

# Zur Entwicklung der Zeiss-Dywidag- Schalenbauweise

Cengiz Dicleli

Was steckt hinter den Bezeichnungen »System Zeiss-Dywidag« und »Zeiss-Dywidag-Schalenbauweise«? Was hat eine in Jena ansässige Firma, die durch Herstellung von exzellenten optischen Systemen weltweit bekannt wurde, mit der Baufirma Dywidag (Dyckerhoff & Widmann AG) zu tun, die durch ihre innovativen Schalen- und Brückenbauten ebenfalls international anerkannt war? Die spannende Entwicklung der Schalenbauweise wurde durch die erfolgreiche Zusammenarbeit von hochtalentierten und motivierten Fachleuten und Firmen verschiedener Disziplinen möglich, die sich zusammaten, um eine schwierige konstruktive Aufgabe zu lösen.

## Die Erfindung der Planetariumskuppel

Alles begann 1903 in München mit der Gründung des Deutschen Museums, dessen Hauptinitiator und erster Generaldirektor kein geringerer als OSKAR VON MILLER war, ein Bauingenieur und Besitzer eines Ingenieurbüros, führend auf dem Gebiet der Wasser- und Energiewirtschaft.<sup>1</sup> MILLER hatte schon seit der Gründung des Museums geplant, eine astronomische Abteilung mit einem Planetarium zu errichten. Es gab den Vorschlag, dafür eine begehbare und sich drehende Blechkugel mit entsprechenden Löchern zu versehen, die von außen beleuchtet den Sternenhimmel und die Bewegungen der Sonne und der Planeten simulieren sollte. Da dies zu umständlich erschien, wurde die Idee entwickelt, den Sternenhimmel auf die innere Fläche einer Kugel zu projizieren.<sup>2</sup> Obwohl Carl Zeiss in Jena für die Realisierung dieser Idee prädestiniert war, zeigte sich die Firma daran zunächst nicht besonders interessiert. MILLER musste sich persönlich bemühen, um sie zur Annahme des Auftrags zu bewegen. 1912 begann man in Jena mit den ersten Untersuchungen.<sup>3</sup>

Mit dem ersten Weltkrieg kam das Projekt zum Erliegen, erst ab Juli 1918 nahm Zeiss die Bemühungen um den Himmelsprojektor wieder auf.<sup>4</sup> WALTHER BAUERSFELD, Geschäftsführer von Carl Zeiss in Jena, ein Maschinenbauingenieur und Physiker, übertrug die Entwicklungsarbeit einem seiner Mitarbeiter, der jedoch bei der Konstruktion der Lichtquelle für die Projektion des Fixsternenhimmels auf unerwartete Schwierigkeiten stieß. Den Brief des Konstrukteurs an MILLER, in dem er ihm empfehlen wollte, das ganze Projekt aufzugeben, konnte BAUERSFELD gerade noch verhindern. Er entschied sich, die Konstruktion selbst in die Hand zu nehmen, um die von ihm stammende Idee des Projektionsplanetariums zu verwirklichen.<sup>5</sup>

Dem versierten Ingenieur und Physiker gelang es, einen Projektionsapparat zu entwickeln, zu dessen Erprobung er nunmehr einen Kuppelraum mit 16 Metern Durchmesser benötigte. Da sich dafür auf dem Werksgelände kein geeigneter Platz fand, sollte die Kuppel auf dem Dach einer der Geschossbauten gebaut werden. Das war wohl der entscheidende Moment, der schließlich zur Entwicklung des Zeiss-Dywidag-Systems führte. Die Kuppelkonstruktion musste möglichst leicht sein, um das Dach nicht zu überlasten. So entschied man sich für ein halbkugelförmiges Netzwerk aus Eisen, das aus ca. 3840 Stäben in 51 unterschiedlichen Längen bestand<sup>6</sup> und das Zeiss mit großer Genauigkeit fertigen konnte<sup>7</sup>. Die räumliche Netzwerkstruktur von BAUERSFELD setzte sich aus Flachstäben mit einem Querschnitt von 8 x 20 Millimetern zusammen, die durch einen speziellen Knoten, bestehend aus zwei miteinander verschraubten Scheiben mit ringförmigen Einfräsungen, verbunden waren. Jedoch musste noch ein weiteres Problem gelöst werden: die Entwicklung einer

<sup>1</sup> [www.wikiwand.com/de/Oskar\\_von\\_Miller](http://www.wikiwand.com/de/Oskar_von_Miller) (abgerufen am 05.05.2017)

<sup>2</sup> ebd.

<sup>3</sup> [www.planetarium-jena.de/90-Jahre-Zeiss-Planetarium-Jen.169.0.html](http://www.planetarium-jena.de/90-Jahre-Zeiss-Planetarium-Jen.169.0.html) (abgerufen am 20.05.2017)

<sup>4</sup> ebd.

<sup>5</sup> Das Projektionsplanetarium von Carl Zeiss. Unter: [www.deutsches-museum.de/sammlungen/meisterwerke/meisterwerke-i/planetarium](http://www.deutsches-museum.de/sammlungen/meisterwerke/meisterwerke-i/planetarium) (abgerufen am 20.05.2017)

<sup>6</sup> Hartwig Schmidt: Von der Steinkuppel zur Zeiss-Dywidag-Schalenbauweise. In: Beton- und Stahlbetonbau, 01/2005, S. 87

<sup>7</sup> Bertram Kurze: Industriearchitektur eines Weltunternehmens. Carl Zeiss 1880–1945. Hrsg. vom Thüringischen Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie. Erfurt 2016, S. 64

<sup>8</sup> 90 Jahre Torkretieren. Torkret AG Essen, 2010

<sup>9</sup> Walther Bauersfeld: Die Entwicklung des Zeiss-Dywidag-Verfahrens. Vortrag am 12.12.1942 in Berlin. Abgedruckt in: Jürgen Joedicke: Schalenbau-Konstruktion und Gestaltung. Stuttgart 1962

<sup>10</sup> wie Anm. 6, S. 64

<sup>11</sup> Nach dem tschechischen Bauingenieur Josef Melan (1853–1941), der sein Verfahren 1892 zum Patent anmeldete

<sup>12</sup> [www.gdp-planetarium.org/planetarien/geschichte-der-planetarien.html](http://www.gdp-planetarium.org/planetarien/geschichte-der-planetarien.html) (abgerufen am 14.08.2017)

**Rechts oben** Versuchsplanetarium Jena (D) Bauzustand von 1922

**Rechts unten** Torkretieren des Planetariums (Durchmesser 25 m, Schalendicke 6 cm) in Jena (D) 1926



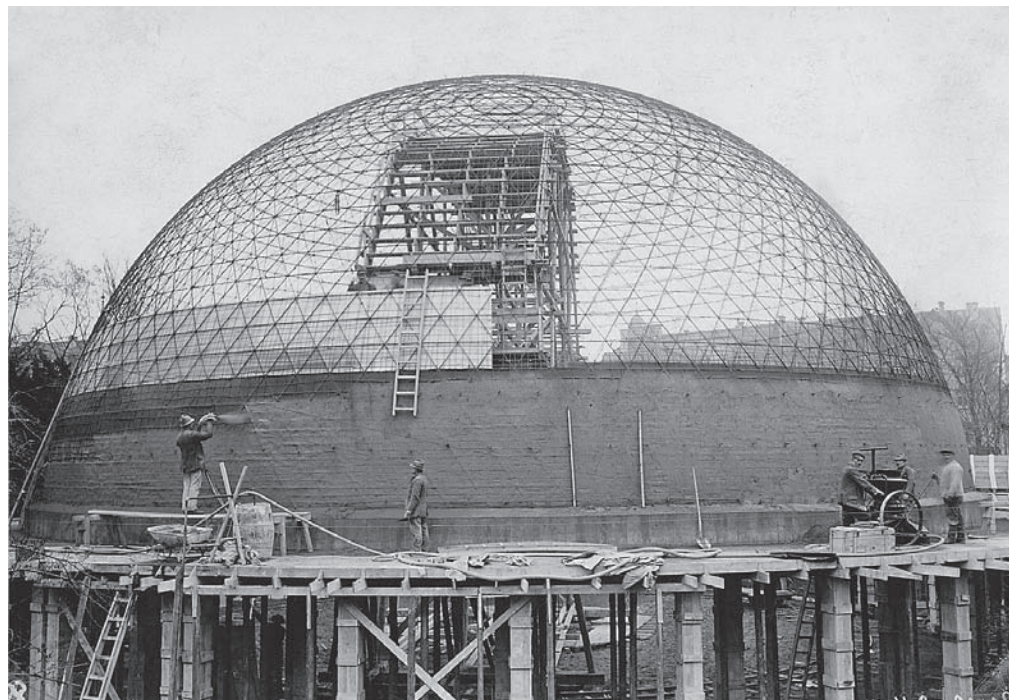
Hülle, die leicht und nach außen wetterfest sein sollte und die im Inneren eine glatte Projektionsfläche mit genauer Kugelform aufweisen musste.

1922 wandte sich BAUERSFELD dafür an die Firma Dywidag, die für Carl Zeiss Jena bereits mehrere Bauvorhaben mit Erfolg realisiert hatte. August Mergler, einer ihrer Ingenieure aus deren Nürnberger Niederlassung, erinnerte sich an das kurz zuvor in den USA entwickelte und in Deutschland 1920 von der Firma Torkret unter dem Fachbegriff Spritzbeton<sup>8</sup> eingeführte Verfahren »zum Mischen und Auftragen von modellierbaren oder haftenden Materialien«<sup>9</sup>. Daraufhin wurde entschieden, »das tragende Netzwerk nach Ergänzung mittels leichter

Bewehrung mit Hilfe [...] des Torkretverfahrens [...] in eine 3 cm starke Betonhaut zu hüllen. Die glatte Innenfläche sollte dadurch erzielt werden, dass von innen her eine Holzschalung von kugelliger Krümmung am Netzwerk angelegt wird und von außen Beton [...] angespritzt wird [...]«<sup>10</sup>. Die 3 x 3 Meter große Holzschalung sollte entsprechend dem Baufortschritt versetzt werden, was allerdings zur Folge hatte, dass das eiserne Netzwerk mit Beton umhüllt und daher nicht wiederverwendbar war. Ein solches Vorgehen kam bereits beim Bau von Bogenbrücken unter dem Namen Melan-Bauweise zum Einsatz.<sup>11</sup> Steife Stahlfachwerkträger wurden dort sowohl als Schalungsträger als auch einbetoniert als Bewehrung eingesetzt.

1922 ließ die Firma Carl Zeiss Jena ihre »Knotenpunktverbindung für eiserne Netzwerke« unter DRP-Nr. 420.823 und das »Verfahren zur Herstellung von Kuppeln und ähnlich gekrümmten Flächen aus Eisenbeton« unter DRP-Nr. 415.395 patentieren. Bei späteren größeren Konstruktionen ging man dazu über, das Netzwerk nicht mehr einzubetonieren, sondern als Gerüst für die hölzerne Schalung zu benutzen, in vielen Fällen auch zweilagig, um für weitgespannte Konstruktionen die Tragfähigkeit des Netzes zu erhöhen.

Nachdem der Planetariumsprojektor in der Versuchskuppel ab 1923 ausgiebig getestet war und die Öffentlichkeit ihn als »Wunder von Jena« feierte, wurde er nach München geliefert und 1925 im Deutschen Museum in Betrieb genommen.<sup>12</sup> 1926 folgten die Projekti-



onsplanetarien in Wuppertal-Barmen, Leipzig, Düsseldorf, Jena, Dresden und Berlin, 1927 in Mannheim, Nürnberg und Wien, später auch in Hannover, Stuttgart, Rom, Moskau, Stockholm, Mailand und Chicago.

### Dywidag und der moderne Schalenbau

So nahm der moderne Schalenbau seinen Anfang. Er unterscheidet sich vom historischen gemauerten Kuppelbau grundlegend. Bei den traditionellen, aus Natur- oder künstlichen Steinen gemauerten Tonnen- oder Kuppelbauten führte das Fehlen von zugfestem Baumaterial sowie entsprechender Berechnungsmethoden zu großen Querschnitten. So entstanden z.B. das Pantheon in Rom, die Hagia Sophia in Istanbul, die Dome in Florenz und der Petersdom in Rom (mit einem Durchmesser von über 40 Metern und einem Gewicht von 10000 Tonnen) mit meterdicken Kuppeln und Wänden. Die Jahrhunderthalle in Breslau mit ihren beachtlichen 65 Metern Spannweite aus Stahlbeton besitzt eine Rippenkuppel, die 6340 Tonnen wiegt. Dagegen beträgt das Gewicht einer Kuppel der Großmarkthalle Leipzig bei einer Dicke von 9 bis 10,7 Zentimetern und mit der Spannweite von 80 Metern lediglich 2000 Tonnen.

Erst die Entwicklung von Zementen höherer Festigkeit sowie Fortschritte in der Stahlbetonbauweise und in der Membrantheorie machten vier bis acht Zentimeter dünne Schalenkonstruktionen möglich, bei denen die Kräfte überwiegend Membranspannungen hervorrufen. Diese bleiben über den Querschnitt weitgehend konstant und weisen keine Komponente senkrecht zur Schalenfläche auf. Dies führt zu fast völlig biegungsfreien Querschnitten und lediglich in der Schalenfläche liegenden Kräften (Membrankräfte). Einen guten Überblick über dieses Thema stellen immer noch die Veröffentlichung von Jürgen Joedicke »Schalenbau – Konstruktion und Gestaltung« (1962) und Franz Harts »Kunst und Technik der Wölbung« (1965) dar. Bereits während der Errichtung der Versuchskuppel 1922 war FRANZ DISCHINGER, der erfahrene Oberingenieur bei Dywidag, zum Team um BAUERSFELD in Jena gestoßen. Ein Jahr später wurde der an der TH München frisch diplomierte, hochmotivierte und ehrgeizige ULRICH FINSTERWALDER Mitarbeiter von DISCHINGER. FINSTERWALDERS Mechanik-Professor an der TH München war LUDWIG FÖPPL. Dieser weckte in FINSTERWALDER das Interesse für Schalenkonstruktionen, was dazu führte, dass dieser seine Diplomarbeit über die Theorie der Netzwerkschalen anfertigte.<sup>13</sup> Daher konnte er sofort



als Verbindungsmann von Dywidag in Jena eingesetzt werden und sich mithilfe von BAUERSFELD intensiv mit der Statik von Tonnenschalen befassen, da man erkannt hatte, dass diese sich zur Abdeckung von rechteckigen Industriegrundrissen besser eignen als Kugelschalen.

»ULRICH FINSTERWALDER entwickelte die (bis dahin von BAUERSFELD und DISCHINGER vorangetriebene) Statik der Tonnenschalen zur Perfektion. Es gelang ihm nachzuweisen, dass der ursprüngliche Gedanke des (DISCHINGER) Patents, wonach die Vorteile einer Zylinderschale erst dann wirksam werden, wenn ihr Querschnitt zur Stützzlinie eine starke Überhöhung aufweist, bautechnisch unpraktikabel und anderweitig lösbar sei. Er führte statt der elliptischen die kreissegmentförmige Querschnittsform von Tonnenschalen auf der Grundlage einer von ihm neu durchgerechneten Biegetheorie der querversteiften Zylinderschalen ein. [...] DISCHINGER promovierte 1929 an der TH in Dresden über die Tragwirkung von Vieleckkuppeln, FINSTERWALDER 1930 in München über oben genannte Theorie biegesteifer Schalen.«<sup>14</sup>

Die nachhaltige Forschungsarbeit beider Ingenieure ermöglichte, auch wenn sie intern einen heftigen Konkurrenzkampf führten,<sup>15</sup> weitere Entwicklungen und Patente zur Schalenbauweise. Dywidag wurde zur führenden Firma im Schalenbau. Hervorragende Ingenieure wie ANTON TEDESCO (USA), EDUARDO TORROJA (Spanien), FELIX CANDELA (Mexiko) und viele andere entwickelten freiere Formen und sorgten weltweit für spektakuläre Beispiele in Schalenbauweise.

<sup>13</sup> Cengiz Dicleli: Ulrich Finsterwalder 1897–1988. Ein Leben für den Betonbau. In: Beton- und Stahlbetonbau, 09/2013

<sup>14</sup> wie Anm. 6, S. 69

<sup>15</sup> vgl. Dicleli, S. 66

**Oben** Versuchstonne 1926, Franz Dischinger (links) und Ulrich Finsterwalder (Mitte)

**Unten** Entwicklung der Querschnittskurven der Zeiss-Dywidag-Schalengewölbe

