

Glasdächer und Glasfassaden:

# Für mehr Formenvielfalt in der Architektur

Hans Schober

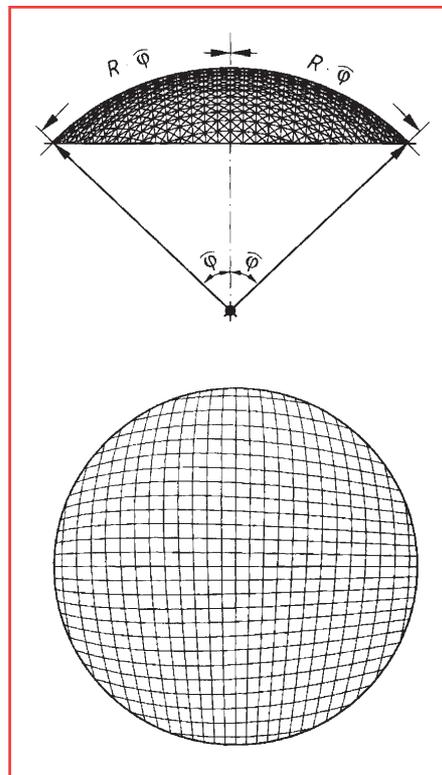
Die Attraktivität von Glaskuppeln wächst mit deren Transparenz. Günstige Voraussetzungen für optimale Transluzenz bieten doppelt gekrümmte Flächentragwerke mit Dreiecksmaschen. Nur das Dreiecksraster ist in der Lage, Kräfte im wesentlichen ohne Stabbiegung nur in der Fläche fortzuleiten. Eine notwendige Voraussetzung für eintägige Membranschalen.

Solche Flächentragwerke werfen drei grundlegende Probleme auf. Wie kann der Gegensatz zwischen günstigem Tragverhalten und schwieriger, doppelt gekrümmter Herstellung aufgelöst werden? Wie kann eine Dreiecksstruktur mit den viel günstigeren Viereckscheiben belegt werden? Wie können doppelt gekrümmte Flächen mit ebenen Vierecksscheiben belegt werden?

Mit den Netzkuppeln sind bekanntlich die beiden ersten Punkte so gelöst, daß das Grundraster des Tragwerkes aus einem Vierecksnetz aus Flachstäben besteht, das quadratisch ist, wenn man es sich ausgelegt denkt. Dieses ebene Netz läßt sich in nahezu alle beliebigen Formen bringen, indem sich der Maschenwinkel von 90° ändert. Aus den Quadraten werden Rhomben. Die Vierecksmaschen werden mit dünnen Seiten diagonal verspannt, so daß Dreieckselemente – die notwendige Voraussetzung für günstige Schalenwirkung – entstehen. Die Verglasung wird direkt auf die Flachstäbe aufgeklemt.

## Zentralsymmetrische Kuppeln

Rippenkuppeln mit Stäben in Ring- und Meridianrichtung sind wegen der rotationssymmetrischen Struktur einfach herzustellen, benötigen aber, da auf Rahmenwirkung bzw. Biegesteifig-



## Zentralsymmetrische Kuppeln

keit angewiesen, entsprechend schwere Träger.

Durch diagonale Seilverspannung der viereckigen verglasten Maschen können solche Rippenkuppeln in echte Schalentragwerke mit optimaler Transparenz überführt werden. Ausgeführt wurden solche Tragwerke beispielsweise für das Rhönklinikum in Bad Neustadt und das Einkaufszentrum Grünau in Leipzig. Rotations-

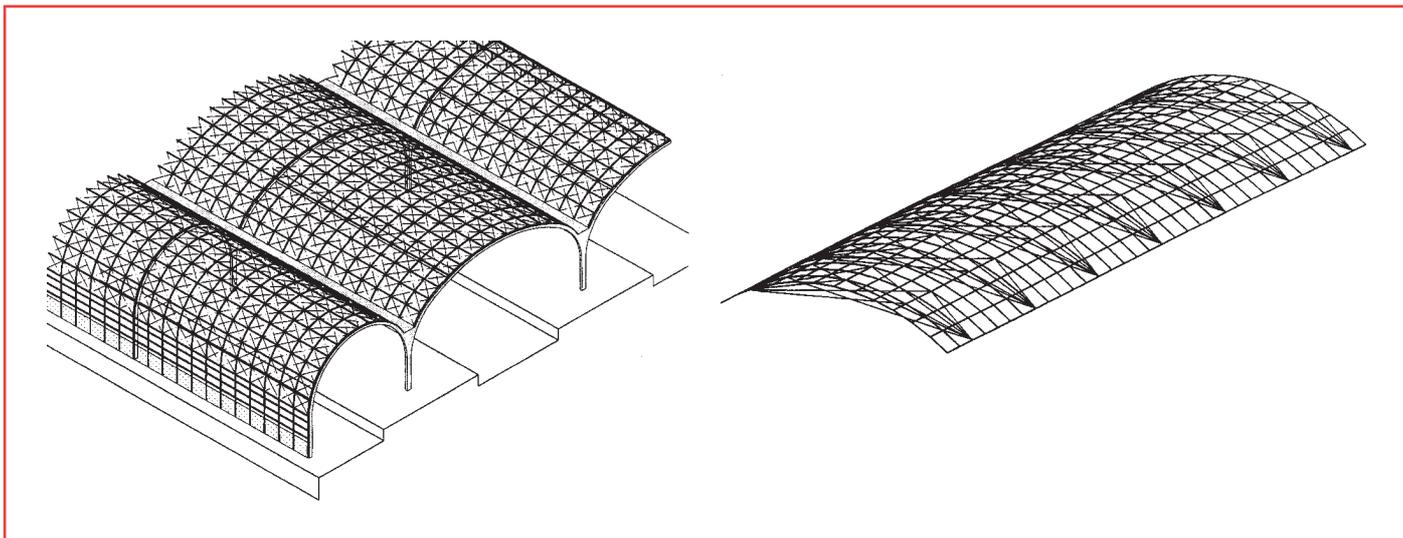
symmetrische Strukturen lassen sich natürlich immer mit ebenen Viereckscheiben belegen. Nachteilig ist die Verdichtung der Stäbe im Zenit, also dort, wo man es gerade nicht haben möchte.

## Tonnenförmige Gewölbe

Tonnen sind im Gegensatz zu den dreidimensionalen Kuppeln „nur“ ebene oder zweidimensionale Stabtragwerke und können deshalb wesentlich einfacher hergestellt werden, was ein Grund für deren weite Verbreitung ist.

Tonnen sind statisch dasselbe wie Bögen, d. h. formt man das Wölbprofil nach der Stützlinie, treten im Bogen nur Normaldruckkräfte auf, aber keine Biegemomente. Zu jeder Belastung gehört aber eine andere Stützlinie, was sofort einleuchtet, wenn man die Stützlinie als umgekehrte Seillinie versteht, eine äußerst nützliche Erkenntnis, die bei der Formfindung von Kuppeln Anwendung finden kann. Tonnen müssen aber den unterschiedlichsten Belastungen widerstehen können und benötigen daher biegesteife Bogenträger.

Erst wenn man die Vierecksmasche der Tonne durch gespannte Diagonalseile in Dreieckselemente überführt und die Tonne zusätzlich mit steifen Querschotten versieht, wird sie zur effizienten Zylinderschale. Die Querschotten schaffen sozusagen die für eine Schale nötige zweite Flächenkrümmung und werden üblicherweise als vorgespannte Sonnen- oder vorgespannte Speichenräder ausgebildet, deren Abstand von der Spannweite und den Krümmungsverhältnissen der Tonne abhängt.



Tonnenförmige Gewölbe

Ist wie bei der Innenhofüberdachung des Quartiers 203 in der Friedrichstraße in Berlin eine Diagonalverspannung in der Dachfläche der Tonne unerwünscht, da es sich um ein Biegetragwerk handelt, so sind stärkere Profile nötig.

Mit einer räumlichen Verspannung in den Gebäudeachsen gelang es, zusammen mit der Vierendeelwirkung der vollverschweißten Rohre die Profile dennoch zu minimieren. Kann die Tonne nicht kontinuierlich am Rand, sondern nur in bestimmten Abständen gelagert werden, wie beispielsweise bei der Bahnsteigüberdachung des Spandauer Bahnhofs in Berlin, sorgt die Schale auch für die Lastabtragung in Längsrichtung und wird zur echten Zylinderschale. Sie trägt dann ungefähr wie ein durchlaufender Balken mit einer der Stichhöhe entsprechenden Bauhöhe.

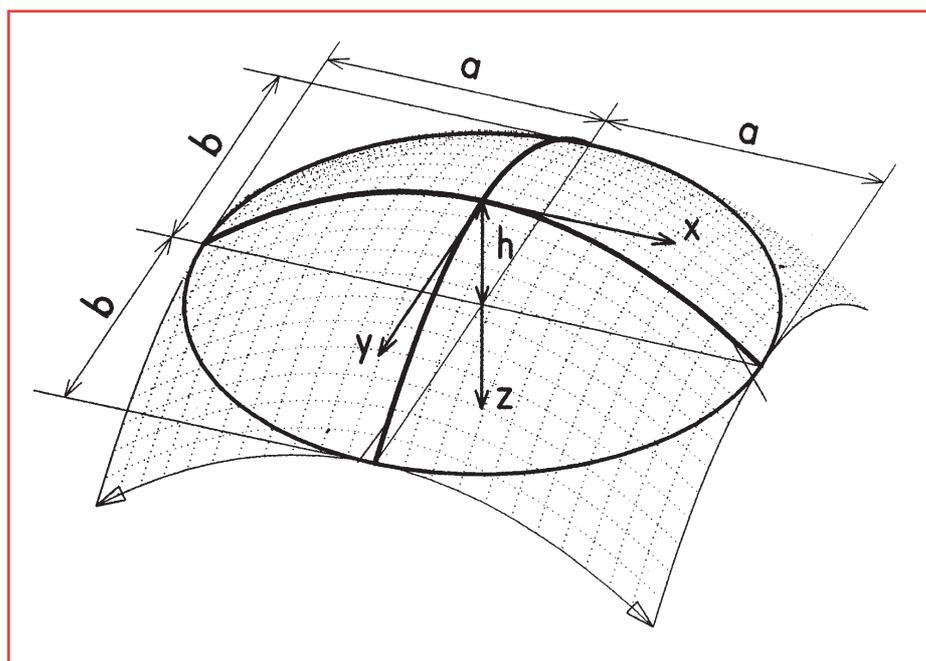
Die Diagonalseile werden in alten Lastfällen erheblich beansprucht und müssen sorgfältig verankert und geklemmt werden. Ein steifer Schott an den Auflagern muß dann nicht nur für die Queraussteifung der Tonne, sondern auch für eine der Schale gerechten Aufnahme der Auflagerkräfte sorgen, d. h. er muß in der Lage sein, kontinuierlich Schubkräfte aus der Dachebene abzunehmen. Die Funktion des Querschotts übernimmt hier der stählerne Bogenträger.

## Flache Dächer geringer Wölbung

Häufig werden Dächer über viereckigen Innenhöfen in Kissenform mit geringer Wölbung gewünscht, um die Sicht aus den Geschossen oberhalb des Daches nicht zu behindern. Die Kissenform läßt sich nur dann

gige bzw. unterspannte Systeme in Frage kommen.

Beim Glasdach der Deutschen Bank in Berlin wölbt sich ein Stabnetz, das den Druckgurt bildet, 0,60 m nach oben und ein Seilnetz, das den Zuggurt bildet, 1,40 m nach unten. Das Stabnetz ist mit viereckigen Isolier-



Galerie Rostocker Hof mit einer Netzkuppel als Translationsfläche

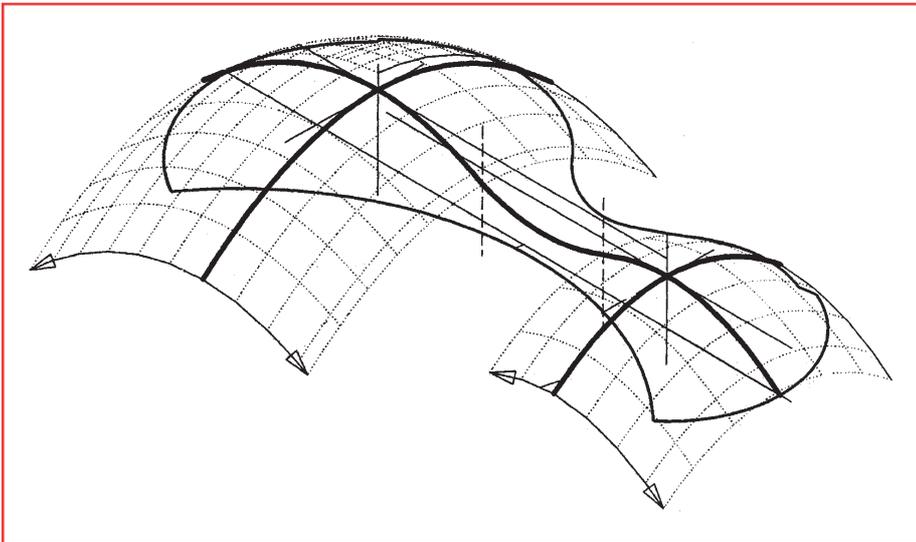
mit ebenen Vierecksscheiben belegen, wenn der Stich und damit auch die Scheibenverwindung gering bleibt. Bei geringen Wölbungen scheiden jedoch einlagige Schalenträgerwerke aus Stabilitätsgründen aus, so daß nur zweila-

glasscheiben direkt verglast und das Seilnetz verläuft diagonal und stützt zur Vermeidung eines Pfostenwaldes nur jeden zweiten Knoten. Zur Optimierung der Beanspruchung wurde für die Kissenform eine Formfindungsberechnung durchgeführt.

### *Kuppeln mit verglasten Dreiecksmaschen*

In vielen Fällen stehen wir vor der Aufgabe, Glaskuppeln freier Form zu bauen, weil sie sich über unregelmäßigen Grundrissen wölben, den

in Brüssel sollte der unregelmäßige Innenhof mit einem isolierverglasten kissenförmigen Glasdach überspannt werden. Die Wölbung erlaubte ein eintägiges Schalentragswerk, dessen Gestalt über eine Hängeform gefunden wurde. Vierecksmaschen hätten sich zu stark verwunden, so daß in beiden Fällen nur ein direkt verglastes dreieckiges Stabnetz in Frage kam, ideale Voraussetzung für ein Schalentragswerk. Man erhält trotz der ungünstigen Dreiecksstruktur, bei der sich sechs Stäbe in Knoten kreuzen, ein filigranes Gebilde.



*Glaskuppel für die Flußpferde im Zoo Berlin als Translationsfläche mit ebenen Vierecksmaschen*

Übergang zwischen unterschiedlichen geometrischen Flächen bilden oder gar als Skulptur wirken sollen.

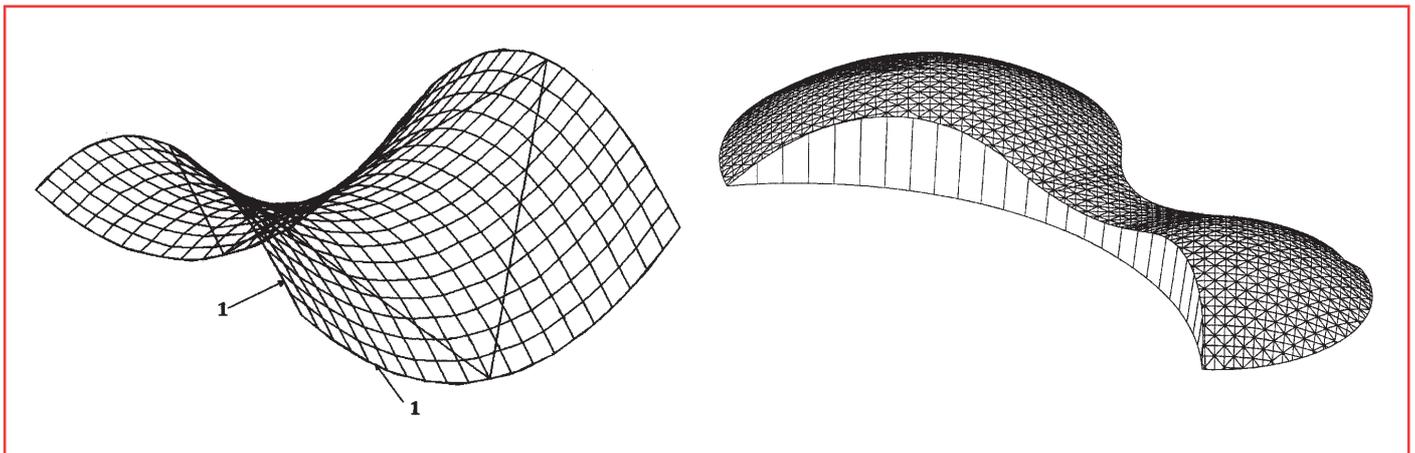
In der Regel lassen sich solche Flächen nicht mehr mit ebenen Vierecksscheiben belegen, so daß man genötigt ist, die ungünstigeren Dreiecksscheiben zu verwenden. Insbesondere bei Isolierverglasung wird man dann auch das Stabnetz als direktverglastes Dreiecksnetz ausbilden.

Der Übergangsbereich zwischen den beiden Tonnen des Daches für das Museum für Hamburgische Geschichte war trotz der windschiefen Vierecksmaschen in weiten Bereichen mit viereckiger Einfachverglasung eindeckbar, die aber an Stellen extremer Scheibenverwindung in Dreiecke aufgelöst wurden.

Beim Palais Bernheimer in München wie auch beim Flämischen Rat

Das Atriumdach der DG Bank am Pariser Platz in Berlin verläßt die herkömmliche Architektur von Dächern. Frank O. Gehry entwarf hier eine Fläche mit dreidimensionalem Volumen, ein onduliertes Tonnendach als Skulptur, das in den Innenraum eingreift.

Solche freie Formen können nur mit Dreiecken verglast und mit einem dreieckigen Stabnetz als Schale gebaut werden. Das Schalentragswerk ist am Rand nicht kontinuierlich, sondern lediglich im Abstand von etwa 16 m



Das hyperbolische Paraboloid als Translationsfläche mit ebenen Vierecksmaschen am Flußpferdehaus im Berliner Zoo

Bilder: Schlaich, Bergemann & Partner

gestützt. Wegen der geringen Krümmung in der Längsrichtung mußte die Schale aus Stabilitätsgründen in den Auflagerachsen durch „Sonnen“ zusätzlich ausgesteift werden. Das gesamte Tragwerk besteht aus Edelstahl. Die Knoten wurden dreidimensional gefräst.

## Kuppeln als Translationsfläche

Die letzten Beispiele zeigen, daß sich freie, doppelt gekrümmte Flächen zwar stets mit Dreiecken bilden lassen, leider aber nicht die Transparenz und auch Wirtschaftlichkeit einer viereckig verglasten Struktur erreichen. Bei doppelt gekrümmten Flächen mit günstiger viereckiger Struktur müssen entweder die Glasscheiben die Maschenverwindung mitmachen können oder die gleiche Krümmung wie die Tragkonstruktion aufweisen, oder aber die Netzgeometrie muß so gewählt werden, daß die einzelnen Vierecksmaschen stets eben bleiben. Bei der Kugelkalotte in Neckarsulm folgen die sphärisch gekrümmten Isoliergläser der Tragwerkskrümmung, erlauben so verwendete Vierecksmaschen und führen zu einer idealen Kugelgestalt. Diese architektonisch anspruchsvolle, aber auch teure Verglasungsart würde den Bau doppelt gekrümmter Schalen mit viereckigen

Maschen nicht sehr einschränken, gäbe es da nicht einen geometrischen Trick, nahezu beliebige Formen mit ebenen Vierecken zu bauen.

Läßt man beispielsweise eine Parabel über eine dazu senkrecht stehende Parabel gleiten, entsteht ein elliptisches Paraboloid mit einer elliptischen Grundrißkurve, das mit einem gleichmaschigen Netz aus ebenen Viereckscheiben belegbar ist. Ein gebautes Beispiel dazu ist die Innenhofüberdachung des Rostocker Hofes in Rostock. Weist die Leitlinie gegenüber der Erzeugenden eine gegensinnige Krümmung auf, entsteht das hyperbolische Paraboloid, das bekanntlich auch mit zwei Schalen geradlinig Erzeugender gebildet werden kann.

Man kann also Hyparflächen mit geraden Rändern herstellen, wodurch sie einfach gelagert werden können. Als Beispiel hierfür dient die Innenhofüberdachung in Leipzig. Die Translationsfläche überdeckt einen trapezförmigen Innenhof mit ebenen Vierecksscheiben. Translationsflächen ermöglichen also eine riesige Formenvielfalt von Netzkuppeln mit gleichmaschigem Netz aus ebenen Vierecksmaschen.

Leitlinie und Erzeugende müssen aber nicht wie bei den gezeigten Beispielen aus geometrisch einfachen Kurven bestehen, sondern können als beliebige Raumkurven definiert werden und eröffnen dadurch eine riesige Formenvielfalt.

Jüngstes Beispiel hierfür ist das Flußpferdehaus im Zoo Berlin. Hier wurden zur Überdachung der beiden kreisrunden Becken als Leitlinie

zwei Parabeln mit einer frei definierten Übergangskurve gewählt. Als Erzeugende mußten ebenfalls Parabeln gewählt werden, die mit denen der Leitlinien jeweils identisch sein mußten, um kreisförmige Grundrißkurven zu ergeben. Innerhalb des Übergangsbereiches wurden die unterschiedlichen Erzeugenden des großen und kleinen Beckens ineinander überführt. Der kreisförmige Einschnitt der Besucherhalle in die Netzkuppel wird durch einen auf der Spitze stehenden Kreiskegel mit 8° Neigungswinkel beschrieben, welcher sich mit der Kuppel in einem frei geschwungenen Rad verschneidet. Die Kegelfläche definiert die mit 8° geneigte Fassadenfläche, die als Regelfläche verwindungsfrei verglast werden kann. Das Beispiel zeigt, daß Netzkuppeln in nahezu beliebigen Form wirtschaftlich hergestellt werden können, indem mit dem Trick der Translationsfläche die gesamte Kuppel aus einem gleichmaschigen Netz mit ebenen Viereckscheiben hergestellt wird, eine in gestalterischer und wirtschaftlicher Hinsicht optimale Methode.

Nachdruck aus dem Buch „Glass – Konstruktion und Technologie“ mit freundlicher Genehmigung der Messe Düsseldorf. □