

Johann Köppl
Josef Ludwig
Rüdiger Schidzig
Stefan Wagner

BMW-Welt München – die Stahlkonstruktion in der realen Umsetzung

Für die Realisierung des anspruchsvollen Projektes der BMW-Welt München haben sich die beiden Firmen Josef Gartner KG und Maurer Söhne GmbH & Co. KG. nach gewonnenem Wettbewerb und Beauftragung durch BMW, zu der „Arbeitsgemeinschaft BMW-Welt Stahlbau/Fassade“ zusammengeschlossen. Beide Unternehmen waren sofort nach Sichtung der Anfrageunterlagen inspiriert, diesen anspruchsvollen Entwurf der Stahlkonstruktion, des Doppelkegels und der Fassadenkonstruktion unter ausführungstechnischen Gesichtspunkten zu optimieren. Die Basis der Sondervorschläge war der Entwurf des Wiener Architekturbüros Coop Himmelb(l)au.

In vielen Arbeitsgesprächen mit dem Generalplaner Coop Himmelb(l)au konnten durch die ARGE die spezifischen Anforderungen für dieses Projekt in alternativen Lösungen umgesetzt und angeboten werden. Neben den technischen Anforderungen waren eine flexible Herstellung und eine kurze Bauzeit mit möglichst unabhängigen Montagezuständen mitbestimmende Parameter.

Im folgenden Aufsatz werden die Denkansätze und Aufgaben der Tragwerksplanung für die Entwicklung und Realisierung des Sondervorschlags der ARGE Stahlbau/Fassade vorgestellt. Hierbei werden insbesondere die notwendigen Anforderungen von Montage- und Bauzustandsuntersuchungen erörtert.

Structural engineering for developing a special solution for the BMW-World in Munich.
After winning the competition and getting the contract the two companies arranged the consortium „steelwork/cladding“. Inspired by the awesome design of the steelwork, the double-helix and the cladding both companies were dedicated to invent a technical optimisation. Basis of the specific proposal was the concept by the Viennese architects Coop Himmelb(l)au.

During intensive design-meetings the consortium „steelwork/cladding“ was able to convince the general design-group and architect Coop Himmelb(l)au of its alternative ideas a functional solutions. Besides technical needs flexible constructions, short erection-times and most independent rigging-phases were essential.

In the following report the tasks and ideas of the specific technical solutions of the consortium „steelwork/cladding“ will be presented in respect of the erection and structural design.

1 Ausgangssituation – das Projekt kennen lernen

Über den vorangegangenen Architektur-Wettbewerb konnte man vorab etwas über die Anforderungen des Erlebnis- und Auslieferungszentrums der BMW-Welt erfahren. Dabei stand der Doppelkegel und die sogenannte Wolke, das Regeldach im Zentrum der Diskussionen.

In den Entwurfsunterlagen des Generalplaners war die Stahlkonstruktion der „Wolke“ durch eine räumliche

Rohrfachwerkkonstruktion geplant. Diese konsequent gestaltete Konstruktion aus gekrümmten Rohren hätte jedoch aufwendig verschnittene Rohrfachwerkknoten erfordert, die im wesentlichen vor Ort geschweißt hätten werden müssen. Eine Vorfertigung wäre durch die großen Abmessungen bis 15 m Fachwerkhöhe und die freie Gestaltung des Raumfachwerkes kaum möglich gewesen. Für die Montage wäre die Konstruktion vollflächig einzurüsten gewesen. Die zeitintensive und teure Herstellung wäre mit den

geplanten kurzen Bauzeiten nicht vereinbar gewesen.

Hieraus ergab sich sofort die Aufgabenstellung für einen Alternativentwurf.

Es galt eine Konstruktion zu finden, die die 4000-t-Wolke filigran erscheinen und „schweben“ lässt, trotz der freien Formen ein möglichst regelmäßiges Raster und eine schnelle Montage ermöglicht und zusätzlich eine wirtschaftliche Optimierung der Profile und Anschlüsse zulässt.

Der Sonderentwurf für das „Regeldach“ hatte somit folgende Kriterien zu erfüllen:

- ein filigranes, regelmäßiges, möglichst orthogonales Dachraster, jedoch unter exakter Beibehaltung der Wolkenstruktur
- hoher Vorfertigungsgrad mit werkmäßig vorbereiteten Anschlüssen
- weitgespannte Binder in Schraubkonstruktion ohne aufwendige Flächengerüste
- Einsatz wirtschaftlich und statisch optimierter Profile
- weitgehende Unabhängigkeit in den Bauphasen
- leichte Hubgewichte für optimalen Kraneinsatz

Durch das von der Fa. Maurer Söhne entwickelte Alternativsystem werden diese Kriterien vollständig erfüllt.

2 Entwicklung des Sondervorschlags

2.1 Doppelkegel (Bild 1) – Hochzeit der primären und sekundären Struktur

Die in der ursprünglichen Planung vorgesehene Konstruktionsart für den Doppelkegel sah eine Haupttragkonstruktion mit zusätzlich vorgesetzter Sekundärfassadenkonstruktion vor.

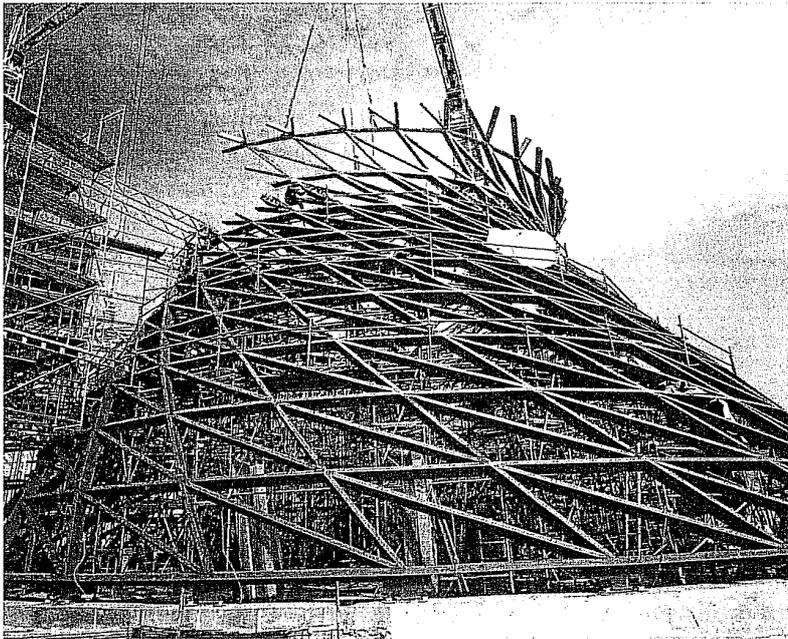


Bild 1. Detailansicht der Montage Kegel (© Buck Fotodesign, München)
Fig. 1. Picture of building the double-helix (© Buck Fotodesign, München)

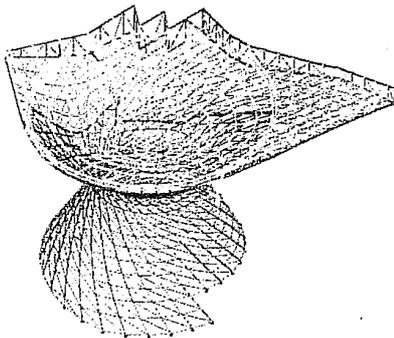


Bild 2. Übersicht Tragwerk Doppelkegel
Fig. 2. Overview system double cone

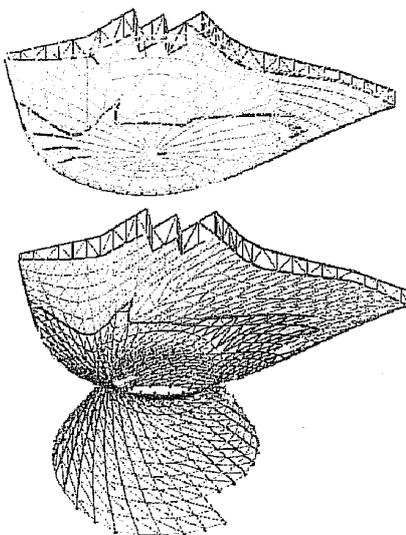


Bild 3. Explosionsdarstellung der Stütz- und Aufsatzkonstruktion
Fig. 3. Explosion picture of supporting and the top construction

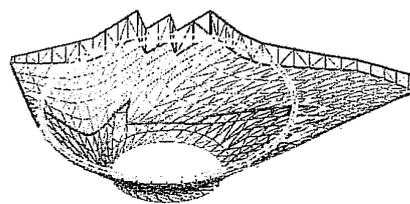


Bild 4. Obere Hälfte des Kegels, Darstellung des Ringträgers, Windowbeam und Übergangsbereichs
Fig. 4. Upper half of the cone, design of the ringbeam, windowbeam and transition area

Hier sah man Einsparpotential. So bestand der Sondervorschlag der Arge im wesentlichen aus einer Zusammenführung dieser beiden Konstruktionen zu einer tragenden Fassadestruktur. Zwangsläufig ergaben sich daraus nötige Umgestaltungen in den Übergangsbereichen zwischen Kegelmantelfläche und Haupttragwerk – ferner führte die Entscheidung zu einer Veränderung der trichterförmig nach innen ausgeformten Dachhängekonstruktion (Bild 2).

Prinzipiell läßt sich die Konstruktion in zwei Bauteile zerlegen: eine sanduhrförmige Stützkonstruktion und darüber die Aufsatzkonstruktion, bestehend aus dem Dachhängegerüst und einem Dachüberhang (Bild 3).

Ein zentrales Tragelement stellt der ringförmige Dreigurtbinder dar,

der zum einen den oberen Abschlußkranz der Fassadenhaut darstellt, zum anderen der Aufsatzkonstruktion als Aussteifungselement fungiert. Hier werden größtenteils die Kräfte aus dem Hängedach in den Kegel eingeleitet. Zudem bildet dieser Träger die Basis der Einhänge-träger zum Haupttragwerk.

Einem Architektenwunsch folgend wurde die Kegelmantelstruktur zum Haupttragwerk hin geöffnet. Am daraus sich ergebenden Übergangsbereich mußte zur Aufnahme div. Differenzkräfte ein Hohlkastenquerschnitt gewählt werden, der sog. Windowbeam (Bild 4).

2.1.1 Konstruktionsbeschreibung

Die Grundform (geometriebedingt als Freiform) des Doppelkegels ist eine Dreiecksgitterstruktur, abgeleitet aus einem Rotationshyperboloid mit annähernd horizontalen Ringträgern. Im Kopfbereich und insbesondere im Übergangsbereich geht der Kegel in eine freigeformte Gitterstruktur über.

Der Grundabmessungen betragen:

- Bodenringdurchmesser ca. 35 m
- Ringdurchmesser Einschnürung ca. 18 m
- Ringträgerdurchmesser ca. 44 m
- Höhe ca. 25 m
- max. Stützweite Zwischenbereich/ Dachrand ca. 20 m

Die Dreiecksmaschen, welche in ihrer Größe einer Glasscheibe entsprechen, sind mit einer max. Seitenlänge von ca. 5,5 m völlig unterschiedlich und unregelmäßig.

Als Basisprofile wurden für die beheizbare, also wasserdurchströmte Konstruktion Rechteckhohlprofile 300 × 100, für die aufsteigenden Pfosten und die horizontal verlaufenden Ringe bzw. RRO 250 × 100 für die Diagonalen gewählt. Die Struktur ist als komplett biegesteife Netzkonstruktion voll verschweißt gerechnet und ausgeführt.

Als oberer Abschluß dient der bereits angesprochene kreisförmige Ringträger, welcher als aufgelöster Dreigurtbinder aus Rundrohren zugleich die Basis für die Einhängekonstruktion in Form eines ungleichmäßigen Hängekorbes bildet.

Ziel dieser Korbkonstruktion war eine möglichst einfache konstruktive

Ausführung (z. B. durch offene Standardquerschnitte, d. h. HE-B, HE-A etc.) zu erhalten, da diesen Profilen im wesentlichen nur Membrankräfte zugewiesen wurden.

Die geometrisch anspruchsvolle Formgebung – aus der Freiform bedingt – erzielte mit der Gestaltung eines harmonischen Übergangsbereiches ihren Höhepunkt, wobei aufgrund der teilweise beträchtlichen Spannweiten und der geringen Krümmungen in diesen Bereichen auf aussteifende Fachwerkträger zurückgegriffen werden mußte. Diese Träger wurden wiederum gestalterisch in die Grundidee des Tragwerkes impliziert.

2.1.2 Berechnung

Die Berechnungen und die Bemessung wurden auf Grundlage eines 3D-Geometriemodells am räumlichen Stabwerk nach Theorie II. Ordnung durchgeführt. Aufgrund des Zusammenwirkens zwischen dem sog. Regeldach und dem Doppelkegel mußten die Berechnungen an einem Gesamtmodell durchgeführt werden.

Als wesentlichen Lasten der Struktur sind Eigengewicht, Wind und Schneelasten mit Schneeanhäufungen berücksichtigt. Der Ansatz der Windlasten wurde auf Basis eines Windlastgutachtens ermittelt.

Die biegesteife Knotenstruktur erforderte aufgrund der geometrischen Komplexität auch eine dementsprechend aufwendige Untersuchung der Zusammenhänge im Detail. Hierzu wurden mehrere maßgebende FE-Knotenmodelle entwickelt und material- und aufwandspezifisch optimiert (Bild 5).

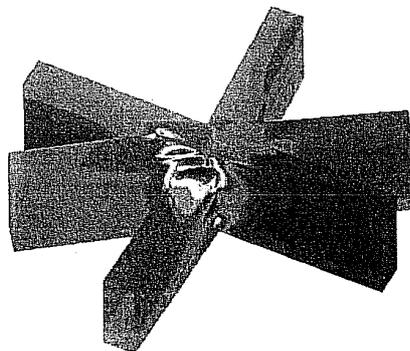


Bild 5. FE-Analyse eines Rohrknotens
Fig. 5. FE-Analysis of a tube-joint

2.1.3 Glasstatik

Die dreiecksförmigen Gläser sind gegen Druckkräfte mittel Dichtprofilen direkt an den Stahlhohlprofilen aufgelagert und gegen Sog- bzw. abhebende Kräfte mittels sog. punktförmiger Fugenhalter gehalten. Zur Berechnung in Anlehnung an die TRLV wurden FE-Modelle zugrunde gelegt.

2.1.4 Detailausbildung

Im sichtbaren Doppelkegelbereich wurde besonderes Augenmerk auf die gestalterische Ausführung der Knoten gelegt. Ebenso wichtig: die funktionelle und kostenmäßige Optimierung der Punkte.

In den nicht sichtbaren Bereichen konnte auf stahlbauübliche Verbindungen zurückgegriffen werden.

2.2 Regeldach – Optimierung und Umstrukturierung in eine Stahlbaulösung, Entwicklung des Sondervorschlages

Das Dach der BMW-Welt in München besteht im wesentlichen aus den Elementen Doppelkegel, Regeldach und Tragkonstruktion Lounge (Bild 6). Ausgangspunkt für die Entwicklung des Sondervorschlages der ARGE Stahlbau-Fassade war das 3D-Modell des Architekten. Die Aussteifung des Daches erfolgt über den Doppelkegel und die Massivbaukerne des sogenannten Gastroturmes, der Lounge des Aufzugsturmes P5/P6 und des

Forums. Obwohl die Systeme von Dach und Lounge an mehreren Stellen gekoppelt sind, erfolgte die Berechnung des Basisentwurfes an getrennten statischen Modellen. Die statischen 3D-Modelle dieser Berechnungen wurden der ARGE als Basis für ihre weitergehenden Untersuchungen übergeben.

Die praktische Umsetzung der Sondervorschläge konzentriert sich auf eine systematische Vereinfachung des Systems in Hinsicht auf eine wirtschaftliche Fertigung und Montage.

Hierbei wurde im wesentlichen in folgenden Schritten vorgegangen:

Das Ausgangssystem des Bauentwurfes war ein bereichsweise unregelmäßiges räumliches Fachwerksystem aus Rohrprofilen mit teilweise gekrümmten Ober- und Untergurten, welche alle miteinander verschweißt werden sollten. In den gekrümmten Bereichen des Daches im Übergang zum Doppelkegel lagen die Knoten der Ober- und Untergurte nicht übereinander, wodurch sich windschiefe Fachwerke mit gekrümmten Gurten und beliebig in allen Richtungen geneigten Diagonalen ergaben, welche sowohl in der Konstruktion und Fertigung als auch in der Montage äußerst schwierig umzusetzen gewesen wären.

2.2.1 Tragstruktur

Der Grundgedanke des Sondervorschlages der ARGE war es, das System im Sinne einer wirtschaftlichen Herstellung zu optimieren und für die

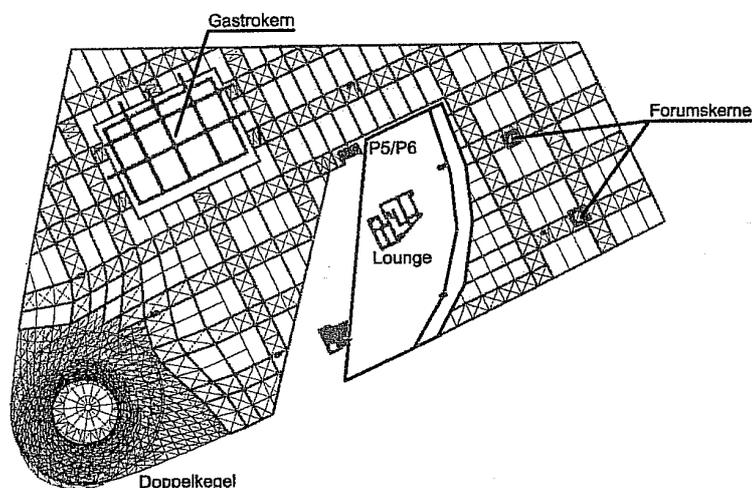


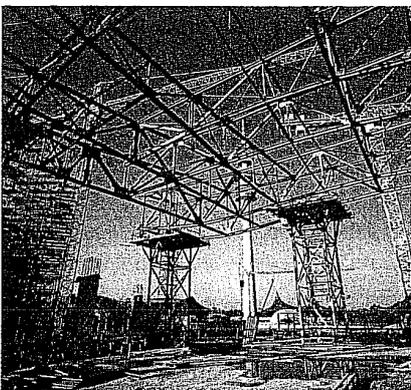
Bild 6. Dachsystem mit Haupt- und Nebentragelementen und Aussteifungskernen
Fig. 6. Steel structure with main and secondary trusses and horizontal stiffening concrete elements

praktische Umsetzung auf der Baustelle vorzubereiten. Soweit als möglich sollten trotz der unregelmäßigen Dachstruktur typisierte Tragelemente verwendet, und trotzdem der Entwurfsgedanke der Architekten respektiert und verwirklicht werden.

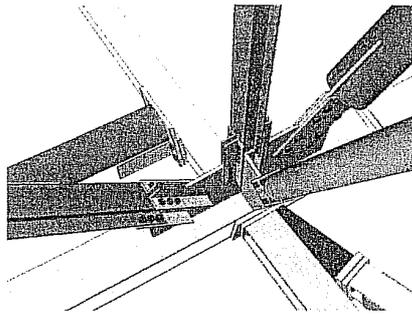
Die erste Aufgabe war es deshalb, das System in Abstimmung mit dem Architekten auszurichten und weitgehend zu vereinfachen. Dazu wurden zu allererst die unregelmäßigen, teilweise windschiefen Fachwerkstrukturen in vertikale Fachwerkscheiben mit senkrecht übereinander liegenden Knoten und bereichsweise von Knoten zu Knoten geraden Fachwerkstäben umgewandelt und damit eine Tragstruktur erreicht, welche mit gerichteten Tragelementen eines Trägerrostes zu vergleichen ist und damit in der praktischen Realisierung in einzelne orthogonale Fachwerkscheiben zerlegt werden kann (Bild 7).

Als Haupttraglinien wurden Doppelfachwerke im Abstand von 5 m gewählt. Diese sind weitgehend orthogonal in einem Abstand von 10 bzw. 15 m angeordnet. Dazwischen sind einfache Nebentragwerke in Form von unterspannten Bindern eingehängt, welche die Dachlasten auf die Haupttragelemente übertragen.

Sämtliche Fachwerkscheiben wurden im wesentlichen aus handelsüblichen offenen Walzprofilen hergestellt. Lediglich für Druckdiagonalen mit großer Schlankheit und entsprechender Knickgefahr wurden Rohrquerschnitte mit unterschiedlichen Querschnitten eingesetzt.



*Bild 7. Detailansicht der Montage Regeldach (© Buck Fotodesign, München)
Fig. 7. Picture of building the roof-steel-structure (© Buck Fotodesign, München)*



*Bild 8. Geschraubter Fachwerkknoten
Fig. 8. Bolted connection of a typical node of a truss*

2.2.2 Konstruktionsdetails

Bei der Ausbildung der Knotenpunkte standen Fertigungs-, Transport- und Montagegesichtspunkte im Vordergrund. Nur wenige Elemente konnten aufgrund der teilweise sehr großen Bauhöhe der Fachwerkstrukturen in vorgefertigten, geschweißten Einheiten auf die Baustelle geliefert werden. Der Großteil der Konstruktion mußte in Einzelteilen auf die Baustelle geliefert werden und vor Ort in Montagelehren zusammengebaut werden. Zur Beschleunigung der Montage und zur Systematisierung der Arbeitsabläufe wurden sämtliche Montageverbindungen als Schraubstöße mit hochfesten Schrauben ausgebildet (Bild 8).

Trotz der unregelmäßigen Dachstruktur, in der kein Fachwerkstab dem anderen gleicht, wurden die Anschlüsse der Stäbe weitestgehend vereinheitlicht. Dazu wurde ein Typenkatalog entwickelt, welcher die Festlegung der Knotenanschlüsse bei der Erstellung der Konstruktionszeichnungen wesentlich vereinfachte.

2.2.3 Anschlüsse an den Massivbau

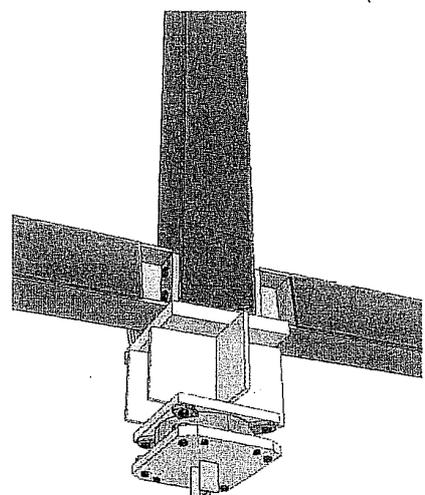
Da der Sondervorschlag zu einem Zeitpunkt ausgearbeitet und detailliert wurde, als der Rohbau bereits in Ausführung gehen sollte, mußte besonderes Augenmerk auf eine mit dem Massivbau kompatible Planung der Stahlkonstruktion gelegt werden.

Besonders schwierig gestaltete sich hierbei die Planung der Anschlußpunkte der Stahlkonstruktion an die Massivbaukerne und Stützen aufgrund der Verformungen der Dachstruktur infolge der großen frei überspannten Stützweiten.

So zeigte sich z. B., daß die Auflagerung auf den Stützen nicht wie ursprünglich gedacht mit hochbauüblichen Stirnplatten und Schraubverbindungen ausführbar waren. Die Verdrehungen der Lagerpunkte, die durch die teilweise exzentrisch und nicht im Raster angeordneten Stützen noch erheblich vergrößert wurden, erforderten eine Auflagerung dieser Knoten mittels Kalottenlagern, die die Bewegungen der Dachkonstruktion zwangungsfrei ermöglichen (Bild 9).

Die Anschlüsse an die Massivbaukerne waren so zu gestalten, daß einerseits die in der Statik angesetzten Lagerbedingungen zwangungsfrei umgesetzt wurden und daß andererseits die Randbedingungen des Massivbaus mit seinen unvermeidbaren Bautoleranzen eine einwandfreie Ausführung vor Ort ermöglichten.

Im Laufe der Planung und nach mehreren Gesprächen mit dem Prüfenieur zeigte sich, daß die ursprüngliche Trennung der statischen Systeme von Regeldach mit Doppelkegel und von Lounge aufgrund der großen Relativverschiebungen der Einzelsysteme wesentliche Randbedingungen und Wechselwirkungen der Systeme untereinander nicht oder nur unzureichend wiedergeben konnte. Aus diesem Grund wurden umfangreiche zusätzliche Berechnungen erforderlich, um diese Wechselwirkung zu berücksichtigen.



*Bild 9. Stützenauflager mit Pfostenverlängerung als Kreuzstütze und Kalottenlager
Fig. 9. Support of steelstructure on top of column with prolongation of strut as cross section and cup and ball bearing*

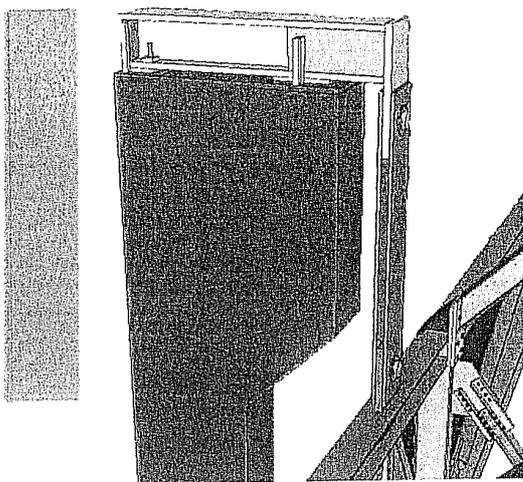


Bild 10. Vertikalanbindung Gastrokern
Fig. 10. Vertical support of steel structure on the concrete structure of the Gastro tower

Insgesamt zeigte sich hierbei, daß aufgrund der Weichheit der Systeme, insbesondere in horizontaler Richtung, den Verformungen und Verdrehungen der Konstruktion besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden mußte und daß aus diesem Grund auch bei der Ausbildung der Lager- und Kopplungspunkte die Randbedingungen des 3D-Statikmodells akribisch genau umgesetzt werden mußten. Zwei typische Beispiele von Auflagerpunkten an die Betonkonstruktion zeigen die Bilder 10 und 11, wobei Bild 10 eine Vertikalanbindung mit horizontaler Bewegungsfreiheit zeigt. Die Vertikallasteinleitung erfolgt hierbei über Galgenträger und Abhängung aus Flachstahl, während

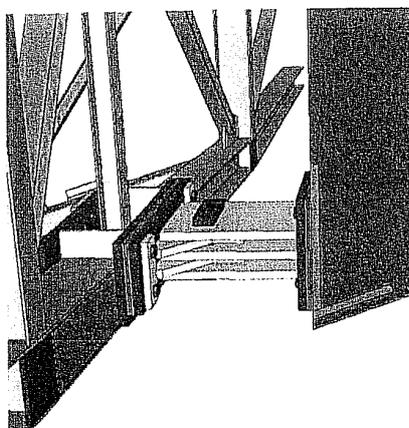


Bild 11. Horizontalanbindung Gastrokern
Fig. 11. Horizontal support of steel structure on the concrete structure of the Gastro tower

Bolzen eine horizontale Pendelbewegung und damit die entsprechende horizontale Bewegung ermöglichen.

Bild 11 dagegen zeigt eine gerichtete Horizontalanbindung an den Gastrokern über ein Verschiebestück mit kammartig ineinander greifenden Blechen, welche mit einem Rechteckbolzen zur Kraftabtragung verbunden sind.

3 Lounge

Ein weiteres Kernstück des Gesamttragwerkes ist die Lounge. Dieses Bauteil wurde nicht in den Sonderentwurf einbezogen und wird gemäß der Bauherrenplanung hergestellt.

Die Lounge ist ein Stahlskelettbau mit Stahlbetonverbunddecken. Der im Grundriß ca. 80 x 35 m messende Baukörper ist geschickt in die Wolkenlandschaft integriert.

Zwei Bürogeschosse stehen auf der sogenannten „Fischbauchebene“, einer Trägerrostkonstruktion, die die Geschoßlasten in die umlaufenden, baukörperhohen Hauptfachwerke tragen.

Um den „schwebenden“ Charakter des in die Wolke integrierten Loungekörpers zu unterstreichen, ist dieser auf lediglich vier schlanke Auflagerpunkte aufgestellt. Die Auflagerpunkte bestehen auf der Südseite aus einer von den seitlichen Fahrstuhlkernen schräg herauswachsenden „Finger-Konstruktionen“, die durch ihre Neigung aus 14 MN Vertikallasten bis zu 7 MN Horizontalkräfte erzeugen. Auf der Nordseite stehen zwei geneigte Stahlbetonstützen.

Lediglich der torsionssteife Zentralkern mit Treppenhaus und Aufzügen gibt dem System die globale Stabilität.

Auf der Nordseite ist das umlaufende Hauptfachwerk gekrümmt und zwischen den beiden Geschossen verschwenkt, so daß sich zwei nahezu unabhängige, mehrfach abgeknickte und nur je ein Geschoß hohe Fachwerke ergeben. Auf der Süd-, Ost- und Westseite reichen die tragenden Hauptfachwerke von der Fischbauchebene über beide Geschosse bis zum Dach.

Die statische Tragfähigkeit der Lounge wird nach vollständiger Montage erst im Verbund mit den Kernen, dem sogenannten Premiereteller (einer großen Stahlbetondecke unterhalb der Lounge), und den tragenden Loungedecken erreicht.

Das Lounge-System ist für sich, insbesondere durch die vielfältigen Bauzustände und den damit verbundenen wechselnden Tragsystemen ein so komplexes Thema, daß es den Rahmen dieses Aufsatzes sprengen würde. Informationen darüber folgen in einem weiteren Beitrag.

4 Fassadenkonstruktion

Die Fassade mit einer durchschnittlichen Höhe von ca. 22 m beinhaltet aufgrund der geometrischen Anforderungen mit einem „Knickpunkt“ und den konstruktiv einzuhaltenden Randbedingungen (wie das Verformungsverhalten der Dachkonstruktion oder die Einflüsse aus der Fassadenbeheizung) einen im ersten Moment kaum erkennbaren Schwierigkeitsgrad.

Umgesetzt wurde deshalb ein stehendes Pfosten/Riegelsystem mit zusammengesetzten, geschweißten Sonderprofilen. Abweichend vom Bauherren-Entwurf wurde eine vertikalverschiebliche Anbindung an das Dach gewählt, damit aus vertikalen Verformungen der Dachstruktur keine schwer zu kontrollierenden Zwängungen und Biegeverformungen in die Pfosten eingetragene werden. Die Achsrasterung beträgt ca. 5,0 m in der Breite und ca. 2,5 m in der Höhe.

Die darin eingesetzten großformatigen (2,5 x 5,0 m) Glaselemente sind linien-/punktgelagert verankert.

Zur Erfassung der unterschiedlichen Fassadensysteme (unterschiedliche Systemhöhen, teilweise mit und ohne Zwischenabstützung, div. Dehnfugen, teilw. Durchlaufwirkungen, etc.) wurden verschiedenste Teilmodelle erstellt, auf deren Grundlage die zu erwartenden Schnittgrößen und Verformungen ermittelt wurden.

5 Von Montage- und Bauzuständen in den Endzustand

5.1 Montage Kegel

Bei der Montage der Konstruktion sind grundsätzlich zwei Grundvorgänge zu berücksichtigen: zum einen der eigentliche Aufbau der Doppelkegelstruktur aus Einzelbauteilen (Errichtung der Kegelstruktur, Aufsetzen des Ringträgers, Einhängen der Fachwerke im Zwischenbereich), zum anderen die Koppelung mit dem Haupt-

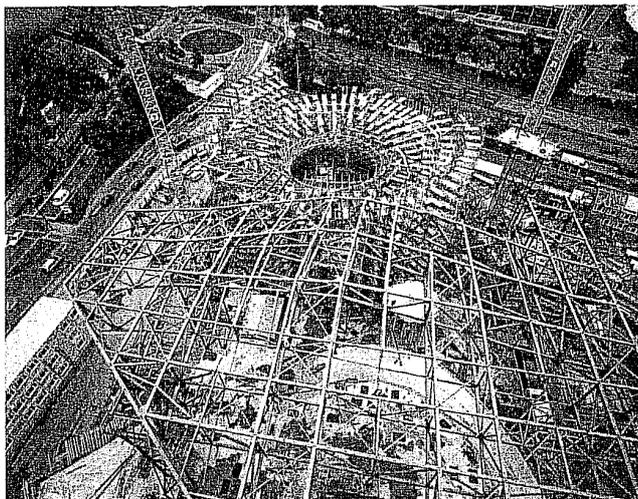


Bild 12. Draufsicht der Konstruktion von Norden
(© Buck Fotodesign, München)
Fig. 12. General view of the construction from north
(© Buck Fotodesign, München)

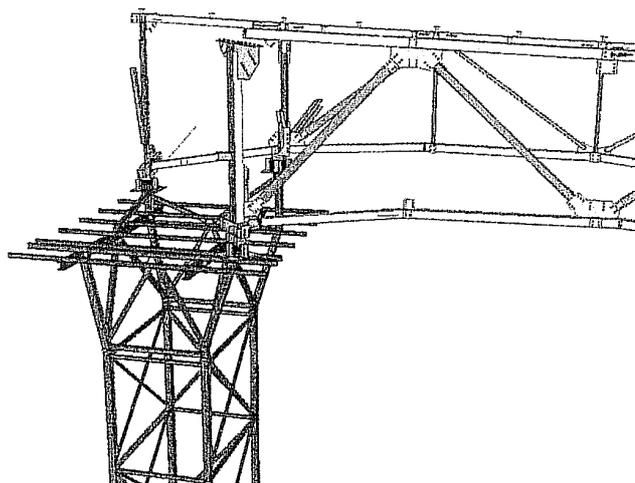


Bild 13. Montagehilfsturm mit teilweise montierter Dachkonstruktion
Fig. 13. Temporary erection support tower with partly erected steel structure

dach und den darauf folgenden Ablastszenarien (Bild 12).

Der sukzessive Aufbau der Gitternetzteilenelemente erfolgt mittels Hilfskonstruktionen und Abstützgerüsten. Nach Vollendung dieser Bauteile wird der Ringträger, wiederum in transportable Bauteile untergliedert auf einer umlaufend angeordneten Gerüstkonstruktion aufgelagert, ausgerichtet und verschraubt/verschweißt. Danach werden planmäßig die Zwischenträger ergänzt (untergeordnet die Montage der Hängedachkonstruktion).

Um ein kontrolliertes Absenken der gesamten Dachkonstruktion vornehmen zu können, werden am Ringträger Spindeln vorgesehen.

Da keine wesentlichen Kraftumlagerungen weder vom Haupttragwerk zum Doppelkegel oder auch umgekehrt erfolgen dürfen, wurde ein entsprechendes Absenkkonzept entwickelt.

5.2 Montage Regeldach

An die Montage des Regeldaches sind besondere Anforderungen gestellt.

Das Regeldach ist durch den mittigen Glasdacheinschnitt und die Lounge aus Montagesicht in zwei große fast unabhängige Dachflächen geteilt, in den Bereich vom Doppelkegel zum Gastro und den Bereich nördlich (rechts) von der Lounge über dem Forum.

Das Regeldach besteht aus einer der „Wolke“ nachgeführten Träger-

rostkonstruktion. Die Träger selbst sind Fachwerke mit unterschiedlichen Bauhöhen, je nach Mächtigkeit der Wolke von ca. 2,5 m bis über 15 m.

Der südliche Trägerrost umspannt den Gastroturm wie eine große Platte mit Loch und reicht bis zum Doppelkegel. Er ist nur auf wenige vereinzelte Stützen aufgelegt und überspannt den großen Bereich vor dem Gastroturm von ca. 80 m stützenfrei.

Er ist erst nach kompletter Montage tragfähig. Die Montage erfolgt daher auf Rüsttürmen, die so angeordnet sind, daß möglichst große Spannweiten der einzelnen Rostträger ausgenutzt werden können. Die Rüsttürme nehmen die Fachwerkträger jeweils an den Untergerurten (Unterkernte Wolke) auf und stabilisieren die bis zu 15 m hohen Fachwerkscheiben der Träger durch seitlich fortgeführte Lehren. Die zwischen 15 bis 20 m hohen Rüsttürme übernehmen neben den Montagelasten auch die Aussteifungsfunktion und Windlastabtragung im Bauzustand. Die Rüsttürme sind Fachwerkturne mit Abmessungen im Grundriß von 3,5 × 5,0 m. Der Rüstturmkopf ist der jeweiligen Geometrie der Binder angepaßt, die Fußpunkte sind in der Stahlbetondecke über U0 (entspricht Nullniveau) verankert.

Nach Fertigstellung des Trägerrostes inklusive der Verbände zur tragenden Dachscheibe und der Anschlüsse an den Doppelkegel, den

Gastrokern und den Aufzugskern P5/P6 und die wenigen Stützen werden die Rüsttürme entlastet und das Tragsystem des Trägerrostes aktiviert.

Der Umlastprozeß erfolgt nach genau berechnetem Muster, so daß die jeweils verbleibenden Rüsttürme nicht überlastet werden. Pro Rüstturm sind dabei vier Pressen synchron zu steuern. Im Übergangsbereich zum Doppelkegel erfolgt der Systemwechsel in Koordination mit dem Rückbau des Lehrgerüsts des Doppelkegels. Nach dem Umlasten trägt der Trägerrost frei und übernimmt die statische Scheibenfunktion zwischen den aussteifenden Kernen.

Der Regeldachabschnitt nördlich der Lounge über dem Forum wird analog montiert.

Im Endzustand liegt dieser Dachabschnitt an zwei Stellen auf dem Nordfachwerk der Lounge und auf Einzelstützen über dem Forum auf. Horizontal ist der Trägerrost über Kardangelenktstäbe an die Lounge angekoppelt. Die Verbindung zur Lounge kann erst hergestellt werden, wenn sich die Lounge im Endsystem befindet und insbesondere die Rotationsbewegungen abgeklungen sind. In diesem Abschnitt wird das Dach daher inklusive der vollständigen Dacheindeckung so lange auf den Rüsttürmen liegen bleiben, bis nach der Loungemontage die horizontale und vertikale Koppelung und der Umlastprozeß von den Rüsttürmen vorgenommen werden kann (Bild 13).

Durch die vorher beschriebene Abänderung des Tragwerkentwurfes in eine Trägerroststruktur mit gerichteten Längs- und Querbändern und durch den Einsatz der Rüsttürme kann auf die flächige Einrüstung verzichtet werden.

Die Stahlbaumontage kann weitestgehend unabhängig vom Baufortschritt der anderen Gewerke erfolgen. Es wird größt mögliche Flexibilität für die gedrängten Baustellenverhältnisse erreicht.

Erst durch den vollständigen tragenden Zusammenschluß der Dachflächen und den Anschluß an alle Kerne, an den Doppelkegel und an die Lounge ist das Gesamtsystem für den Endzustand standsicher. Durch die in Obergurbene der Trägerroste ausgebildete Dachscheibe werden die Horizontallasten auf die wenigen aussteifenden Kerne verteilt.

5.3 Überführung von Kegel und Regeldach in den Endzustand

Der erfolgte Zusammenschluß des Regeldaches mit Doppelkegel ist Grundlage für die erste Etappe der Umlastung von Rüsttürmen auf die Endauflager.

Für die dritte Etappe der Umlastung muß der nördliche Bereich des Regeldaches auch an die Lounge angeschlossen werden. Wie oben erwähnt, bildet die Lounge ein zentrales, „kern“-ähnliches Auflager für die Glasdächer an der Lounge und das Regeldach, nördlich der Lounge.

Das Ausdrehen der Lounge ergibt den Zeitpunkt, zu dem das nördliche Dach erst angeschlossen und dann abgelassen werden darf.

6 Schlußbemerkungen

Dem geneigten Leser dürfte an dieser Stelle nicht entgangen sein, daß es sich hier um eine anspruchsvolle und überaus sensible Konstruktion handelt, die höchste Anforderungen bei allen Projektbeteiligten erfordert. Gleichzeitig sei an dieser Stelle noch erwähnt, daß nicht nur der Sondervorschlag, sondern auch Bauteile Lounge, Fassade, Glasdächer, Schlepptreppe und Brücke bereits je für sich besondere Anforderungen beinhalten, die zu gegebener Zeit in einem separaten Beitrag vorgestellt werden.

An der Stahlbauplanung und Stahlbauausführung beteiligte:

Generalplaner:

Coop Himmelb(l)au, Wien
Tragwerksentwurf:

Bollinger und Grohmann, Frankfurt/M.

Prüfingenieur:

Prof. Dr.-Ing. *Konrad Zilch*, München
Arbeitsgemeinschaft Stahlbau/
Fassade:

Maurer Söhne GmbH & Co. KG

(Gewerk Stahlbau), Mitarbeiter:

Wolfgang Amberg, Thomas Hahn, Klaus Holler, Thomas Möckl, Uwe Möller, Rüdiger Schidzig, Christoph Wagner, Stefan Wagner, Jochen Wehrle, Peter Wochnik, Rolf Wolter

Josef Gartner KG (Gewerk Doppelkegel und Fassade) Mitarbeiter:
Mathias Benning, Susanne Egger, Sabine Hitzler, Stegmar Linder, Dieter Lohner, Viktor Merenda, Elke Peter, Reinhard Strobel, Franz Wais

Arbeitsgemeinschaft Tragwerksplanung BMW-Welt Stahlbau/Fassade:
Fichtner+Köppl Planung und Beratung im Bauwesen, Rosenheim, Mitarbeiter: *Johann Bleiziffer, Christian Ramsteiner*

Ludwig & Weiler Ingenieure, Augsburg, Mitarbeiter: *Stefan Reiber*
SSF Schmitt Stumpf Frühauf und Partner Ingenieurgesellschaft im Bauwesen mbH, München, Ausführungsplanung Massivbauteile, Berechnung Bauzustände Lounge
Peters Schüßler Sperr Ingenieurbüro für Bauwesen GmbH, Nürnberg, Werkstatt- und Montageplanung Lounge
Muck Ingenieure Ingolstadt, Werkstattplanung Regeldach
SZG-Engineering Nürnberg, Projektmanagement

Autoren dieses Beitrages:

Dr.-Ing. Johann Köppl, Fichtner+Köppl Planung und Beratung im Bauwesen
Dipl.-Ing. Josef Ludwig, Ludwig & Weiler Ingenieure
Dipl.-Ing. Rüdiger Schidzig, SZG-Engineering, Projektleitung BMW-Welt, Maurer Söhne GmbH & Co. KG
Dipl.-Ing. Stefan Wagner, Projektleitung BMW-Welt, Maurer Söhne GmbH & Co. KG