

**Zeitschrift:** Plan : Zeitschrift für Planen, Energie, Kommunalwesen und Umwelttechnik = revue suisse d'urbanisme  
**Herausgeber:** Schweizerische Vereinigung für Landesplanung  
**Band:** 40 (1983)  
**Heft:** 9

**Artikel:** Zur Konstruktion von Holznetzschalen  
**Autor:** Häring, Christoph Hermann  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-783521>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 02.04.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Sportstättenbau



**Freizeitgerechte Sportanlagen haben verschiedene Anforderungen zu erfüllen. Ein vielfältiges Nutzungsangebot, Reserveflächen für spätere Bedürfnisse, publikumsfreundliche Organisation und funktionelle Betriebsform, behagliche Atmosphäre und geschickte Standortwahl sind nur einige davon. Die Konkretisierung und Realisierung zweckmässiger Anlagen in möglichst optimaler Form sind anspruchsvolle Aufgaben für Planer und Erbauer.**

**Daneben steht aber auch die dringende Forderung unserer Zeit, natürliche Erholungsräume auszusparen, zu schützen oder vermehrt in eigentlichen Natursportanlagen zu integrieren, denn der wachsenden Überbauung der Natur fehlen solche naturverbundenen Bewegungs- und Erholungsräume in zunehmendem Mass. Obwohl der Bau von Anlagen für den Freizeitsport zurzeit kräftig vorangetrieben wird, besteht in den meisten Gebieten ein Nachfrageüberschuss; das wachsende Bedürfnis nach aktiver Erholung in der Bevölkerung kann kaum befriedigt werden. Nicht Zwang oder Pflicht treibt heute die Menschen zum Sport, sondern die Flucht vor dem in zunehmenden Masse mechanisierten und motorisierten Alltag. Vermehrte sportliche Aktivität der Bevölkerung kommt erwiesenermassen der ganzen Gesellschaft zugute, weshalb der Ruf nach freizeitgerechten Sportanlagen nicht verstummen darf. Der grosse Aufschwung, den verschiedene Sportarten momentan mitmachen, zeigt deutlich auf, dass dieser Appell von einer grossen Mehrheit der Bevölkerung unterstützt wird.**

**In den nachfolgenden Beiträgen soll aufgezeigt werden, dass die Industrie bereit ist, auf die Bedürfnisse der Sportler – sowohl in Hinsicht auf Sportplatzbau wie auch auf Hallenkonstruktionen – mit technisch ausgereiften Produkten einzugehen. Die Redaktion**

# Zur Konstruktion von Holznetzschalen

**Bis anhin wurde versucht, grosse Spannweiten mit den Baustoffen Stahl und Beton zu überwinden. Ingenieurmässige Überlegungen zeigen aber, dass auch Holz dazu geeignet ist. Massgebend sind die Baustoffeigenschaften, eine günstige geometrische Anordnung der Konstruktionselemente und die relativ einfachen Montagemöglichkeiten. Bereits heute gibt es spezifische Anwendungen.**

Von Christoph Hermann Häring<sup>1</sup>

## Grossräumige Überdachungen

Die Science-Fiction-Literatur eines Jules Verne wurde in den vergangenen zwei Jahrzehnten von der Wirklichkeit längst überholt. Sind solche gewaltigen Entwicklungen auch im Bauwesen zu erwarten – Städte, die auf kältestarrenden Planeten oder in der gleissenden Hitze einer Wüste unter dem Schutz von riesigen Kuppelhüllen blühen und gedeihen (Abb. 1)?

Die faszinierende Idee, unter der selbsttragenden Decke eines grossen Kugelsegmentes eine atmosphärische und klimatische Unabhängigkeit zu finden, ist schon sehr alt.

Ist es daher verwunderlich, dass auch hier experimentierfreudige Amerikaner versuchten, die Utopie von gestern in einer heute möglichen Grössenordnung zu verwirklichen?

Mit der physischen Machbarkeit von Betonschalen scheint man an die wirtschaftlich vertretbare Grenze gestossen zu sein. Offensichtlich besann man sich aber auf die leistungsfähigen Tragwerke der in Holz erstellten Arbeits- und Lehrgerüste dieser Schalen zurück. Mit der Erkenntnis der problemlos belastbaren Hilfsgerüste wurde das Ziel neuer Kuppeldimensionen mit Holz erreicht.

So entstanden in den letzten 15 Jahren in den USA Holz-Kuppelkonstruktionen verschiedenster Grössenordnung, die mittlerweile Spannweiten von über 160 m erreicht haben. Dabei scheinen die Grenzen in bezug auf Tragfähigkeit, Montagemöglichkeit und Wirtschaftlichkeit noch nicht erreicht zu sein.

Im Wettbewerb zwischen den Baustoffen hat sich ergeben, dass Beton und Stahl für diesen speziellen Einsatz dem Holz den Vortritt lassen müssen. Die empirischen Prüfungen in bezug auf die Wirtschaftlichkeit und Leistungsfähigkeit im Baustoffwettbewerb sprechen

eindeutig für den Einsatz von Holz. Dass Tragwerke in Holz für die Überspannung grösster Stützweiten so konkurrenzfähig sind, kann zum vorneherein nicht als selbstverständlich angenommen werden. Mit einigen ingenieurmässigen Überlegungen kann diese Tatsache jedoch einfach erläutert werden.

## Baustoff Holz

Mit der Weiterentwicklung der Holzleimbautechnologie werden immer mehr Ingenieure herausgefordert, die verbesserten Materialeigenschaften des Baustoffes Holz bei anspruchsvollen Bauvorhaben einzusetzen. Das roh aus dem Baum gesägte Brett wird durch folgende Massnahmen der Leimbautechnologie zu einem hochwertigen Konstruktionsbauteil aufgewertet:

- Die natürliche Inhomogenität des Astes wird durch die Lamellierung der Tragelemente zu ungestörtem Kraftfluss verbessert.
- Die industrielle Keilzinkung verbindet

die begrenzte Brettlänge kraftschlüssig zu einem in der Länge frei wählbarem Werkstück.

- Das beleimte Lamellenpaket kann dank seiner leichten Formbarkeit in die entsprechend statisch günstigste Ideallinie eingespannt werden.

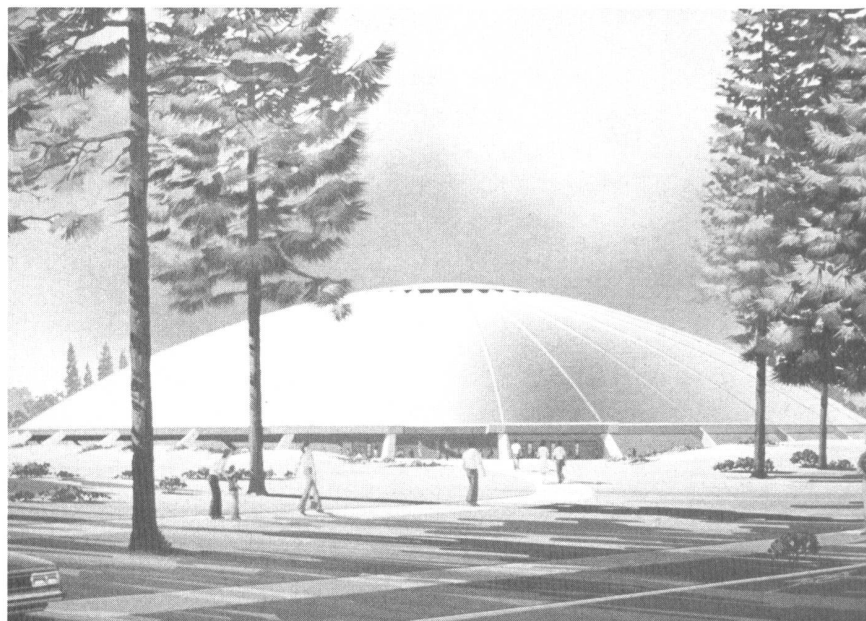
Damit ist die Voraussetzung für den technischen Vergleich der äusserst tragfähigen Holzfasern mit anderen Baustoffen geschaffen.

Die Grenzspannweite oder Grenzbruchlänge als Quotient von Festigkeit und spezifischem Gewicht mit einem allfälligen Systembeiwert zeigt den charakteristischen und potentiellen Leistungswert deutlich auf. Mit der Wahl eines geeigneten statischen Systems kann der eher ungünstige Wert des Schub-/Zugspannungs-Verhältnisses  $\tau_{zul}/\sigma_{zul}$  und die Durchbiegungsempfindlichkeit, die mit dem Wert  $\sigma_{zul}/E$  dargestellt wird, kompensiert werden (Tab. 1). Die geringen zulässigen Schub- und Querdrukspannungen bedingen Fachwerke, Bogen- oder Schalenkonstruktionen, Systeme, welche vorwiegend auf Druck oder Zug beansprucht werden.

## Geometrie

Die Form des Bogens ist wohl die älteste und zeitloseste Konstruktionsart zur rationellen Überbrückung grosser Spannweiten. Bogenkonstruktionen für Überdachungen lassen sich in verleimter Brettschichtart einfacher und preisgünstiger erstellen als in einem anderen Baustoff (Abb. 2).

Die Weiterentwicklung des Bogens



**Abb. 1. Klimatische Unabhängigkeit unter grossen Schalen. Die Science-fiction wird von der technischen Machbarkeit eingeholt. Kuppelüberdachung einer Sportarena in der Vorstellung des Architekten (Modellaufnahme).**

<sup>1</sup> Dipl. Ing. ETH/SIA, c/o Häring & Co. AG, Pratteln.

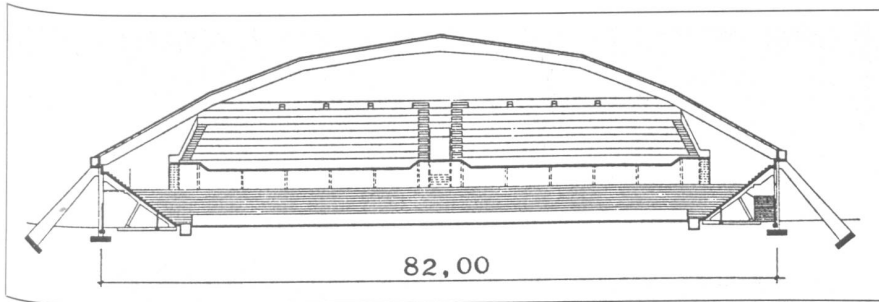


Abb. 2. Wirtschafliche Bogenkonstruktion mit ebenen Bindern aus Brettschichtholz. Eisbahnüberdachung in Zug (Längsschnitt).

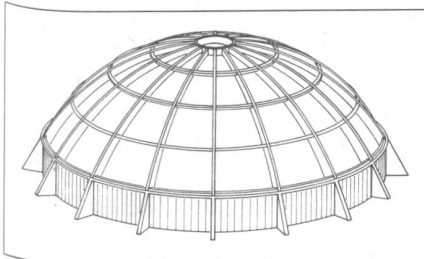


Abb. 3. Schematische Darstellung des Radialbindersystems. Trotz räumlichem Kuppel-effekt erhöhte Materialkonzentration im Pol.

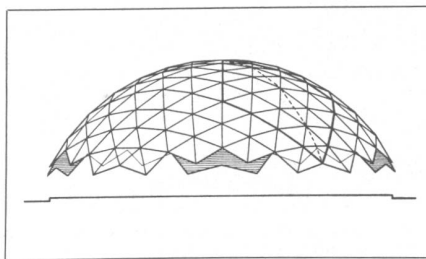


Abb. 4. Netzgeometrie für Metallbausysteme mit maximalen Spannweiten bis etwa 100 m bei Stablängen von etwa 2 m.

## Berechnung und Bemessung

Die Abschätzung der Stabkräfte gelingt bisweilen für symmetrisch wirkende Lasten für die Vordimensionierung näherungsweise genügend genau. Die durch Wind, abgerutschten Schnee- und Sandverfrachtung erzeugten Schnittkräfte einschliesslich der dazugehörigen Verschiebungslinie werden heute auf leistungsfähigen Minicomputern mit den entsprechenden Programmen schnell und genau ermittelt (Abb. 6).

Bei den ersten Holznetzschalen wurden die Schnittkräfte am gelenkig angenommenen Raumfachwerk errechnet. Mit grösser werdenden sphärischen Radien will man aber die Einspannung der Elemente im Knoten mitberücksichtigen. Den mit Bolzen angeflanschten Verbindungen können heute Einspanngrade von 50 bis 80% zugemessen werden. Die Bemessung der Stäbe und die Gesamtsteifigkeit des Systems ist von diesem Wert abhängig.

aus der Ebene brachte das Radialbogensystem, das leicht zu verstehen war. Diese Leimbinderholzschalen weisen bereits räumliche Kuppel-effekte auf, haben aber allerdings eine hohe Materialkonzentration im Pol (Abb. 3).

Der Durchbruch kam mit der erstmaligen Anwendung von Netzgeometrien, welche von der Metallbau-Industrie übernommen wurden (Abb. 4). Mit der Projektion einer Dreiecksmasche auf die Kugelsegmentfläche entstand eine Tragwerksform, die aus Serien gekrümmter Brettschichtmoduln aufgebaut werden konnte. Für das Netzwerk können eine Anzahl von Faktoren bestimmend sein: die praktische Länge des Elementes, die Anzahl der Knotenpunkte, die Ausbildung der Eindeckung und die Einteilung der Fundamente.

Das Ensphere-Konzept wird gebildet durch drei sich durchdringende Bogensysteme, die elementweise Kugelgrosskreisen folgen. Die optische Geradlinigkeit ergibt die wirkungsvolle und statisch günstige Geometrie (Abb. 5). Dadurch macht das System auch einen ästhetisch ausgereiften Eindruck.

Der meist vorgespannte Zugring beim Kuppel-Kämpfer schliesst das Gleichgewicht der Horizontalschubkomponenten und verleiht damit der Struktur eine enorme Steifigkeit und Tragvermögen. Falls die Platzverhältnisse es zulassen, können Fundation und Zugring zusammengelegt werden, was für das Ensphere-Konzept kennzeichnend ist. Damit erreicht man wirtschaftliche, stützenfreie Überdachungsformen bei grossen Durchmessern.

Parameter	Stahl (Fe 360)	Holz (Fichte)
Zugfestigkeit $\sigma_{\mu}$ [Nmm <sup>-2</sup> ]	ca. 420	40
Spez. Gewicht $\gamma$ [kNm <sup>-3</sup> ]	78.5	5
Grenzbruchlänge $l_{grenz} = \frac{\sigma_{\mu}}{\gamma}$ [m]	5350	8000
Schub-/Zugsspannungsverhältnis = $\frac{\tau_{zul}}{\sigma_{zul}}$	0.67	0.12
Durchbiegungsempfindlichkeit = $\frac{\tau_{zul}}{E}$	$700 \times 10^{-6}$	$909 \times 10^{-6}$

Tab. 1. Technischer Leistungsvergleich Stahl-Holz.

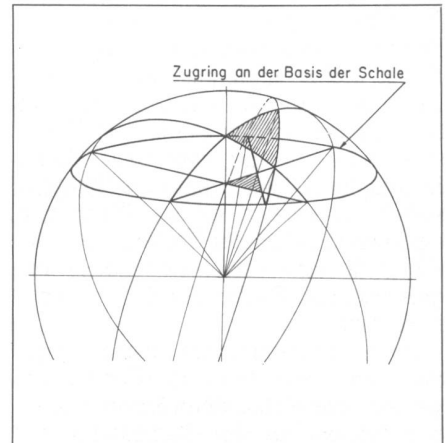


Abb. 5. Projektion von Geraden auf die Kugeloberfläche zur Erzeugung von Grosskreisen.

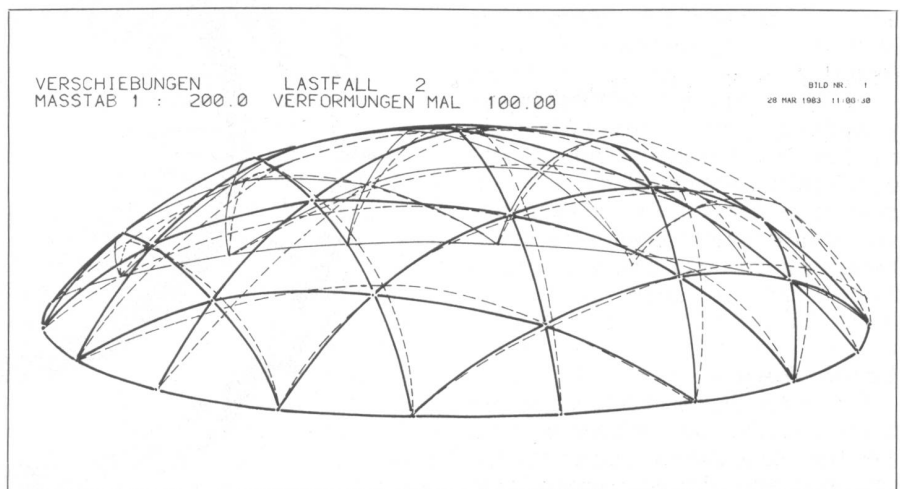
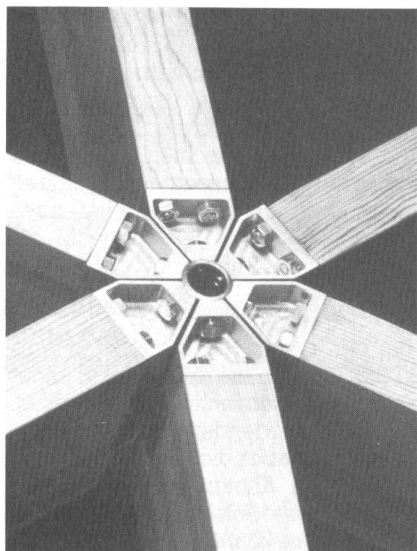


Abb. 6. Grossmaschenstruktur für Holznetzschalen. Die einfache Formbarkeit von Brettschichtholz und die grossen Knicklängen dank günstigen materialtechnologischen Eigenschaften sind die wesentlichen Vorzüge für die Wirtschaftlichkeit von Schalenkonstruktionen in Holz. Stablängen bis 20 m. Mit leistungsfähigen finiten Element- und Graphic-Programmen wird das Tragverhalten ermittelt und dargestellt.



**Abb. 7. Ensphere Knoten.** Die Entwicklung von standardisierten Knotenverbindungen mit hohen Anschlusswerten ermöglichen weitgehende Vorfabrikation.



**Abb. 8.** Die leicht anzutransportierenden Elemente werden mit Kranwagen und mit wenigen Hilfsstützen im Freivorbau montiert. Die Zwischenpfetten werden im Takt eingehängt, damit die nachfolgende Schalung befestigt werden kann.

Die Systemsteifigkeit wird mit der Sicherheit gegen Durchschlagen eines Knotens innerhalb einer Wabe beurteilt. Der statische Ausfall einer solchen Teilfläche stellt aber die Standsicherheit der Schale noch nicht in Frage. Die Wahrscheinlichkeit, dass zwei benachbarte Knotenpunkte gleichzeitig durchbeulen sollten, ist äusserst gering. Wenn also ein kritisch belasteter Knotenpunkt vom «Snap-through» verschont wird, ist ein grossflächiges Beulen der Schale auszuschliessen.

Auch unabhängig vom Einspannungsgrad der Elemente in den Knoten wirken sich die vorteilhaften Eigenschaften des Holzes bei der Bemessung der Stäbe aus. Es ist leicht einzusehen, dass der relativ niedrige Elastizitätsmodul grössere Querschnittswerte erfordert und dementsprechend ein gröberes Maschennetz mit grösseren Knicklängen erlaubt.

Die Weiterentwicklung neuer Knotenverbindungen, die im Test voll wirksame Einspannung ergeben haben, werden Schalendurchmesser bis zu 250 m realisierbar machen. Die Druckkraftreserven des Holzes lassen dann selbst bei diesen grossen Spannweiten noch flache Raumfachwerke zu.

### Verbindung

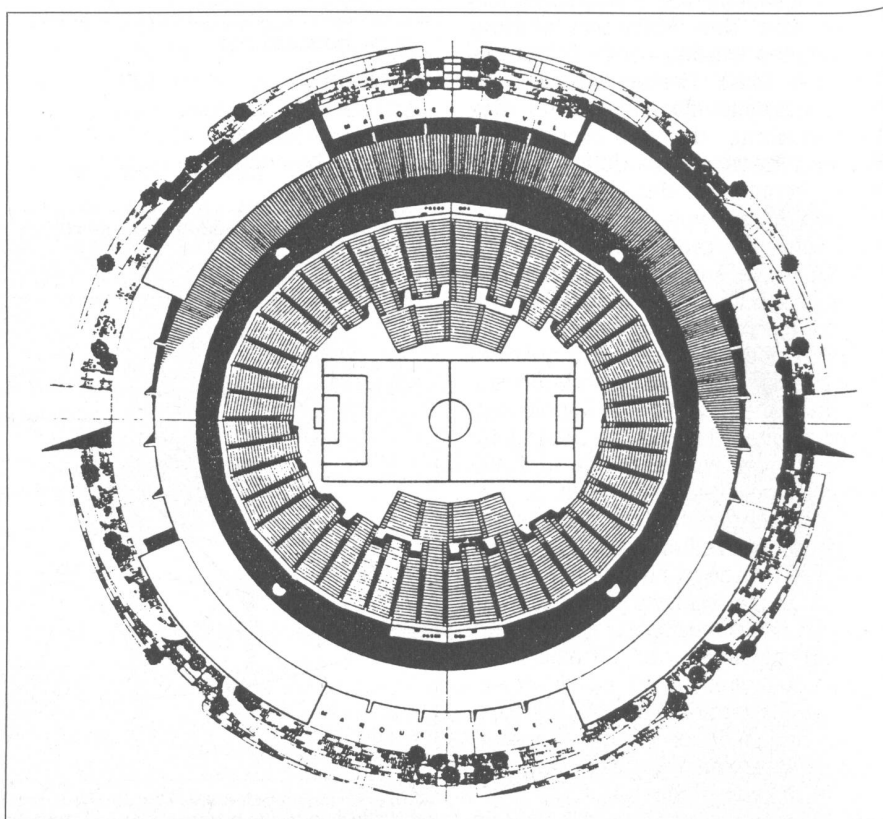
Wie jeder Planer einer Netzschale weiss, entstehen im Netzsystem zwar mehrere gleichartige Segmentfelder, die aber eine Anzahl verschiedener Knoten aufweisen, da die Bauelemente unterschiedliche Winkel um die Knoten herum erzeugen.

Die bis heute verwendeten Knoten

wurden als individuell geschweisste Stahlribben angefertigt. Die mit Bolzen angeflanschten Brettschichtträger werden durch den von der Verbindungsart bedingten Schlupf nur teilweise eingespannt.

Ein neues patentiertes Verbindungssystem spannt gleichartige Stahlguss-Segmente an die Stirnseite der Holzträ-

ger auf, die ihrerseits während der Montage mit einem individuell verbohrten Zentralrohr hochfest verschraubt werden (Abb. 7). Die Systematisierung der Verbindung und die Gewährleistung der statischen Kontinuität im Knoten schafft die Voraussetzung für die notwendige Systemsteifigkeit grösster Schalendurchmesser.



**Abb. 9.** Bei entsprechenden Platzverhältnissen sind selbst überdachte Mehrzwecksportstadien mit Durchmessern von bis zu 250 m technisch und wirtschaftlich realisierbar. Modell-Grundriss eines Fussballstadions mit 30 000 Plätzen nach dem Ensphere-Konzept.

### Fertigung und Montage

Sämtliche Brettschichtholzbauteile werden auf einer Schablone mit demselben sphärischen Radius gefertigt. Die Länge der Stäbe wird rechnerisch ermittelt und mit Winkelschnitten abgebunden. Anschliessend können alle Segmente bereits im Werk aufgespannt werden. Bei einer Länge von 10 bis 20 m sind die Elemente sehr leicht zu transportieren.

Ausgehend von genau eingemessenen Binderschuh im Zugring werden die vormontierten Dreieckelemente lagenweise vorgebaut. Die Temperatur- und Formstabilität von Brettschichtholz einerseits und die systematische, sich selbst kontrollierende Geometrie andererseits gewährleisten einen problemlosen

Freivorbau mit leichten Hilfsstützen (Abb. 8).

Das mit Zwischenpfetten seitlich ausgefachte Netzgerippe wird zur weiteren Aussteifung mit einer Holzhaut überzogen, auf der eine allfällige Isolation und die Wetterhaut befestigt wird. Es sind Anwendungsmöglichkeiten denkbar, bei denen das Skelett direkt mit einer transparenten Haut aus Kunststofftextilien überzogen wird.

### Anwendungsmöglichkeiten

Die bis heute gebauten Schalenkonstruktionen dienen dank ihrer ästhetisch ansprechenden Form für Sportstadien sowie kulturelle und kommerzielle Ausstellungs-Gebäude. In Europa sind bis anhin keine solche Hallentypen gebaut

worden. Die Möglichkeiten sind aber genügend anregend, dass sich Ingenieure und Architekten mit solchen Systemen auch bei uns befassen werden. Es ist durchaus denkbar, dass bei entsprechenden Platzverhältnissen ein witterungsunabhängiges Fussball- oder Mehrzweckstadion auch in Europa im Bereich der Realisierbarkeit liegt (Abb. 9).

Die leicht transportierbare Holznetzschale überdeckt auch in optimaler Weise Massenschüttgutkegel und gewährleistet den Einsatz rationeller Beschickungs- und Umschlagsinstalltionen (Abb. 10). Bei der Lagerung von chemisch aggressiven Stoffen wie Salzen und Düngemitteln, bieten Holzkonstruktionen seit jeher grosse Vorteile. Im weiteren dürfte der Bau von isolierten Experimental-Biosphären zwar ökologisch reizvoll, aber erst bei zwingenden Umweltbedingungen erwogen werden. ■

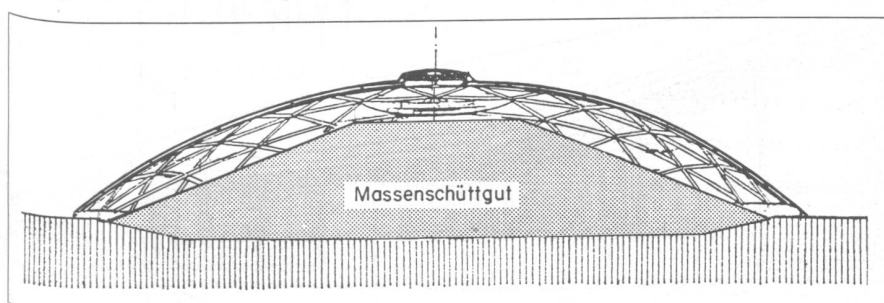


Abb. 10. Leicht transportierbare Überdachungskonstruktion für chemisch aggressive Massenschüttgüter wie zum Beispiel Düngemittel oder Salz. Die Stahlverbindungen werden durch Epoxidharzanstriche geschützt.

Quelle: «Schweizer Ingenieur und Architekt» 25/83.

# AGOB-Halle Alpin

Von Othmar Gnädinger

### ...die «schneesichere» Tennishalle mit der anspruchsvollen Gestaltung

Die AGOB-Halle Alpin wurde speziell für Standorte mit grossen Schneelasten (800 bis 1850 m ü. M.) und anspruchsvollen Gestaltungsvorschriften entwickelt.

Die spezifischen Probleme der Statik und Bauphysik sind nach den neuesten Erkenntnissen der Technik gelöst und in einem differenziert gestalteten Baukörper umgesetzt.

### Ästhetik

Ausgewogene Proportionen der Satteldachhalle mit sauberer Ort- und Traufausbildung ermöglichen dem Architekten den Entwurf ästhetisch ansprechender Projekte. Dies wird unterstützt durch die Anwendung von einheimischen Baumaterialien mit viel Holz, so

dass sich auch grosse Hallen mit ihrer konsequenten Formgebung gut in die alpine Landschaft einpassen.

### Statik und Konstruktion

Die Konzeption der AGOB-Halle basiert auf der reichen Erfahrung der AGOB bei der Überdachung von über 100 Spielfeldern, darunter die höchstgelegene Tennishalle der Schweiz, das «Corviglia»-Tenniscenter in St. Moritz (Bauherr: Kur- und Verkehrsverein St. Moritz) mit über 1000 kg/m<sup>2</sup> Schneelast. Als Tragkonstruktion wurde eine Mischbauweise mit Stahlbindern und Holzpfetten statisch, konstruktiv und formal optimiert. Einzelteile mit maximal 15 m Länge ermöglichen den problemlosen Transport. Ausserdem wird durch die gewählte Konstruktion sichergestellt, dass die Bauarbeiten weitgehend durch das einheimische Baugewerbe ausgeführt werden können.

### Bauphysik

Die speziellen Anforderungen (Durchlüftung, Vereisung, Rückschwellwasser, thermische Isolation usw.) an so riesige Dächer unter extremen Witterungseinflüssen sind professionell gelöst und erprobt.

### Spielbedingungen und Atmosphäre

Den Abmessungen der AGOB-Halle Alpin liegen die einschlägigen Normen zugrunde. Darüber hinaus wird durch die innenstützenlose Konstruktion eine grossflächige Mehrzwecknutzung (z. B. Handball, Ausstellungen, Grossanlässe) ermöglicht.

Selbstverständlich sind alle Detaillösungen und Materialwahlen – wie in allen AGOB-Hallen – tennisgerecht gelöst. Vom Boden bis zur Decke.

Apropos Decke: Die Anordnung der Binder korrespondiert wohlthuend mit der Platzierung der Spielfelder. Die Zwischenbereiche sind mit sichtbaren Holzpfetten überspannt und die ganze Decke mit einer Holzschalung eingedeckt. Nebst der «wohnlichen» Atmosphäre