

MUMUTH – Frei geformtes Raumtragwerk

T. Szyszkowitz, G. Zenkner, E. Handel

Zusammenfassung Der vom Land Steiermark ausgeschriebene Wettbewerb für den Neubau eines Gebäudes für Musik und Musikerziehung, wurde 1999 vom holländischen Architekturbüro UN Studio (Ben van Berkel und Caroline Bros) gewonnen. Das Gebäude ist 72 m lang, 23 m breit und 17 m hoch. Es beinhaltet einen Konzert- und Theatersaal, Übungsräume, Büros, Räume für Infrastruktur und das Foyer. Die zentrale Tragstruktur des Foyers wird durch den „Twist“ und weitere frei geformte Tragelemente definiert. Die Entwicklung dieser Strukturen wurde vom Wettbewerbsstadium bis zum fertigen Konstruktionsentwurf vom Büro Ove Arup aus England begleitet. Die oben genannten Tragwerksplaner vor Ort wurden mit der Ausführungsplanung des Gesamtbauvorhabens betraut. Durch den Einsatz von speziellen Computerprogrammen und den hierfür notwendigen Experten, konnte den hohen Anforderungen der Architektur Genüge geleistet werden.

MUMUTH - Freely formed spatial structure

Abstract The international competition for a new building for music and music education, initiated 1999 by the county of Styria/Austria, was won by the Dutch architectural office UN Studio (Ben van Berkel and Caroline Bros). The building is 72 m long, 23 m wide and 17 m high. It contains a concert- and theatre hall, practice rooms, offices, technical rooms and the foyer. The central element of the foyer is the so-called „Twist“, a freely formed spatial structure. The structural design during the competition phase was accompanied by British office of Ove Arup & Partners Ltd. The authors of this paper carried out the detail design during construction phase. The demanding architecture required the use of special methods and computer programs.

1 Einleitung

Im Jahre 1999 gewann das Architekturbüro UN-Studio (Ben van Berkel und Caroline Bros) einen vom Land Steiermark ausgeschriebenen Wettbewerb gemeinsam mit dem Tragwerksplaner Ove Arup, für den Neubau eines „Hauses für

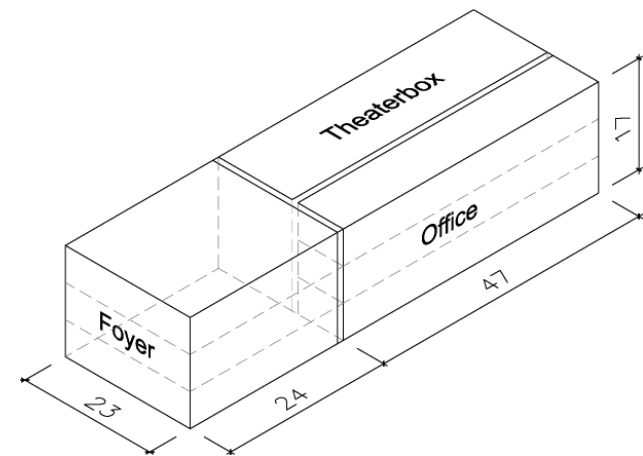


Bild 1. Hauptabmessungen und -funktionen
Fig 1. Main dimensions and functions

Musik und Musiktheater“ in Graz. In weiterer Folge wurden die Ingenieurgemeinschaften convex/Graber-Szyszkowitz ZT GmbH und Zenkner-Handel Consulting Engineers, beide Planungsbüros aus Graz, mit der Ausführungsplanung betraut.

Der Entwurf des 72 m langen, 23 m breiten und 17 m hohen Baukörpers teilt sich in drei Abschnitte: Den Konzert- und Bühnenraum mit darunter liegenden Nebenräumen und der Haustechnikräume, den Büroteil mit den zugehörigen Nebenräumen, Liftanlagen, Stiegenhaus und das Foyer mit Proberäumen (Bild 1).

2 Tragwerksbeschreibung

Für den Teil des Theaterraumes und der Büroräume ist eine relativ einfache Tragstruktur gegeben. Die vertikalen Tragglieder sind im Wesentlichen Stahlbetonwände (Theaterbox) und an der Außenfassade straßenseitig kommen Stahlstützen zum Einsatz. Die horizontalen Tragglieder sind einerseits Stahlbetondecken über dem Erdgeschoss und andererseits Stahlbetonverbunddecken über der Theaterbox, dem Foyerbereich und den Obergeschossen im Bürotrakt. Die Verbunddeckenvariante wurde wegen der Spannweite von 17 m über der Theaterbox und wegen der anzuschließenden Stahlkonstruktion im straßenseitigen Büroteil gewählt. Den weitaus komplizierteren Teil des Gebäudes stellt der in Richtung Süden orientierte Foyer- und Proben teil dar. Hier bestimmt insbesondere die, später näher beschriebene, frei geformte räumliche Tragstruktur, die Großzügigkeit der Eingangssituation (Bild 2).

Infolge des heterogenen Untergrundes, der unterschiedlichen Gründungshöhen und der stark unterschiedlichen Fundamentlasten wurde einer Pfahlgründung gegenüber einer Plattendründung der Vorzug gegeben. 82 Bohrpfähle mit einem Durchmesser von 90 cm und Längen von 7 bis 22 m wurden niedergebracht. Über den Pfählen wurde ein Stahlbetonrost angeordnet.

DI Dr. Tassilo Szyszkowitz

convex ZT GmbH
Am Katzelbach 7
8054 Graz / AUSTRIA
Tel +43 316 281 180
Mail office@convex.at
www.convex.at

DI Dr. Günther Zenkner DI Dr. Erich Handel

Zenkner & Handel GmbH & Co. KEG
Kaiser-Josef-Platz 5
8010 Graz / AUSTRIA
Tel +43 316 816 684
Mail office@zenkerhandel.com
www.zenknerhandel.com

3 Twist

3.1 Grundidee

Der Übergang vom orthogonalen Konstruktionssystem der Theaterbox und des Büroteiles zur frei geformten Figur des Foyerbereiches erfolgt durch Verdehen der vertikalen Elemente (Theaterwände) in horizontale Elemente (Foyerdecken). Die parkseitige Längswand wird in die Decke über dem 2. Obergeschoss und die straßenseitige Längswand wird in Decke über dem Erdgeschoss übergeleitet. Die Verbindung der Decken in vertikaler Richtung erfolgt durch ein Gestaltungselement, das „Twist“ genannt wird. Das Ergebnis ist ein stützenfreies Foyer mit einer großzügigen Belichtung durch das sich ergebende große Treppenauge in der Decke über dem 2. Obergeschoss und der Deckenöffnung über dem 3. Obergeschoss. Die Verbindungstreppe, die auf dem Twist aufgeständert ist, verbindet das 1. und 3. Obergeschoss. Die endgültige Form des Twistes wurde durch Optimierung zwischen Formgebung und Tragwerksanalyse gefunden. Ein ausführlicher Bericht über Grundidee und statischer Analyse kann in [1] nachgelesen werden.

3.2 Tragwerkskonzept

Der zentrale Twist verbindet die Decken über dem Erdgeschoss und dem 2. Obergeschoss. Die Decken in diesem Foyerbereich sind Verbunddecken mit radial verlaufenden Stahlträgern, die die Vertikallasten einerseits auf die außenliegenden fächerförmig angeordneten Stahlstützen und andererseits auf den innen liegenden Twist abtragen. Diese Lastanteile und die Twistmassen werden in die Stiegenwange und in den Theatertwist abgeleitet.

Die primäre Tragstruktur des zentralen Twistes besteht aus einem räumlich gekrümmten Stahlfachwerk aus Stahlrohren. Die außen liegenden Hauptrohre und die sekundären inneren Längsrohre sind mit Pfosten und Diagonalen fachwerkmäßig verbunden (**Bild 3**). Das obere Twistauge wird durch einen umlaufenden geschweißten Hohlkasten gebildet. An diesen schließen mit Schraubstößen die radial verlaufenden I-Träger der Verbunddecke an. Diese komplexe Stahlkonstruktion bildet das Gerüst für die spätere Verbundtragwirkung des Twistes und der Decken. Die statischen Berechnungen erfolgten mit einem räumlichen Stabwerk- und Flächentragwerksprogramm „SCHALDR“ von Zenkner und Handel (**Bild 4**).

Anzumerken ist, dass der Twist ursprünglich als Stahlkonstruktion mit Spritzbetonaufgabe und nachträglicher Oberflächenveredelung entwickelt wurde. Auf die fertig gestellte Stahlkonstruktion sollte der Beton aufgebracht werden. Die Stärke des Betons wurde mit 30 cm begrenzt. Zu einem späteren Zeitpunkt musste, dem Wunsch der Architektur nach glatten, geschalteten Oberflächen, das Konzept zu einer Verbundkonstruktion abgeändert werden. Aufgrund der unterschiedlichen Dimensionen der Außen- und Innenrohre wurde die Gesamtstärke auf ca. 64 cm erhöht. Um dennoch nahezu gleiche Betonmassen zwischen der ursprünglichen Variante und der Ausführungsvariante zu erreichen, wurden zwischen den Stahlrohren Volumskörper aus Styropor eingesetzt. Die Überprüfung der neuen Gesamtstruktur durch den Prüfstatiker erfolgte mit dem Programm „RFEM“ von Dlubal. Die Ergebnisse zeigten eine sehr gute Übereinstimmung in den Dimensionen der Stahlquerschnitte. Die einzelnen Twistbauteile sind in **Bild 8** dargestellt.

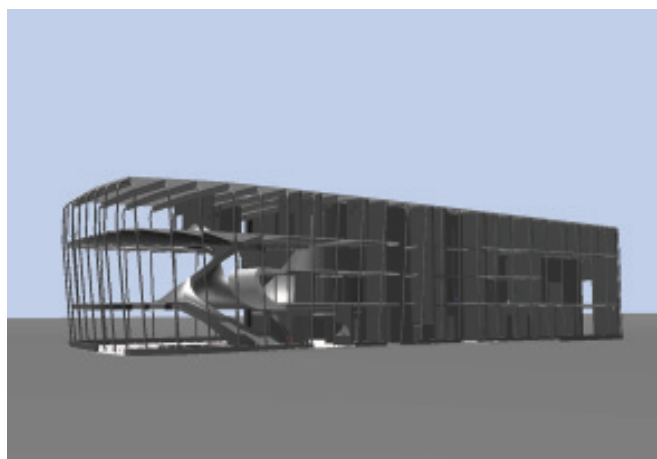


Bild 2. Tragwerksmodell
Fig 2. Load bearing structure

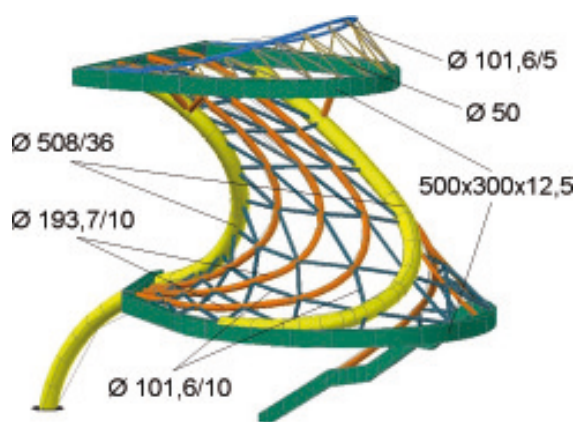


Bild 3. Primäre Tragstruktur Twist
Fig 3. Primary structure Twist

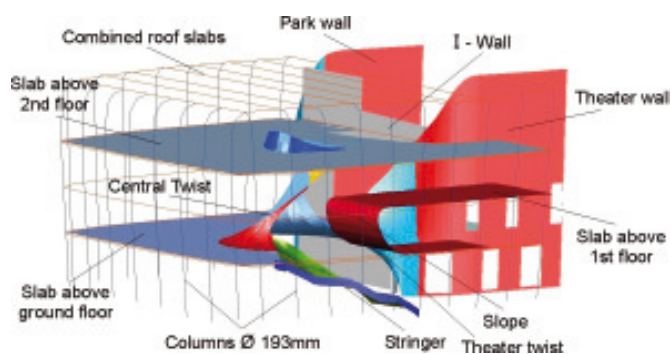


Bild 4. Räumliches Tragsystem
Fig 4. Spatial structure

3.3 Ausschreibung des Twistkörpers

Sämtliche zum Twist gehörenden Einzelteile wurden in der Ausschreibung als Pauschale zusammengefasst. In dieser Position erfolgte eine ausführliche Beschreibung über Größe, Geometrie, statisches System, Rohrquerschnitte, Füllkörper, Betongüte, Betondeckung, Betonoberflächen etc., die mit Bild- und Zeichenmaterial ergänzt wurde (**Bild 5, 6 und 11**). Ein Punkt der Ausschreibung bezog sich auf die Herstellung eines Probekörpers in reduzierter Größe, jedoch unter Verwendung eines gekrümmten Rohrteiles. An diesem Probekörper konnte die Betoniergeschwindigkeit, die Oberflächeneigenschaft und Farbe des Betons getestet werden.

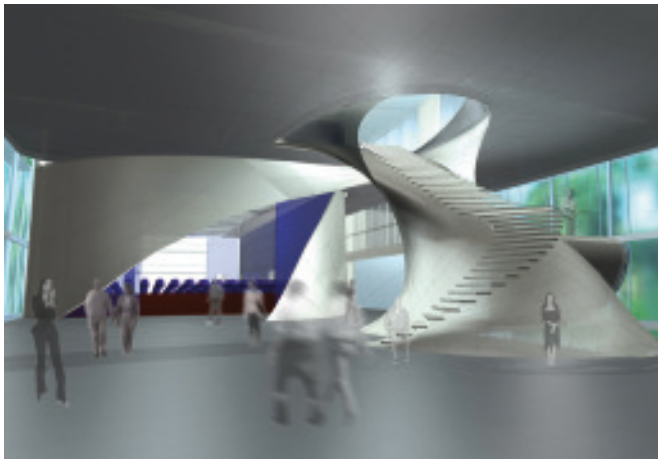


Bild 5. Rendering Twist (UN Studio)
Fig 5. Rendering Twist (UN Studio)

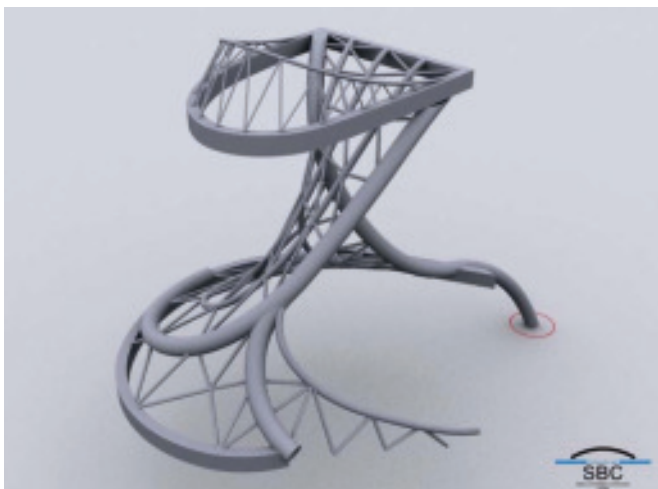


Bild 6. Stahlgüst Twist
Fig 6. Steel structure of the Twist

3.4 Ausführungsplanung

Der erste Schritt war die Erstellung der Stahlbauführungszeichnungen zur Festlegung der Geometrie und der Querschnittsdimensionen. Die Einfügung des Stahlgüstes in den Twistkörper erfolgte in enger Abstimmung mit dem Architekten (Bild 6). Diese Zeichnung war Grundlage der Ausschreibung und diente zu einem späteren Zeitpunkt als Basis für die Werkstattzeichnungen (Bild 7).

Die Festlegung der Betongeometrie erfolgte einerseits durch den Architekten mit der Schalungsfirma und andererseits mit dem Tragwerksplaner für die Darstellung der Bewehrung. Als großes Problem erwies sich in diesem Stadium die Verwendung unterschiedlicher Programmsysteme. Es war erforderlich eine Kompatibilität zwischen dem von der Architektur verwendeten Programmsystem „Rhino“ mit den Konstruktionsprogrammen von „Allplan“ herzustellen. Es waren daher Zwischenschritte erforderlich um die richtige Geometrie für die Bewehrungsdarstellung sicherzustellen.

Die Darstellung der Schalung und Bewehrung für den Theatertwist und für die Stiegenwange war planlich noch gut durch Ansichten und Schnitte möglich. Die auf einer Baustelle übliche Verlegungsform zur einer Schalungsfläche (Negativform) war für den zentralen Twist nicht mehr anwendbar. Hier kam dem Tragwerksplaner jedoch die bereits montierte Stahlkonstruktion zu Hilfe. Der Durchmesser der



Bild 7. Teilfertige Stahlkonstruktion
Fig 7. Partially finished steel structure

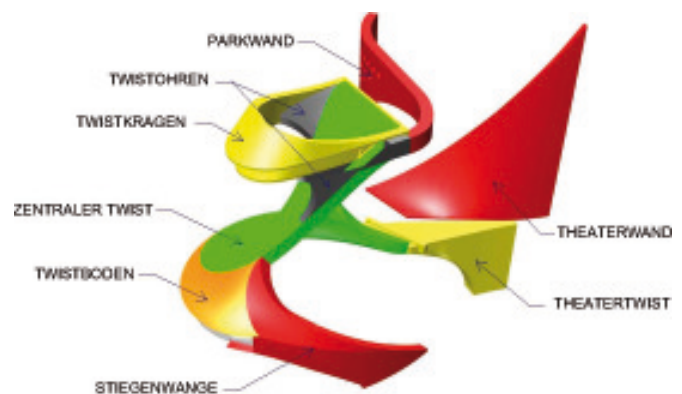


Bild 8. Bezeichnung der Twistteile
Fig 8. Coding of the Twist sections

Bewehrung mit $\varnothing 10$ mm wurde gewählt um leichte Anpassungen in der Lage vornehmen zu können. Die Krümmung der Bewehrung erfolgte entsprechend der, auf den Grundriss projizierten Rohrkrümmungen. Die dritte Dimension wurde durch Anhebung der Bewehrung in die richtige Höhenlage erreicht. Die zweite Bewehrungslage bestand aus geraden Stäben, die sich entlang einer imaginären Achse nach oben schraubten (Bilder 9 und 10).

Als weitere Verlegeanleitung diente eine nicht maßstabsgerechte Prinzipskizze über die grundsätzlich angeordneten Bewehrungsdurchmesser und deren Höhenlage zur Stahlkonstruktion (Bild 11). Zur Gewichtsreduktion wurden zwischen der oberen und unteren, doppelten Bewehrungslage, Styroporkörper verlegt.

3.5 Bauliche Umsetzung

Die ursprüngliche Idee die Schalung aus Holz mit trapezförmig zugeschnittenen Lamellen mit einem leicht verformbaren Belag herzustellen, wurde bald verworfen. Stattdessen wurde die Negativform aus digital gefrästen Styroporkörpern EPS W30 hergestellt und mit 7 Lagen Epoxydharz beschichtet. Es wurden insgesamt ca. 50 Schalungskörper verwendet.

Auf einer Plattform (Twistboden) in 3,75 m Höhe wurde ein quadratisches Hilfsgerüst mit 10 m Höhe um den Twist errichtet (Bild 12). Nach der Verlegung der Netzbewehrung

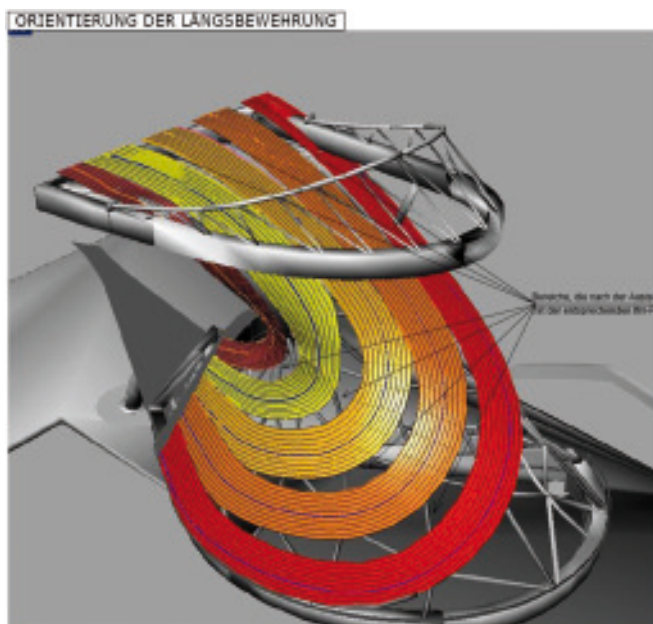


Bild 9. Bewehrungsausleitung längs
Fig 9. Reinforcement longitudinal

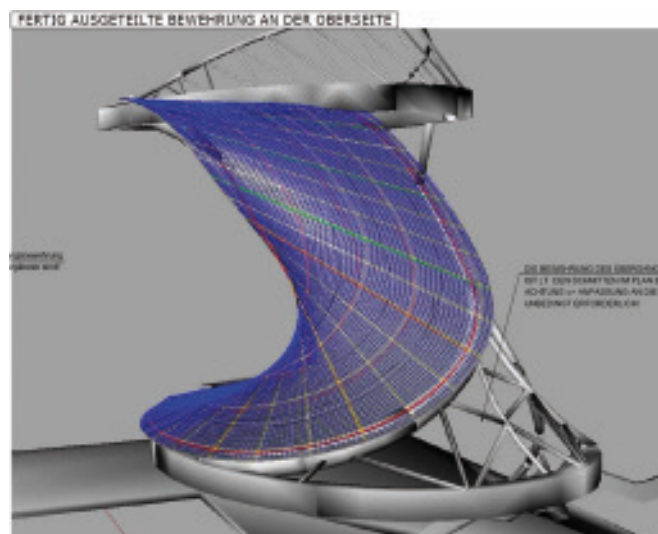


Bild 10. Bewehrungsausleitung quer
Fig 10. Reinforcement cross

von je 4 Lagen (Bild 13) oberhalb und unterhalb der Stahlkonstruktion wurden zuerst die Schalungselemente der Unterseite des Twistes eingebaut und gegen das Hilfsgerüst kraftschlüssig abgestützt. Trotz der exakten computer-gesteuerten Herstellung der Schalungselemente waren Nacharbeiten auf der Baustelle erforderlich. Permanente digitale Kontrollen bezüglich Stahlbau, Bewehrung und Schalflächen während der Planung waren ebenso notwendig wie die vermessungstechnischen Kontrollen auf der Baustelle. Die digitalen Kontrollen wurden wieder mit dem Programm „Rhinoceros“ durchgeführt. Durch die un-

terschiedliche Form der Ober- und Untersicht gibt es keine gemeinsame Flächennormalen. Mit Hilfe von eingepassten Kugeln ließ sich die Stärke des Twistes ermitteln. Es zeigte sich dann, dass die ursprüngliche Annahme einer gleichmäßigen Stärke von ca. 64 cm nicht zutreffend war. Mehr- und Minderstärken konnten so erkannt werden und durch entsprechende Abänderung der Bewehrungsabstände von der Stahlkonstruktion ausgeglichen werden. Nach dem Einbau der oberen Schalungselemente wurden zur Aufnahme der horizontalen und vertikalen Schalungs-

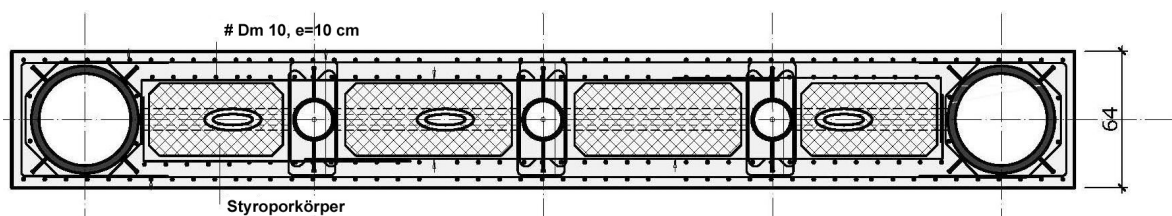


Bild 11. Verlegeanleitung
Fig 11. Principal cross section

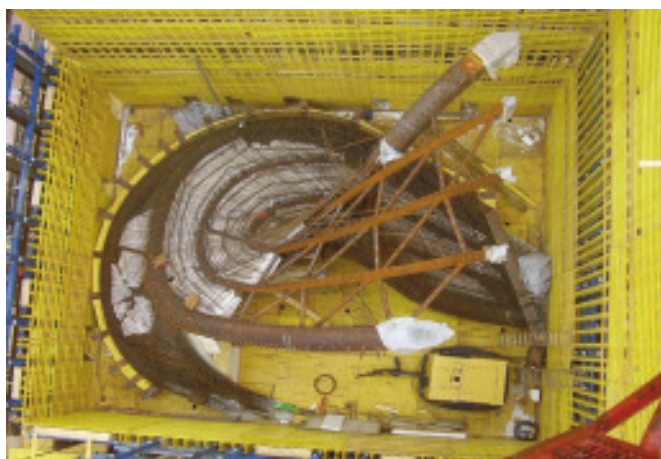


Bild 12. Hilfskonstruktion von oben
Fig 12. Supporting scaffold, view from top



Bild 13. Bewehrungsverlegung
Fig 13. Placing of reinforcement



Bild 14. Twist ausgeschalt
Fig 14. Twist after striking

kräfte aus dem Betoniervorgang ca. 50 GEWI Anker $\varnothing$ 50 mm durch das Tragwerk verlegt und vorgespannt.

Der Betoniervorgang mit selbstverdichtendem Beton (SCC) erfolgte über Einbringöffnungen mit Durchmesser 125 mm knapp über dem Schalungsboden. Um die Schalungsdrücke möglichst gering zu halten, wurde der zentrale Twist in drei Betonierabschnitten hergestellt. Die Passgenauigkeit der Schalungselemente und Dichtheit der Elemente untereinander, garantierten das Auslaufen des sehr flüssigen Betons zu verhindern.

Kennwerte des Betons: C35/45(56)/SCC/BS2/RS/GK16, Fließmaß 70 cm, Wasserzugabe 190 l/m³, Fließmittelzugabe an der Baustelle 12 kg/m³. Die Betoniergeschwindigkeit betrug ca. 3,5 m³/h. Die Würfel Festigkeit nach 56 Tagen ergab ca. 70 N/mm².

Für den zentralen Twist wurden 153 m³ Beton, 23 t Bewehrungsstahl BSt 550 und 47 t Baustahl S 355 JR verbraucht (Bild 14).

4 Ergebnis

Nach dem Schließen der seitlichen Wände im 2. und 3. Obergeschoss (Parkwand, Theaterwand), war die Tragfunktion des Gesamtsystems gegeben. Nach dem Freisetzen des Twistes betrug die gemessene Durchbiegung etwa 50 mm. Nach weiteren 6 Monaten erhöhte sich die Durchbiegung geringfügig auf 50 mm. Die Zunahme ergibt sich einerseits durch den weiteren Ausbau des Hauses und andererseits, in sehr geringem Umfang, durch das Langzeitverhalten des Betons. Gering deshalb, da die mitwirkende Betonfläche um die

Haupttragrohre relativ klein gegenüber der Stahlfläche ist. Der Anteil des Bewehrungsstahles ist vernachlässigbar. Die berechnete Eigenfrequenz von ca. 4 Hz, wurde einmal mit dem Durchbiegeverfahren nach K. Sattler [2] und einmal mit dem Programm RFEM ermittelt. Die nach dem Ausbau gemessene Eigenfrequenz von mehr als 6,5 Hz ist plausibel und liegt im Bereich der empfohlenen Werte für Publikumsverkehr und Tanzveranstaltungen [3].

Das Ergebnis der Sichtbetonoberfläche kann für die Untersicht als positiv bezeichnet werden. Es waren keine nennenswerten Poren erkennbar. Die Oberseite des Twistes, insbesondere im unteren Drittel der noch flach geneigten Deckfläche, wies jedoch eine größere Anzahl von Poren infolge nicht entwichener Luft auf. Hier war eine Sanierung des optischen Erscheinungsbildes der Oberfläche erforderlich.

5 Schlussbetrachtung

Auch der Auftraggeber muss sich bewusst sein, dass ein solches Gebilde nicht mit den üblichen Kosten errichtet werden kann. Überdies sind höchste Qualifikationen der planenden technischen Mitarbeiter und die handwerkliche Kunst der Ausführenden auf der Baustelle eine Voraussetzung zum Gelingen eines Bauvorhabens dieser Art. Dass es daher auch zu Verzögerungen sowohl bei der Planung, als auch bei der Realisierung gekommen ist (die Gesamtbauzeit betrug 29 Monate), darf nicht wundern.

Die Umsetzung der Idee in die Planung und von der Planung in die Realität ist nur unter verständlicher und zielorientierter Kommunikation aller Beteiligten möglich. Desgleichen ist auch die digitale Kommunikation von hoher Bedeutung. Nur wenn Architekt und Tragwerksplaner mit „einem“ Basissystem kommunizieren, ist ein Erfolg möglich. Aus der Sicht der Tragwerksplaner war die gewonnene Erfahrung durch die Beschäftigung mit innovativen Konstruktionsmethoden und Herstellverfahren von großer Bedeutung.

Literatur

- [1] Schmid, V.(2004): „Der Entwurf frei geformter Raumtragwerke am Beispiel des MUMUTH Twist“, Bauingenieur, Band 79
- [2] Sattler, K.: „Lehrbuch der Baustatik, II/B“, 1975
- [3] Bachmann, H.: „Vibration Upgrading of Gymnasia, Dance Halls and Footbridges“, Structural Engineering International, 2/92