

# Neubau eines Hangars in Kuala Lumpur unter besonderer Berücksichtigung des Hebevorganges der Dachkonstruktion

Im Rahmen der Bauarbeiten für den Großflughafen Kuala Lumpur wurde auch eine Wartungshalle für Großraumflugzeuge errichtet. Es wird über Planung und Ausführung der Stahlkonstruktion des 200 m × 90 m großen Hangars berichtet. Neben der Darstellung des statischen Gesamtkonzeptes nimmt der Hebevorgang des 2500 t schweren Daches einen breiten Raum ein. Die Konstruktion wurde am Boden vormontiert und mit Hilfe hydraulischer Hubpressen um 26 m in die endgültige Lage gehoben. Abschließend wird über praktische Erfahrungen während der Arbeiten berichtet.

**Construction of a hangar in Kuala Lumpur with regard to the special circumstances of lifting the roof structure.** Part of the construction of the new Kuala Lumpur International Airport was the erection of a maintenance hangar for wide-body aircraft. This report describes design and construction of the steel structure of the 200 × 90 meter wide hangar. Beside the main structural elements and the overall design concept, the lifting of the roof structure is specifically explained. This structure with a weight of approximately 2500 tons was erected on ground and then lifted up 26 meters by hydraulic yacks. Furtheron some practical experiences made during construction are reported.

## 1 Einleitung

Etwa 60 km südlich der malaysischen Hauptstadt Kuala Lumpur wurde kürzlich ein neuer Großflughafen mit einer Anfangskapazität von etwa 30 Millionen Passagieren und einer möglichen Erweiterung auf bis zu 90 Millionen Passagieren pro Jahr in Betrieb genommen. Mit dieser gewaltigen Baumaßnahme will man den zunehmenden Luftverkehr auch im 21. Jahrhundert sicher und auf dem Stand der Technik abwickeln. Die malaysische Fluglinie Malaysian Airlines System Bhd. (MAS) besitzt innerhalb des neuen Flughafenareals einen eigenen Campus, in dem verschiedene Betriebe, wie z. B. Cargo, Catering, Engineering und Maintenance, angesiedelt sind. Im Sommer 1996 erhielt ein deutsch-malaysisches Joint Venture unter technischer Federführung von HOCHTIEF Malaysia den Auftrag zur schlüsselfertigen Errichtung des MAS-Wartungshangars und der dazugehörigen Werkstätten in einer Bauzeit von nur 65 Wochen.

## 2 Konstruktion/Statisches Konzept

Das vom Auftraggeber vorgegebene Design sah eine Halle mit 200 m Spannweite, einer Breite von 90 m und einer Firsthöhe von 42 m vor, eine der größten frei überspannten Wartungshallen weltweit. Sie bietet Platz für die gleichzeitige Wartung von zwei B-747-400 und einer B-737.

Während die angrenzenden Werkstattgebäude in Stahlbeton-Skelettbauweise geplant waren, sollte die Konstruktion des Hangars in Stahl erfolgen, die auf etwa 30 m tiefen Bohrpfehlen mit Einzelfundamenten ruht.

Zur Überbrückung der Toröffnung war ein Fachwerk-Kastenträger mit 4 m Breite und 17,7 m Höhe vorgesehen. Dieser im folgenden „Torbinder“ genannte Rahmen war als torsionssteifer Kasten ausgebildet und an den Rahmenecken um ca. 6 m aufgevoutet (Bild 1).

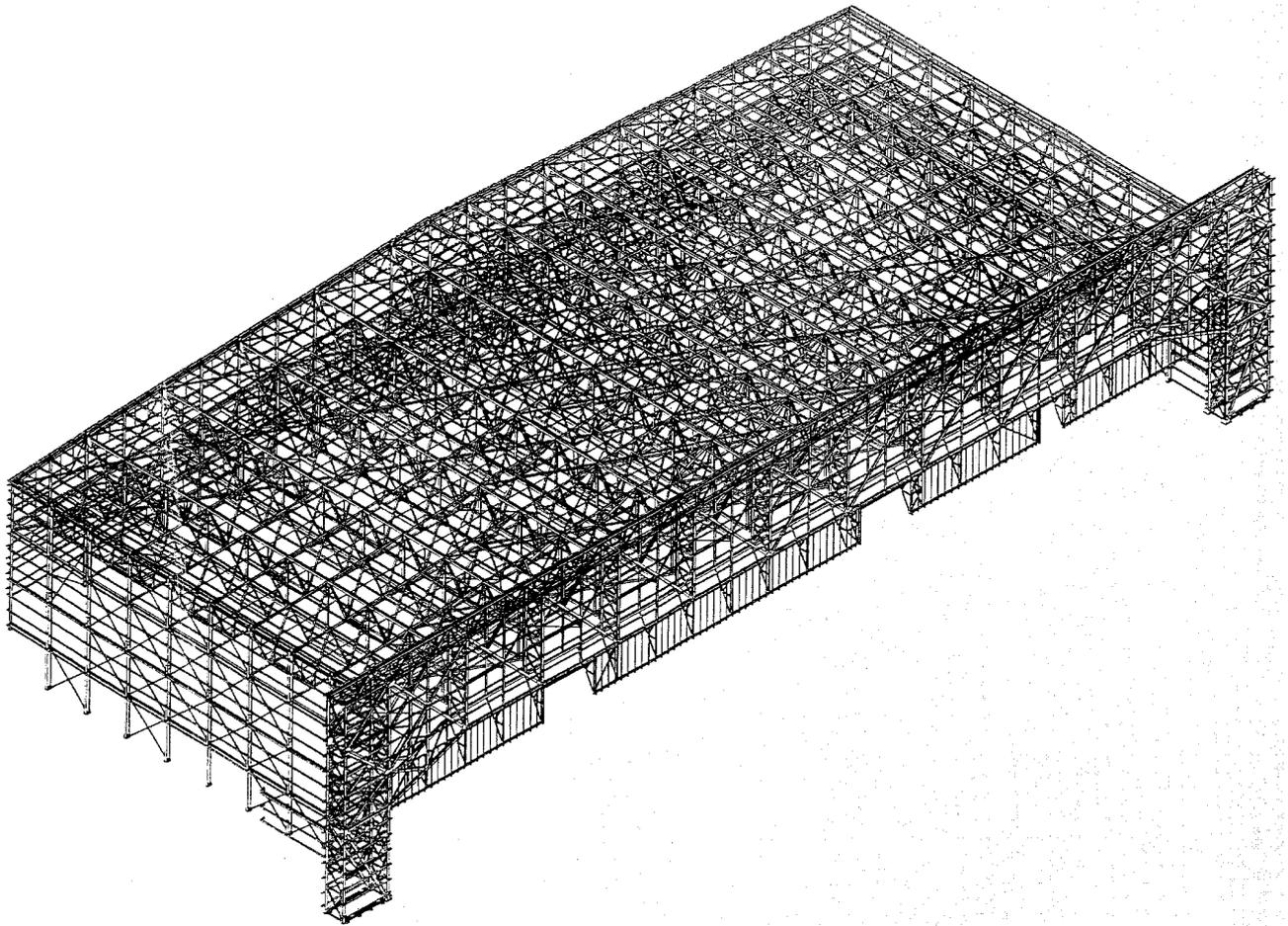
Die Außenwände wurden durch Einzelstützen mit ca. 10 m Abstand und ca. 35 m Höhe gebildet. Die Dachkonstruktion selbst besteht aus Fachwerkbindern von 10 bis 14 m Höhe, die im ca. 10-m-Raster in Hallenquer- und Längsrichtung verlaufen (siehe Bild 1). An den Untergurten angehängt befinden sich sieben in Längsrichtung gespannte Kranbahnen zur Aufnahme der beiden Teleplattformen à 27 t sowie eines 10-t-Kranes. Die Abtragung der Horizontalkräfte erfolgt über ein Verbandssystem in der Dachkonstruktion, das die Lasten in den Torbinderrahmen und in die Verbände in den Giebelwänden und der Rückwand abträgt.

Der Entwurf, der von einem malaysischen Ingenieurbüro stammt, wurde auf der Basis des British Standard erstellt, wobei die dort zulässigen Toleranzmaße noch deutlich eingeschränkt wurden, so war z. B. bei Stützen das Abweichmaß von der vertikalen Achse in 30 m Höhe auf 10 mm beschränkt. Die gewählte Konstruktion basierte auf gewalzten Doppel-T Profilen nach BS, wobei generell äußerst gedrungene Querschnitte vorgegeben waren. Das größte verwendete Profil war ein 356 × 406 × 900 UC mit Flanschdicken von ca. 90 mm und einem Gewicht von ca. 900 kg/m (Bild 2).

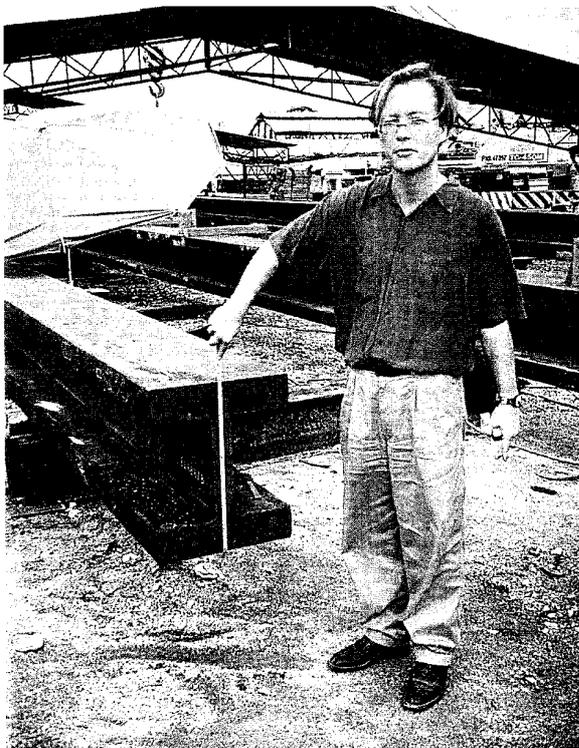
## 3 Montagekonzept

Trotz des dafür ungünstigen statischen Systems wurde aufgrund des äußerst engen Terminplanes über eine Hubmontage des Daches als Ganzes oder in größeren Einheiten nachgedacht. Drei Varianten wurden diskutiert:

1. Montage der Rückwandstützen und der Rahmenstützen des Torbinders; anschließende Hubmontage des gesamten restlichen Hallendaches, bestehend aus Torbinder, Hauptbindern, Nebenbindern, Dachverbänden und Pfetten
2. Montage der Rückwand- und Torbinderstützen analog Variante 1; anschließende hydraulische Hubmontage des Torbinders; darauf folgende hydraulische Hubmontage der Dachkonstruktion, bestehend aus Hauptbindern, Nebenbindern, Dachverbänden und Pfetten
3. Montage der Rückwand- und Torbinderstützen analog Variante 1; Montage der Torbinder-Konstruktion konventionell auf Hilfsstützen (Bild 3a); anschließende hydraulische Hubmontage der Dachkonstruktion, bestehend aus Hauptbindern, Nebenbindern, Dachverbänden und Pfetten.



**Bild 1.** Stahlkonstruktion des Hangars  
**Fig. 1.** Structural steel of hangar

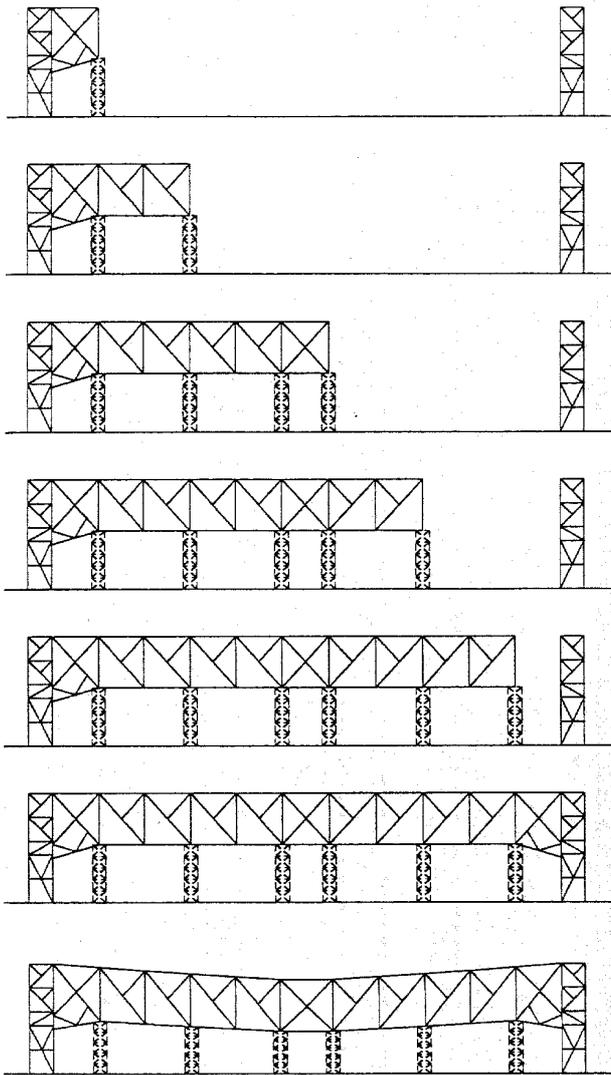


**Bild 2.** Profil mit extremen Abmessungen  
**Fig. 2.** Rolled section with extreme dimensions

Es stellte sich sehr bald heraus, daß die Varianten 1 und 2 wegen der gevouteten Ausführung des Torbinders große Nachteile mit sich brachten, da im einen Fall das gesamte Dach auf ca. 11,00 m Höhe zusammengebaut hätte werden müssen, und im Fall 2 die Torbinder-Montage ebenfalls auf Hilfsstützen erfolgen hätte müssen. Die zusätzlichen Kosten und der Zeitaufwand für den Umbau der Hubeinrichtung gaben schließlich den Ausschlag für Variante 3, welche kurz zusammengefaßt folgende Vorteile aufwies:

- Montage von Torbinder, Rückwand und Dachkonstruktion konnte ungehindert parallel nebeneinander laufen.
- Noch während der Montage der Dachkonstruktion konnte nach Fertigstellung von Rückwand und Torbinder die Installation der Hubpressen erfolgen und somit wertvolle Zeit eingespart werden.
- Die Montage des gesamten Daches konnte auf einer Höhe von ca. 1,50 m erfolgen, welches zum einen die Montage der Stahlkonstruktion und zum anderen die der gesamten Haustechnik erheblich vereinfachte.
- Das Gesamthubgewicht von ca. 2500 t erlaubte den Einsatz von am Markt erhältlichen wirtschaftlichen Hubpressen.

Mit der Entscheidung für Variante 3 war die prinzipielle Entscheidung für den Montageablauf gefallen. Im nächsten Schritt mußten nun die Details der Hubmon-



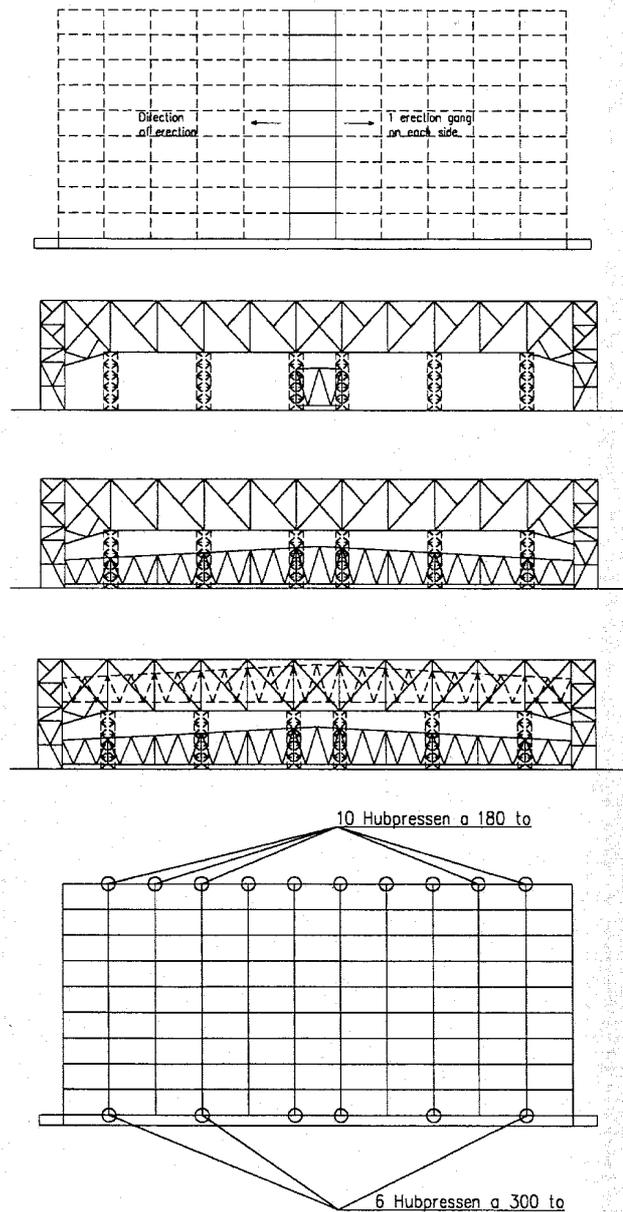
**Bild 3a.** Montageablauf Torbinder  
**Fig. 3a.** Erection sequence of box girder

tage so festgelegt werden, daß sie terminlich und kostenmäßig optimiert ablaufen konnte. Es war jetzt erforderlich, die Anzahl der einzusetzenden Hubpressen im Hinblick auf die Tragfähigkeit der vorhandenen Stützen und gleichzeitig die erforderliche temporäre Hilfskonstruktion zu minimieren.

Als Resultat entstand der in Bild 3b dargestellte Montageablauf mit sechs Hubpressen am Torbinder und zehn Hubpressen an der Rückwand.

**4 Planung der Montage und des Hebevorganges**  
**4.1 Voruntersuchungen**

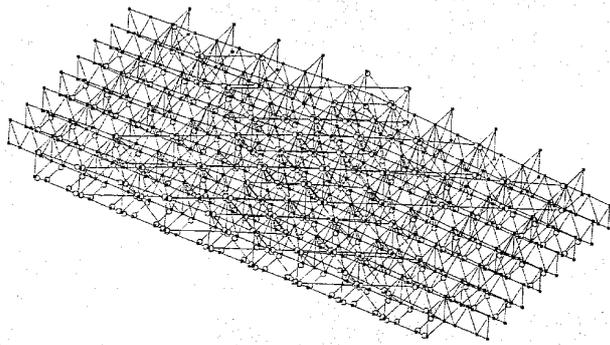
Im Endzustand stellt das Dachtragwerk (Bild 1) wie oben erläutert ein einfaches Tragsystem aus Pfetten, Querbindern und Hauptbindern dar. Die einzelnen Tragwerksteile wurden vom Tragwerksplaner nur im Hinblick auf ihre



**Bild 3b.** Montageablauf Dachkonstruktion  
**Fig. 3b.** Erection sequence of roof structure

endgültige Aufgabe dimensioniert. Der gewählte Montageablauf erforderte jedoch eine eingehende Untersuchung der Zwischenzustände.

Da von Seiten des Auftraggebers in der Planung keinerlei Überlegungen oder Vorkehrungen für den Hebevorgang angestellt oder eingeflossen waren, und dem Joint Venture nicht einmal die komplette statische Berechnung zugänglich gemacht wurde, entschloß man sich, die notwendige Planung und Berechnung selbst durchzuführen, um die Anforderungen an die Hubtechnik einerseits und die notwendigen Verstärkungen und Hilfskonstruktionen beim Stahlbau andererseits festzulegen. Zunächst einmal mußten jedoch die erforderlichen Rahmenbedingungen erarbeitet werden, wie z. B. das genaue Eigengewicht der Stahlkonstruktion und der bereits am Boden installierten Haustechnik.



**Bild 4.** Räumliches Modell des Dachtragwerkes  
**Fig. 4.** 3 D model of roof structure

Die Berechnungen sollten gesicherte Annahmen für die Dimensionierung der Hubpressen und Hubseile sowie Aussagen über die zulässigen Verformungen an den einzelnen Hubpunkten liefern. Außerdem waren Stabilisierungskonzepte für den Lastfall Wind während des Hebens festzulegen und der genaue Ablauf des Lasttransfers von den Hubseilen zur Unterbaukonstruktion zu entwickeln.

Für die Berechnung wurde die Struktur in drei Teilschnitte zerlegt:

1. Dachkonstruktion, bestehend aus Hauptbindern, Nebenbindern, Pfetten und Verbänden, belastet durch Eigengewicht, Installationslasten und Dacheindeckung (Bild 4)
2. Torbinder mit Torwandstützen, abgestützt durch Hilfsstützen in den Achsen (vgl. Bild 3a)
3. Rückwandstützen, ausgesteift durch Wandverbände und Querriegel sowie durch Montagehilfsabstützungen (Bilder 5 und 6).

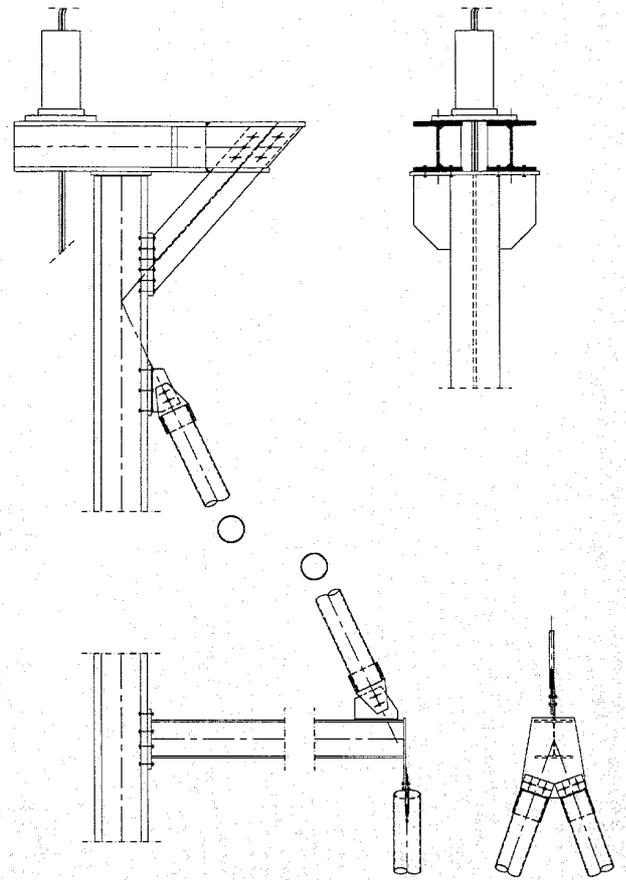
Die Unterteilung der statischen Untersuchung des Gesamtsystems in die genannten Teilsysteme, welche durch die Hubseile gekoppelt waren, vereinfachte die Berechnungen erheblich. Eine Abschätzung der Einflüsse der Kopplung bestätigte, daß die Berechnungen auf der sicheren Seite lagen.

Gleichzeitig liefen wegen des extremen Zeitdrucks bereits Voranfragen an die in Frage kommenden Spezialunternehmen, da ein Großteil der notwendigen Geräte aus Übersee herangeschafft werden mußte und daher eine exakte Terminplanung bei allen Beteiligten sehr wichtig war – ein Stillstand der Arbeiten auf der Baustelle wegen zu spät eintreffendem Gerät oder aber Wartezeiten der Hubmannschaft mit ihrem Spezialgerät sollten vermieden werden.

#### 4.2 Statische Untersuchungen am Dachtragwerk

Zur Untersuchung der vorgenannten Effekte wurde das gesamte Dachtragwerk mit Hilfe eines räumlichen FE-Programmes als dreidimensionales Stabwerk abgebildet, um möglichst zutreffende Aussagen über das Tragverhalten und das Verformungsverhalten im Hinblick auf die einzelnen Hubzustände zu erhalten (vgl. Bild 4).

Durch die Anordnung von nur sechs Hubpressen am Torbinder mußte die Dachkonstruktion und hier insbesondere die Nebenbinder in der Lage sein, die Lasten der zwischen den Hubpunkten liegenden Hauptbinder auf die direkt angeschlossenen Hauptbinder zu übertragen.



**Bild 5.** Montageaussteifung der Rückwandstützen  
**Fig. 5.** Temporary structure of rear wall columns

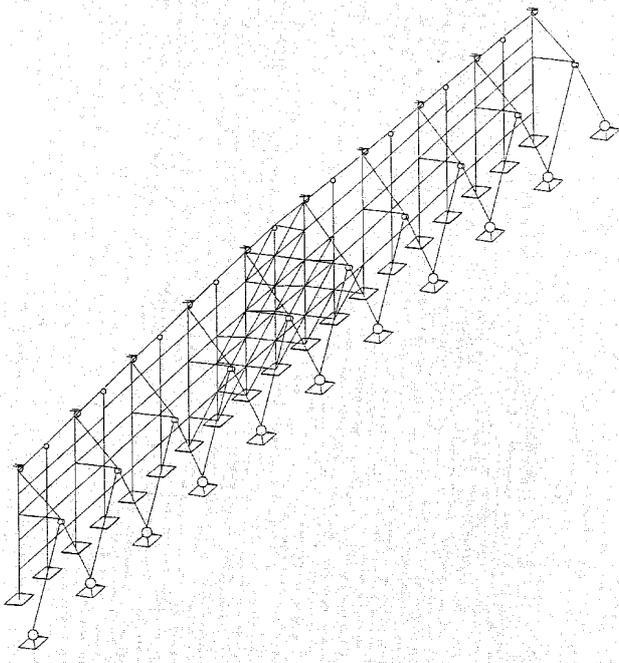
Das Ergebnis der Berechnung zeigte zum einen, daß die im Torbinder-Bereich liegenden Querbinder für diesen Fall verstärkt werden mußten. Zum anderen konnte festgestellt werden, daß das System sehr empfindlich auf kleinste Unterschiede in den Hubhöhen reagierte. Bereits bei einer Höhendifferenz von 25 mm zwischen zwei Hubpunkten wurden in den auflagnahen Querträgern die Grenzspannungen nahezu erreicht und die Umlagerung der Pressenkräfte so groß, daß deren Grenzwerte überschritten wurden.

Die Hebeteknik mußte demzufolge in der Lage sein, zu jedem Zeitpunkt exakte Daten über Pressenkraft und Hubweg eines jeden Anhängepunktes zu liefern.

#### 4.3 Statische Untersuchung der Torbinderrahmen

Entsprechend dem gewählten Montagekonzept wurden die Torbinderrahmen konventionell in Einzelteilen auf Hilfsstützen montiert. Nach der Montage der Rahmenkonstruktion sollte jedoch das Dach über Hubpressen, welche am Obergurt der Torbinder montiert wurden, angehoben werden. Die dadurch eingeleiteten Lasten wiesen jedoch eine wesentlich höhere Exzentrizität auf als die Lasten, welche im Endzustand wirken. Im Hinblick auf die spätere Verbindung der Anschlußpunkte des Daches an den Torbinder war es erforderlich, das Verformungsverhalten von Torbinder und Hilfsstützen möglichst exakt zu untersuchen.

Neben der Ermittlung der Verformungen mußte die Berechnung auch die Bemessungslasten für die angeord-



**Bild 6.** Idealisiertes System der Rückwand  
**Fig. 6.** 3 D model of rear wall

neten Hilfsstützen liefern. Ebenso wie die Dachkonstruktion wurde das System Torbinder und Hilfsstützen als räumliches Tragwerk unter den maßgebenden Belastungen untersucht. Die Berechnung lieferte genaue Werte der Schnittgrößen für die Bemessung und verlässliche Angaben zum Verformungsverhalten der Struktur.

Der Torbinder mußte entgegen seiner Verformung während des Hubvorganges geneigt montiert werden. Die Neigung des Torbinders wurde an allen Hubpunkten so berechnet, daß unter Berücksichtigung der Endtangentialverdrehung der Dachbinder eine sichere Verbindung mit den Anschlußpunkten der Dachkonstruktion ermöglicht wurde. Es mußte sichergestellt werden, daß an allen Verbindungspunkten die Neigung des Torbinders der Endtangentialverdrehung der Dachbinder entsprach.

#### 4.4 Statische Untersuchung der Rückwandkonstruktion

Ein besonderes Problem bei der statischen Berechnung der Montagezustände stellte die vorgegebene Konstruktion der Rückwand dar. Die Rückwandstützen waren aufgrund des endgültigen statischen Systems der Halle als Pendelstützen mit einer freien Knicklänge von ca. 20 m zwischen Auflagerpunkt und Hauptbinder-Untergurt ausgebildet. Im Montagezustand, vor der Verbindung des Binderuntergurtes mit der Stütze, erhöhte sich diese sogar auf ca. 34 m.

Dazu kam noch die äußerst ungünstige Querschnittswahl dieser Stütze mit einem sehr gedungenen Querschnitt W 356 × 467 UC mit einer statischen Gesamthöhe von ca. 440 mm. Dadurch ergab sich für den Fall, daß die Stützenfußpunkte während der Hubmontage in die Betonkonstruktion eingespannt wurden, eine Schlankheit dieser Stützen für den Eulerfall 2 von  $\lambda = 400$ .

Bei einer Last von maximal 1400 kN pro Hubpunkt an der Hinterachse, welche mit einer planmäßigen Ex-

zentrität von 520 mm angreift, war auch bei Ansatz der günstigen Wirkung der Rückstellkräfte aus der Schrägstellung der Seile kein stabiler Zustand zu erreichen. Es mußte also eine Hilfskonstruktion entworfen werden, um diese Stützen während der Montage mit minimalem Aufwand zu stabilisieren.

Die Stützen waren untereinander durch Querriegel in der Rückwandebene in mehreren Ebenen verbunden. Zwischen den einzelnen Hauptstützen waren Zwischenstützen angeordnet, die am Stützenfuß konstruktiv eingespannt waren und mit den Querriegeln biegesteif verbunden waren.

Die gewählte Aussteifungskonstruktion für die Rückwandstützen zeigen die Bilder 5 und 6. Dieses System konnte jedoch nur funktionieren, wenn durch den Tragverbund aus Querriegeln und Zwischenstützen eine zumindest elastische Halterung der Hauptstützen in Wandebene nachgewiesen werden konnte.

Zur Ermittlung der Schnittgrößen und Verformungen wurde das Gesamtsystem der Rückwand (Bild 6) mit Hilfe eines FE-Programmes idealisiert abgebildet und nach Theorie 2. Ordnung unter Ansatz von Imperfektionen in Anlehnung an DIN 18800 berechnet. Eine Ausnutzung plastischer Tragreserven wurde nicht in Ansatz gebracht.

Sämtliche Berechnungen wurden konservativ unter Ansatz richtungstreuer Kräfte durchgeführt und waren damit auf der sicheren Seite, wie eingehende Untersuchungen zeigten.

## 5 Praktische Umsetzung

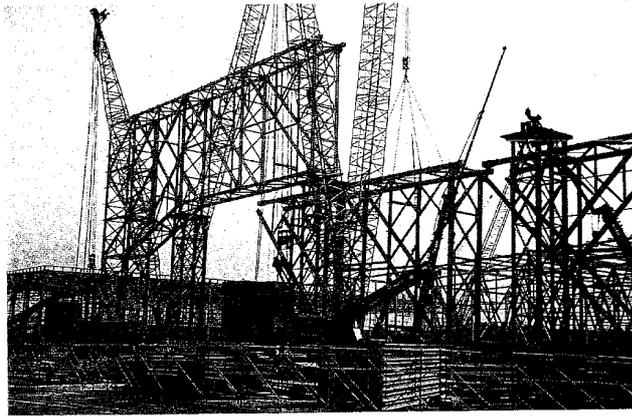
Die Ergebnisse der oben geschilderten Berechnungen mußten nun bei der Planung der Hubmontage in die Praxis umgesetzt und die einzelnen Montageabschnitte im Detail geplant werden.

### 5.1 Montage des Torbinders und der Rückwandkonstruktion

Die Montage des Torbinder-Rahmens und der Hilfsstützen erfolgte konventionell mit Autokränen. Die einzelnen Hubabschnitte wurden am Boden vormontiert und anschließend auf die Hilfsstützen angehoben (Bild 7). Hierbei mußte beachtet werden, daß die berechneten Verformungen des Torbinders während des Hubvorganges durch eine entsprechende Vorverformung des Torbinders ausgeglichen wurden.

Für die spätere Lastverformung wurden Torbinder und Dach in der Mitte der Toröffnung um 360 mm erhöht ausgebildet. Wie die Berechnung zeigte, war zu erwarten, daß die Verformung der Dachstruktur unter den Hublasten nahezu die Werte der Vorverformung erreichen würde. Deshalb wurde das Dach an den einzelnen Punkten synchron angehoben, so daß die aufgebrachte Vorverformung an den Aufhängepunkten der Torbinder-Achse unverändert erhalten blieb, der Torbinder an allen Hebeunkten durch Hilfsstützen abgestützt und damit in vertikaler Richtung relativ steif gelagert war. Eventuelle kleinere Verformungsdifferenzen aus der Normalkraftverformung konnten durch Nachjustieren an den Pressen korrigiert werden.

Nach dem Hubvorgang und der Verbindung der Dachstruktur mit Torbinder und Rückwandstützen



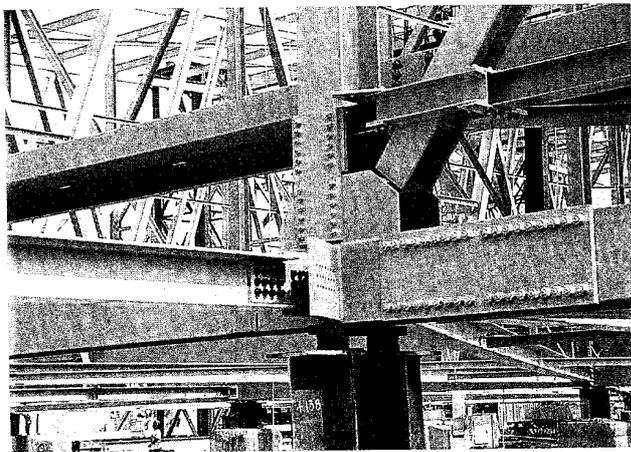
**Bild 7.** Torbindermontage  
**Fig. 7.** Erection of box girder

mußte jedoch die Konstruktion an den Unterstützungspunkten der Hilfsstützen abgesenkt werden, um eine Demontage der Hilfsstützen zu ermöglichen. Dieser Absenkungsvorgang erfolgte schrittweise mit hydraulischen Pressen.

### 5.2 Montage der Dachstruktur

Die Dachstruktur wurde am Boden in ca. 1,50 m Höhe auf Betonblöcke aufgelegt und der Vorverformung angepaßt montiert (Bild 8). Vor der Hubmontage sollte das Dach mit allen Einzelteilen wie Kranbahnen, Laufstegen, allen Energietrassen und dem Trapezblech am Boden komplettiert werden, um den Restaufwand nach der Hubmontage zu minimieren.

Zum Ausgleich der errechneten Dachverformung mußte die Dachstruktur ebenfalls überhöht werden. Hierbei war zu beachten, daß die parabelförmige Dachverformung mit der Torbinderverformung so überlagert werden mußte, daß sich im Endzustand die Verformung des Daches innerhalb der zulässigen Toleranzen bewegte. Gleichzeitig mußte bei der Fertigung und Montage der Dachstruktur beachtet werden, daß die Endtangentialneigung bei Strukturen dieser Dimension eine für die Verbindungsknoten nicht mehr zu vernachlässigende Größe darstellt.



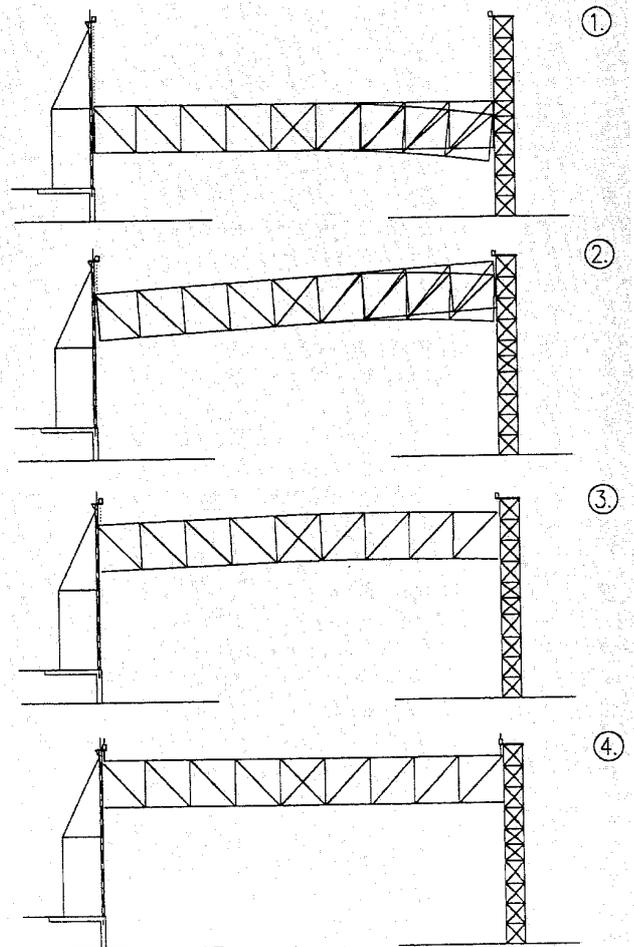
**Bild 8.** Räumlicher Knoten Dachtragwerk  
**Fig. 8.** Detail of roof structure

### 5.3 Hubfolge

Nach dem Freiheben des Daches und einer exakten Vermessung der Struktur konnte das Dach in konstanten Hubschritten von 400 mm entsprechend dem Auszug der Hubzylinder angehoben werden. Zur Kontrolle der zulässigen Verformungen war lediglich geplant, nach jedem Schritt eine Kontrolle der Hubhöhe der einzelnen Punkte durchzuführen und bei Bedarf einzelne Punkte nachzustellen.

Durch die Wahl von nur sechs Hubpressen an der Torbinderachse war folgende Hubfolge vorgegeben (Bild 9 und 10):

1. Anheben des Daches in gleichmäßigen Schritten. Die nicht angehängten Zwischenpunkte der Torbinderachse hängen zwischen den Anhängpunkten durch.
2. Nach Erreichen der endgültigen Hubhöhe an den Anhängpunkten des Torbinders wird in dieser Achse höher angehoben, um die Zwischenpunkte zuerst befestigen zu können. Zum Ausgleich der Endtangentialneigung des Daches wird an der Rückwand vor Erreichen der Hubhöhe gestoppt.
3. Nach Fixierung der Zwischenpunkte wird an der Torbinder-Achse abgelassen und die Verbindung der Hubpunkte hergestellt.
4. Abschließend wird an der Rückwand auf die endgültige Höhe gefahren und die Verbindung zwischen Dach und Stützen dort erstellt.



**Bild 9.** Hubfolge der Dachkonstruktion  
**Fig. 9.** Sequences of roof lifting

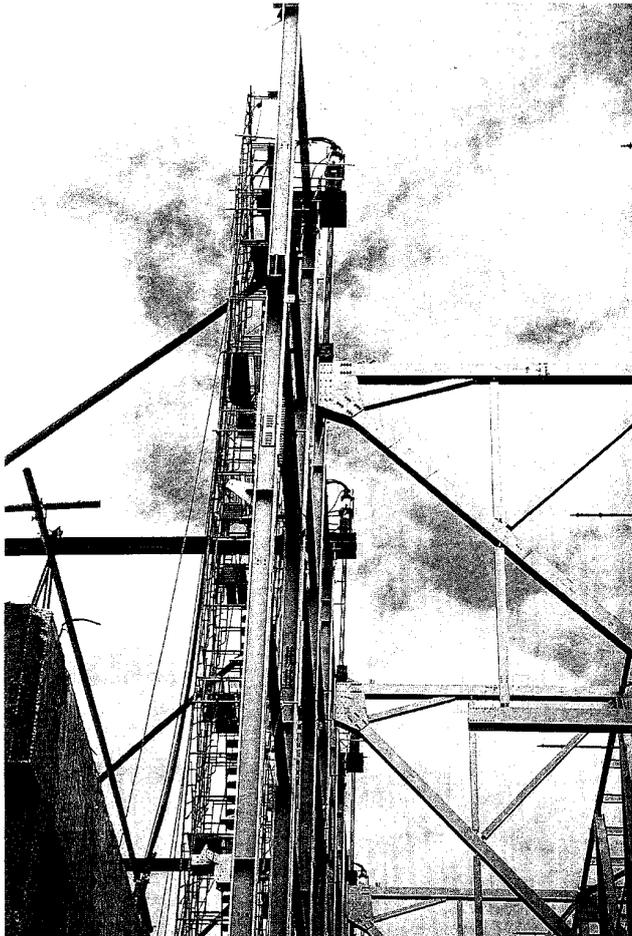


Bild 10. Während der Hubmontage  
Fig. 10. During lifting

#### 5.4 Detaillösungen/Anschlüsse

In Abstimmung mit dem malaysischen Stahlbauunternehmer, welcher die Werkstattzeichnungen und die Detailnachweise der gesamten Stahlkonstruktion zu erstellen hatte, mußten für alle Verbindungspunkte Lösungen erarbeitet werden, welche sowohl die Randbedingungen des Hubvorganges als auch die sichere Lastabtragung im Endzustand gewährleisteten.

Von großer Bedeutung waren hierbei die Anhängpunkte an der Dachkonstruktion, welche zum einen während der Hubabschnitte genügend Platz schaffen mußten, um das Dach an den Stützen und am Torbinder

vorbei bewegen zu können, und zum anderen einen schnellen und reibungslosen Lasttransfer von den Seilen zur endgültigen Stützkonstruktion ermöglichen mußten. Besonders zu beachten war dabei der Tatbestand, daß die Arbeiten zur Verbindung von Dach und Torbinder oder Rückwand in ca. 38 bis 40 m Höhe auszuführen waren.

Es wurde schließlich der in Bild 11 gezeigte verschiebliche Auflagerschuh gewählt, welcher vor der Hubmontage am Boden zurückgeschoben montiert (Bild 11a) und provisorisch befestigt wurde. Nach Erreichen der endgültigen Hubhöhe wurde der Schuh mittels überlanger Schrauben nach vorne gezogen und mit den vertikalen Flanschen von Torbinder und Rückwandstützen verbunden (Bild 11b).

Ein Ausgleich der Toleranzen in Hallenquerrichtung sollte aufgrund der relativ weichen Rückwandstützen kein Problem werden. Zum Ausgleich der horizontalen Toleranzen in Hallenlängsrichtung am Torbinder wurden die Verbindungen zwischen Torbinder und Auflagerschuh gemäß BS als gleitfeste Verbindungen mit vergrößertem Lochspiel konzipiert. Ein Ausgleich der vertikalen Maßdifferenzen schließlich konnte über die exakte Steuerung der Hubpressen erfolgen.

#### 6 Ablauf/Überraschungen

Für die Vorbereitungsarbeiten des Hebens, wie Montage der Hilfskonstruktionen, Installation der nötigen Strom- und Hydraulikleitungen, Aufbau der Hubpressen und Kabel sowie der EDV-gesteuerten Niveauüberwachung waren zwei Wochen vorgesehen. Dieser Zeitrahmen konnte nur mit äußerster Anstrengung eingehalten werden, da bereits in dieser Phase unerwartete Probleme auftraten. Die im Baustellenbereich äußerst staubige Luft hatte sich trotz Vorsichtsmaßnahmen an den Kabeln und in den Pressen festgesetzt und erschwerte das Vorspannen der einzelnen Litzen auf die exakt gleiche Spannung; einige Kabel mußten komplett wieder ausgebaut und nochmals gründlich gereinigt werden.

Der Ersteller der Werkstattzeichnungen für die Anhängkonstruktionen hatte die mit der Hubfirma abgestimmten Dimensionen ohne Rücksprache in der Werkstatt ändern lassen, so daß zu unserer völligen Überraschung die Ankerplatten der Kabel nicht mehr paßten und entsprechende Berechnungen und Änderungsarbeiten vor Ort nötig waren. Eine der 180-t-Pressen ging während der Vorspannarbeiten kaputt und mußte ausge-

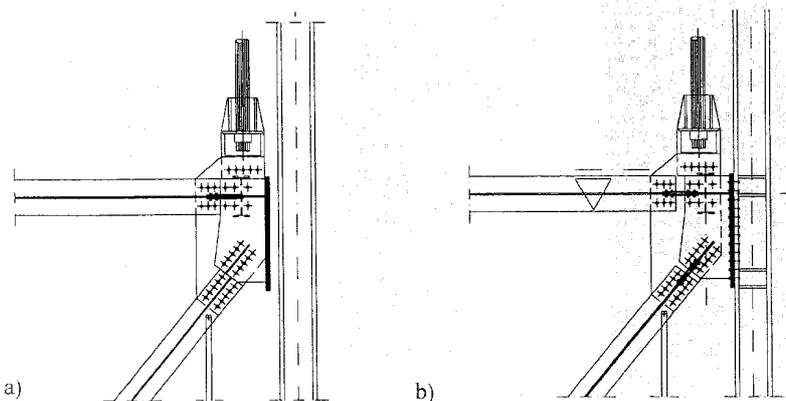
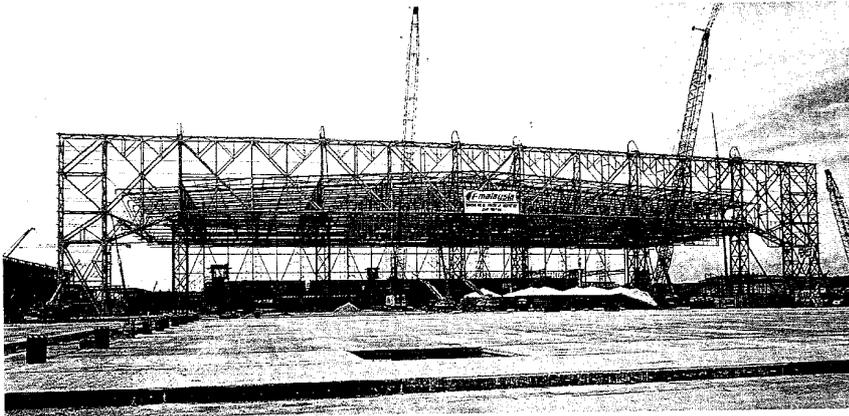


Bild 11. Anschlußpunkt Dach-Torbinder  
a) während der Hubmontage und b) in endgültiger Position

Fig. 11. Connection roof to box girder  
a) during lifting and b) in final position



**Bild 12.** Fertig montiertes Dach  
**Fig. 12.** Roof completely lifted

wechselt werden, wozu nun plötzlich der erforderliche 160-t-Kran nicht zur Verfügung stand, da dieser ebenfalls defekt war und auf ein Ersatzteil aus Singapur wartete.

Nachdem endlich alle Hindernisse überwunden waren und die Pressen stufenweise auf 100 % Last hochgefahren wurden, zeigte sich, daß das tatsächliche Gewicht ca. 250 t über dem vorausgerechneten lag und damit die Reserven aufzehrte. Ursache hierfür waren zum einen heftige Regenfälle, die die Profile gefüllt hatten, zum anderen teilweise beträchtliche Plus-Toleranzen der Profile sowie ein erhebliches Mehrgewicht bei den technischen Installationen.

Auf etwa halber Hubhöhe kam die nächste Überraschung: Bei den Einzelstützen der Rückwand hatte man sich aus Zeitgründen entschlossen, die etwa 17 m langen Profile mittels eines geschraubten Vollstoßes anstelle eines Schweißnaht-Stoßes zu verbinden. Bei der Montage dieser Verbindungen waren an zwei Rückwandstützen unbemerkt zu lange Schrauben verwendet und diese mit der Mutter zur Halleninnenseite gerichtet montiert worden, so daß die Dachträger von den Schrauben blockiert waren. Nachdem dieses Problem mühevoll gelöst war, konnte der Hubvorgang fortgesetzt werden – aber nur, um bis zum nächsten Problem vorzustoßen.

Aus Zeit- und Kostengründen hatte man auf eine Abroll- und Haltekonstruktion an den Pressenköpfen für die frei werdenden Kabel verzichtet und lediglich einige Gerüststangen zur Führung der Überstände der Stränge

aufgebaut. Diese Rohre versagten unter der zunehmenden Last der Kabel, so daß diese an der Oberseite der Hubzylinder abknickten und sich so unglücklich verformten, daß innerhalb der Hubzylinder ein „Kabelsalat“ entstand, der die hydraulische Klemmvorrichtung blockierte. Der Hubvorgang mußte unterbrochen werden, und zwei Pressen waren unter Last zu zerlegen und die Kabel wieder einzufädeln.

Während dieser Unterbrechungen zeigte sich, daß die gewählte Steuerung der Pressen über Druck und Durchflußmenge des Hydrauliköls beim Wiederanfahren sehr un-

genau arbeitete und nur mit großen Anstrengungen innerhalb der vorgegebenen Toleranzen gehalten werden konnte. Es kann allen, die ähnliche Probleme zu lösen haben, nur empfohlen werden, die Steuerung des Hubsystems vorher exakt zu prüfen.

Allen Widrigkeiten zum Trotz konnte das Dach nach zwei Tagen endlich in die endgültige Position gebracht werden – einer Situation, der bis dahin die meisten Sorgen und Überlegungen gegolten hatten: Würden die vorausgesagten Verformungen von Torbinder, Dachträgern, Stützen und der Hilfskonstruktionen wirklich so genau eintreffen, daß die maximal zulässigen Versätze der Bohrungen an den Anschlußpunkten tatsächlich eingehalten werden konnten? Für diesen Fall der Fälle waren für jeden der 20 Anschlußpunkte Alternativen fertig ausgearbeitet worden und lagen griffbereit in der Schublade. Doch diesmal war das Glück (und Können) auf Seiten des Joint Ventures: Sämtliche Anschlüsse paßten perfekt und konnten problemlos ohne Zusatzmaßnahmen befestigt werden (Bild 12).

#### **Autoren dieses Beitrages:**

Dipl.-Ing. Günther Heilmayer, Projektleiter, Hochtief-NL Tief- und Ingenieurbau Bayern, Kainacher Straße 4, 81249 München, Dr.-Ing. Johann Köppl, Beratender Ingenieur für Bauwesen, Prüfenieur für Baustatik, Ingenieurbüro fichter + köppl, Rosenheimer Straße 12, 83059 Kolbenmoor