem wurden sattelförmig gekrümmte Seilnetze eingehängt. Das noch bei Montreal vorhandene spitze Zulaufen des Netzes zur Mastspitze entfiel jetzt (Abb. 16). (Mit Ausnahme der Schwimmhalle). Dies erlaubte eine bessere Anpassung der Netzform an die Raumbedürfnisse.

Als Dachabschluß kam eine über dem Seilnetz liegende Acrylglasteindeckung zur Ausführung. Auch in Bezug auf die zu verankernden Kräfte ist der Unterschied zu Montreal sichtbar: Für das mit je 5.000 Mp Zugkraft zu verankernde Randkabel des Stadions waren Fundamente mit Bodenplatten von $11 \times 30 \text{ m}$ bei Tiefen von 12 m unter Gelände notwendig.

Die Masten wurden aus gestalterischen Gründen im Mittelbereich als zylindrische, an den Enden als konische Rohre ausgeführt. Die von ihnen zu übertragenden Normalkräfte betragen bis zu 5.000 Mp .

Verlassen wir das Bauen mit Seilnetzen, die i. A. auf der Baustelle aus Stahlseilen geknüpft werden, und wenden uns den maschinell gewebten "Netzen" zu, den Textilgeweben.

Hauptsächlich aus Polyester- oder neuerdings auch aus Glasfasergarnen mit einer natürlich gegenüber Seilnetzen sehr viel kleineren Maschenweite von etwa 0,5 - 1,0 mm gewebt und anschließend mit PVC oder Teflon beschichtet, haben sie den Vorteil, die Funktionen Lastabtragung und Raumabschluß in sich zu vereinigen. Ihr geringes Flächengewicht von ca. 1,0 - 1,5 kg/m² und die Möglichkeit, sie auf kleinstem Raum zusammenzufalten, eröffnen diesen Baustoffen ein sehr großes Anwendungsspektrum.

Mögliche Konstruktionsprinzipien sind die durch äußere Vorspannung stabilisierten, negativ gekrümmten Flächen und die durch Druckdifferenz erzeugten positiven Flächen, die sogenannten Pneus.

Mit beiden Konstruktionsprinzipien lassen sich auch wandelbare, d. h. in ihrer äußeren Form veränderbare Tragwerke erstellen.

Die große Formen- und Farbenvielfalt ließ die Membrankonstruktionen gerade auf Ausstellungen immer häufiger erscheinen.

Eines der größten auf einer Ausstellung errichteten Membrantragwerke ist der von Yukata Murata entworfene Fuij-Pavillon auf der Weltausstellung in Osaka 1970. (Abb. 17).

Über einem kreisförmigen Grundriß von ca. 70 m ϕ wurde ein System von gleich langen, durch inneren Überdruck stabilisierten Schläuchen errichtet, die untereinander durch breite Textilgurte verbunden wurden. Durch die gleiche Länger aller Schläuche ergibt sich die äußere Form, die eine Höhe bis zu 40 m erreicht.

Die Möglichkeiten luftgestützter Konstruktionen zeigt auch der U. S. Pavillon, ebenfalls auf der Weltausstellung Osaka 1970 (Abb. 18):

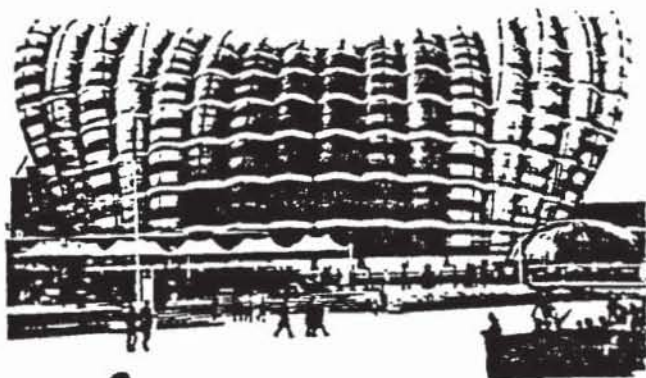


Abb. 17



Abb. 18

Ein zwischen einem ringförmigen Erdwall gehängtes Seilnetz mit sehr großer Maschenweite wird durch eine in einzelnen Teilen montierte Membran ausgefacht und nach der luftdichten Verbindung dieser Einzelmembranen durch inneren Überdruck nach oben in die endgültige Form gedrückt. Nur der geringe innere Luftüberdruck von ca. 3-5 cm WS stabilisiert das gesamte Bauwerk auch gegen Taifune von 90 m ph.

Ermöglicht wird dies durch den geringen Windwiderstand der Pnehülle, der durch den flachen Stich der Seile erzeugt wird. Da die Kräfte in der Haut mit dem Krümmungsradius zunehmen, werden die weniger beanspruchbaren Membranbauteile stärker gekrümmt, was sich aber auf die gesamte Stichhöhe des Daches nur sekundär auswirkt.

Dieses Konstruktionsprinzip wurde von der Firma Birdair in den USA in den letzten 10 Jahren stetig weiterentwickelt und immer mehr eingesetzt, so z. B. für Überdachungen von Sportbauten mit bis zu 80.000 Besuchern (Detroit).

Auf dem Sektor mechanisch vorgespannter Membrankonstruktionen sei nur am derzeit größten im Bau befindlichen Objekt, dem Haij-Terminal in Jeddah, nochmals auf die Möglichkeiten der Membranbauweise hingewiesen. Durch die Addition von Einzelflächen mit jeweils 48 x 48 m Seitenlänge wird die gesamte von Passagieren, Verwaltung und Fracht benötigte Fläche überdacht (Abb. 19).

Durch die gewählte Konstruktionsform, das komplizierte Materialverhalten, und die Art des gewählten Vorspannprinzips, ist man hier anfänglich allerdings auf Schwierigkeiten gestossen.



Abb. 19

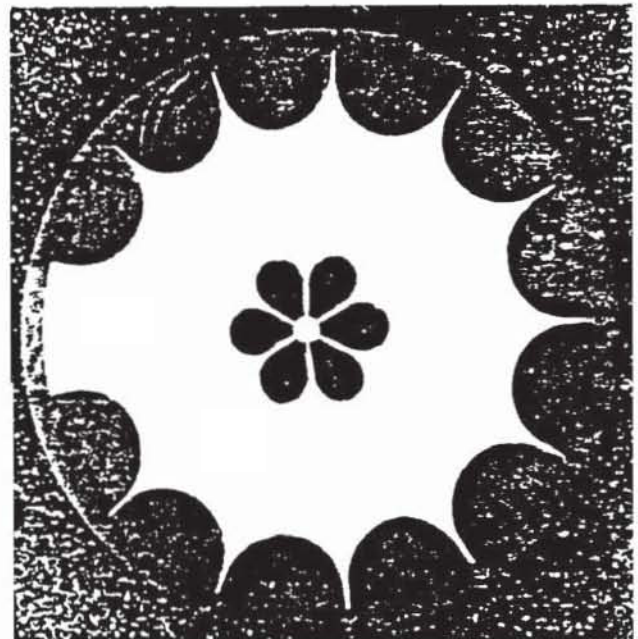


Abb. 20

Durch die Forschungsarbeiten im SFB 64 hoffen wir aber, diese Bauweise noch weiter entwickeln zu können. Stellvertretend hierfür seien die Metallmembranen angesprochen (Abb. 20), die mittlerweile zur Anwendungsfähigkeit entwickelt wurden und die über das Bauwesen hinaus, z.B. in die Herstellung von Sonnenspiegeln, Eingang gefunden haben.