
Schalentragwerke aus Spritzbeton

SHOTCRETE SHELL SUPPORTING SYSTEMS

DIPL.-ING. ULRICH MÜTHER, MÜTHER GMBH SPEZIALBETONBAU, BINZ/RÜGEN

In den letzten 25 Jahren wurden von uns über 60 doppelt gekrümmte Betonschalen in Spritzbeton ausgeführt. Hyparschalen, Kugelschalen und freie Flächen überdecken Stadthallen, Sportstätten, Kirchen, Musikpavillons und andere Gesellschaftsräume.

Das Naßspritzverfahren wurde zum Bau von Schlitten- und Bobbahnen sowie Radrennbahnen eingesetzt. Die Hochleistungstrainingsstätte für Leichtathletik Kienbaum erhielt eine Raumhülle aus gasdichtem Spritzbeton. Das Spritzbetonverfahren wird auch im Sanierungsbereich genutzt. Es ist vorgesehen, Behälter für Wasser, Gülle und andere Stoffe in Spritzbeton herzustellen. 1992 wurden die großen, doppelt gekrümmten Schalendächer für die neue Michael-Kirche und das Gemeindezentrum in Hannover im Spritzbetonverfahren betoniert.

Over the past 25 years we executed more than 60 doubly curved shotcrete shells. Hypar shells, spherical shells and free-form roof structures cover municipal halls, sports grounds, churches, bandstands and other general public areas.

The wet-mix shotcrete method was applied in the construction of sledging and bobsleigh courses and of cycling tracks. The Kienbaum athletics training center was enclosed with gastight shotcrete. Shotcrete is also used for repair purposes. It is planned to construct shotcrete tanks for water, liquid manure and other substances. In 1992 the large doubly curved shotcrete shell roofs for the new St. Michael's Church and the community center in Hannover were completed.

1. Anwendung des Spritzbetonverfahrens zum Bau von Planetariumskuppeln

Eine 40 m weit gespannte und nur 6 cm dicke Kugelschale für die Schottwerke in Jena, unter Leitung von Franz Dischinger, war der Beginn des modernen Schalenbaus. Das erste Zeissplanetarium erhielt bereits 1924/1925 eine Spritzbetonkuppel (Bild 1).

Das Carl-Zeiss-Werk in Jena stellte dieses Stabnetzwerk in hoher Präzision her. Somit

konnten die bis dahin ungewohnten Anforderungen an die geometrische Genauigkeit der inneren Fläche erfüllt werden (Bild 2).

Diese Spritzbetonschale steht nun schon über 65 Jahre und ist heute noch als Planetariumskuppel ein Renommee für die Carl-Zeiss-Werke in Jena.

Bei den ersten Planetariumskuppeln wurde gegen eine verschiebbare Schalungsfläche gespritzt.

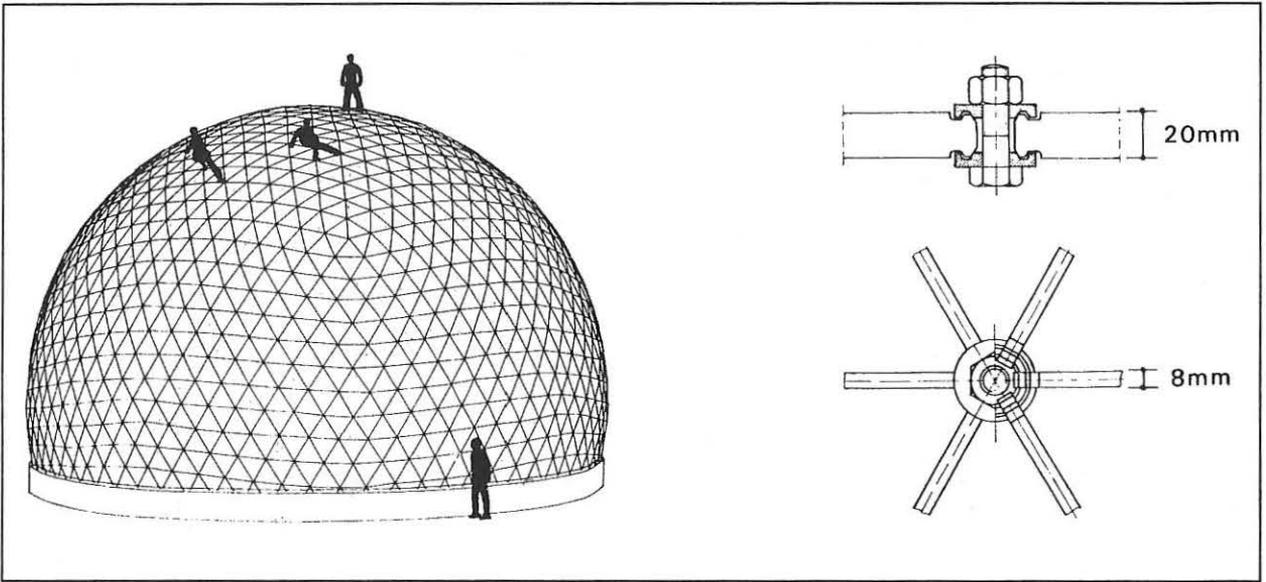


Bild 1: Selbsttragendes Stabnetzwerk für das Zeiss-Planetarium Jena 1924

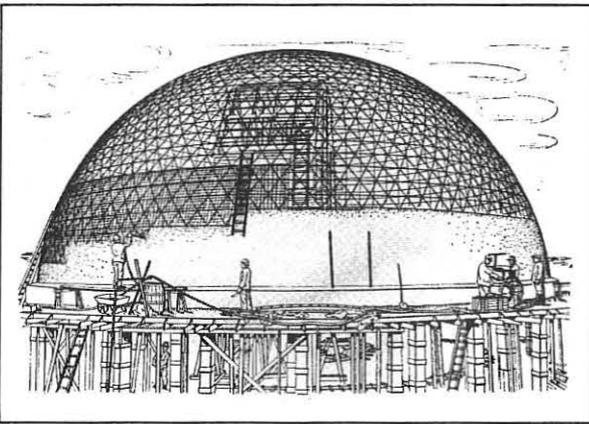


Bild 2: Herstellung der Planetariumskuppel in Jena 1924

Später hat man anstatt der verschiebbaren Schalungsflächen auf der Innenseite der Kuppel Holzwolle-Leichtbauplatten angerödelt und gegen diese gespritzt.

Dieses Verfahren hat die Müther GmbH übernommen und bis zum Bau des Zeiss-Raumflug-Planetariums in Tripolis/Libyen praktiziert.

Das erste Bauwerk nach einer neuen Methode war die 3/4 Kugelschale für den Projektionsraum des Raumflugplanetariums in Wolfsburg (Bild 3). Die innere Projektionsfläche wurde auf einen in die Schale eingespannten Ringträger aufgelegt.

Aus wärmetechnischen Gründen wurde auf die innere Isolierung verzichtet. Als Putzträger

für den Spritzbeton bauten wir ein feinmaschiges Drahtgewebe ein (Bild 4).

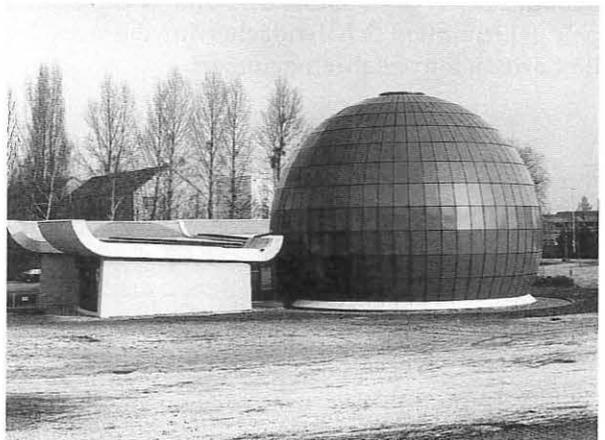


Bild 3: Planetarium Wolfsburg

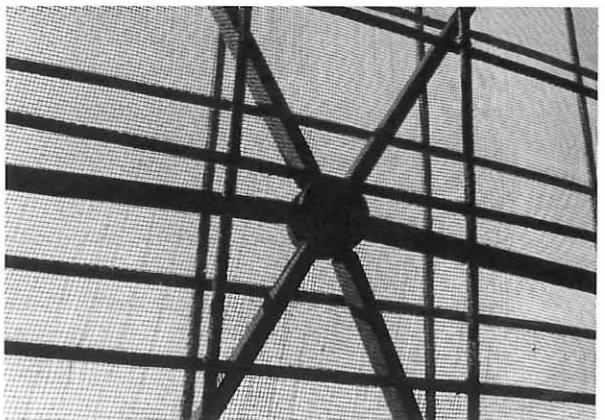


Bild 4: Das Stabnetzwerk mit eingebundenem Drahtnetz als Putzträger

Der Beton in Wolfsburg wurde in 6 Ringen aufgebracht. Während des Betoniervorganges wurden durch das Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig Dehnungsmessungen durchgeführt (Bild 5). Diese Messungen ergaben, daß verhältnismäßig frühzeitig die im Spritzbetonverfahren hergestellten Ringabschnitte Lasten des Frischbetons übernehmen können.

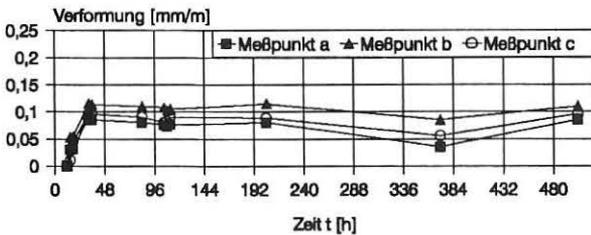


Bild 5: Stabverformung parallel zur Achse während des Betonierens der Planetariumskuppel - Stabebene 9'

Das Betonieren der einzelnen Abschnitte erfolgte im Naß-Spritzverfahren unter Einsatz von Transportbeton (Bild 6).

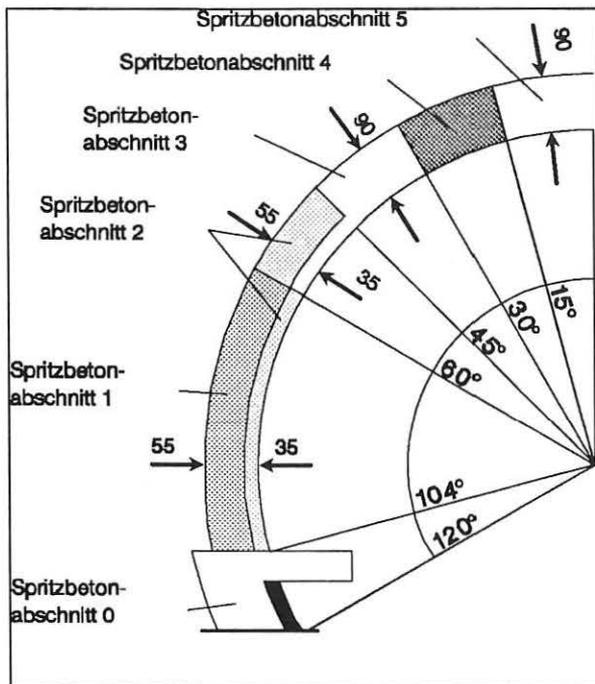


Bild 6: Betonierfolge

Ausgehend von diesen langjährigen Erfahrungen konnte bereits in der Entwurfsphase die Stahlbetonkuppel für das Großplanetarium Berlin als besondere ingenieurtechnische Lösung in Binz bearbeitet werden. Die Erkenntnisse, die bei der Projektierung, der Bauausführung und den Baustellenmessungen an den rund 50 doppelt-

gekrümmten Schalenkonstruktionen gewonnen wurden, die in den vergangenen 20 Jahren von unserem Betrieb projektiert und gebaut worden sind, konnten in die Weiterentwicklung zur 30-m-Kuppel einfließen.

2. Formgebendes Stabnetzwerk

Seit dem ersten Planetariumsbau 1924 in Jena dient ein Stabnetzwerk, bestehend aus horizontalen Ringen und den diese Ringe gegeneinander abstützenden Diagonalen, als formgebende Konstruktion. Dieses Stabnetzwerk trägt bis zur Erhärtung des Betons die Bewehrung und die Frischbetonlasten.

Bisher wurden Stabnetzwerke im Bereich von 10,30 m bis 23,55 m Durchmesser gebaut. Für die 30-m-Kuppel des Berliner Planetariums entwarf der Betrieb ein neues Stabnetzwerk und bearbeitet es konstruktiv (Bild 7).

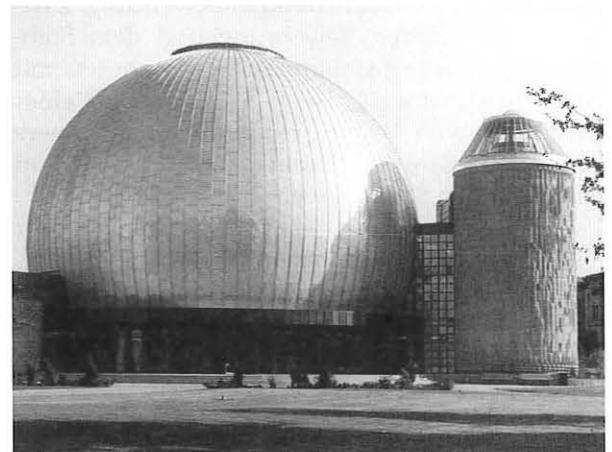


Bild 7: Großplanetarium Berlin, Ernst-Thälmann-Park

Von besonderer Bedeutung war die wirklichkeitsnahe Erfassung der Lasteinwirkungen aus dem fortschreitenden Betonierprozeß.

Die Auswertung der während der Bauausführung in Wolfsburg erfaßten Meßergebnisse hatte den Nachweis erbracht, daß der Beton bereits frühzeitig an der Lastabtragung beteiligt ist. Aus diesem Grund sah man für die große Kuppel in Berlin das lagenweise Einbringen des Betons vor.

Mit Hilfe eines speziell angepaßten Computerprogramms war es möglich, eine große Anzahl von Optimierungsrechnungen vorzunehmen. Im Zuge der Untersuchung ließ sich erkennen, daß das Stabnetzwerk im kritischen oberen Bereich

nicht die erforderliche Tragfähigkeit aufbringen konnte. Um die in Wolfsburg bereits teilweise verwendeten Stäbe mit einem Querschnitt von 8 mm x 22 mm beibehalten zu können, wurde eine Überarbeitung mit dem Ergebnis einer Verdichtung des Stabnetzwerkes erforderlich. Parallel zur statischen Untersuchung des Gesamtsystems erfolgte die konstruktive Bearbeitung der Details. In Auswertung von Laborversuchen wurden schlankere Stäbe und dickere Knotenscheiben eingesetzt.

Die Ergebnisse der Computeruntersuchung ergaben in Abhängigkeit von der Auslastung des Stabnetzwerkes ein Betonierregime. Hierbei wurde technologisch darauf geachtet, in einem Arbeitsrhythmus zusätzliche neue Betonflächen zu spritzen und parallel dazu bei darunterliegenden Ringen die letzte Betonschicht zu ergänzen. Die Stahlbetonkugelschale entstand in 2 Bauabschnitten. Den unteren Bauabschnitt einschließlich der Ringplatte versah man mit einem orthogonalen Bewehrungsnetz, bestehend aus einer Ring- und einer Meridianbewehrung. Zwischen der äußeren Bewehrung und dem Stabnetzwerk wurde das feinmaschige Drahtnetz mit einer Maschenweite von 5 mm und einer Drahtdicke von 1 mm eingebunden. Das innere und das äußere Bewehrungsnetz sind an dem feingliedrigen Stabnetzwerk befestigt.

Die 2.000 m² Schalensfläche sowie die Ringplatte und die Verstärkungsrippen wurden in einer hohen Qualität hergestellt.

Die Verformungsmessungen, speziell im Auflagerbereich der inneren Projektionsfläche, ergaben geringe Verschiebungen.

3. Sportbauten in Spritzbeton

Durch Einspritzen des Betons auf ein in die Bewehrung eingebundenes feinmaschiges Drahtnetz kann eine Vielfalt von außergewöhnlich geformten Schalenkonstruktionen ohne Einschalung gebaut werden (Bild 8).

Erstmalig wurde im Jahre 1971/72 eine künstlich zu kühlende Rennschlitten- und Bobbahn in Oberhof nach diesem Verfahren betoniert.

Diese Bahn hat eine Länge von 1.033 m und überwiegend doppeltgekrümmte Abschnitte, die weitestgehend nach fahrdynamischen Belangen geformt wurden. Nach einer Benutzungsdauer von über 20 Jahren kann festgestellt werden, daß sich diese Methode der Formgebung und des Betonierens außerordentlich gut bewährt hat. Mehrere Bob- und Rennschlittenbahnen entstan-

den in den letzten Jahren nach dieser Methode.

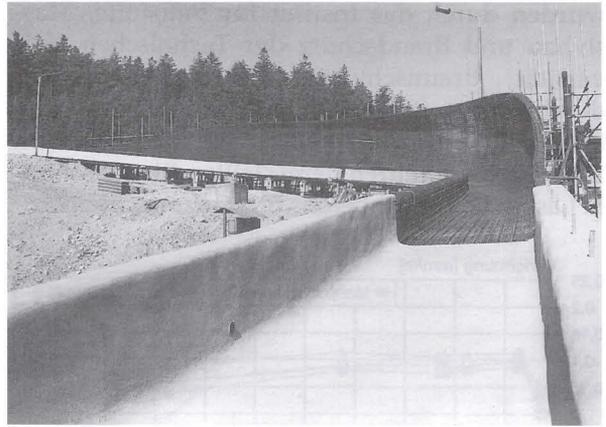


Bild 8: Herstellen einer Schalenkonstruktion für eine Bobbahn

In der ehemaligen DDR war es die Bobbahn in Altenberg/Erzgebirge, die unser Betrieb im Spritzbetonverfahren ohne Einschalung betonierte.

Auch Schalentragwerke ohne besondere Einschalung wurden mittels gestützter und aufgehängter Bewehrungsnetze projektiert und gebaut (Bild 9).

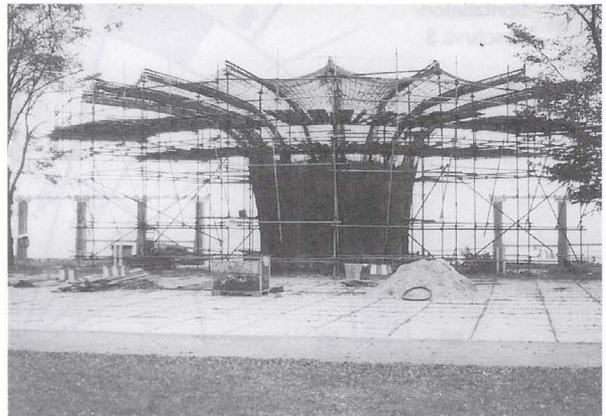


Bild 9: Abgehängte Bewehrung des Musikpavillon Saßnitz

4. Spritzbeton für die Michael-Kirche, Hannover

1992 haben wir die Flächentragwerke für die neue Michael-Kirche in Hannover zum Teil eingeschalt, in anderen Bereichen als gestützte selbsttragende Bewehrung aufgebaut, im ganzen bewehrt und im Naßspritzverfahren betoniert. Die Kuppel über dem Altarraum wurde wie bei den Planetariumskuppeln lagenweise hergestellt (Bild 10).

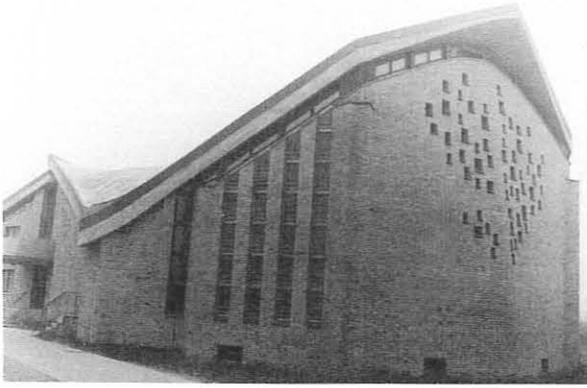


Bild 10: Michael-Kirche in Hannover

In einer ähnlichen Technologie wurde die 2. Schalenkonstruktion für das Gemeindehaus gestellt.

Unser langjährig bewährtes Team ist ständig bemüht, weitere anspruchsvolle Schalenkonstruktionen zu projektieren und im Spritzbetonverfahren zu bauen.

5. Literatur:

- /1/ **Müther, U.:**
Hypar shell construction for restaurant Teepott in Rostock-Warnemünde, GDR. IASS, Madrid 1969.
- /2/ **Müther, U.:**
New constructional methods for doubly curved shell - structures site concrete. IASS, Madrid 1979.
- /3/ **Polonyi, St.; Koch, P.:**
Technische Universität Berlin. Hautartige Schalen für Überdachungen. Die Bautechnik, Heft 6/1973.
- /4/ **Schille, G.:**
Planetarium Tripolis. Architektur der DDR, 382.
- /5/ **Böttcher, Zädow:**
Berechnung der Stabnetzku­ppel für ein Raumflugplanetarium des VEB Carl Zeiss, Jena. Bauplanung - Bautechnik 8/82.
- /6/ **Müther, U.:**
Spritzbetonku­ppel des Planetariums Wolfsburg. Beton und Stahlbeton 1985, Heft 3.
- /7/ **Kordina, K.; Quast:**
Untersuchungsbericht der TU Braunschweig, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, 1984.
- /8/ **Zumpe, Mulansky:**
Das Programmsystem Schale für die computergestützte Projektierung von Schalen­tragwerken. TU Dresden, WB Baumechanik.
- /9/ **Müther, U.:**
Constructions of double curvature shells for planetariums. IASS Bulletin, Madrid 1983.
- /10/ **Müther, U.:**
Engineering design and construction of doubly curved shells for roof supporting structures. IASS Symposium, Dortmund 1984.
- /11/ **Müther, U.; Müller, J.:**
Stabnetz und 30-m-Spritzbetonku­ppel für das Großplanetarium Berlin, Hauptstadt der DDR, Ernst-Thälmann-Park.
- /12/ **Müther, U.:**
Die praktische Anwendung des modernen Schalenbaues. In: Dischinger-Jubiläumschrift - Spannweite der Gedanken, Springer 1987.
- /13/ **Rühle, H.; Müther, U.:**
Experiences with Zeiss-Planetaria Domes constructed from 1924 up to now. In: Domes proceedings of the IASS, Istanbul 88.

