

Die Ausführung des Stahldaches für das WM-Stadion in Hannover

M. Balzer, R. Strahl, J. Uhlendahl, U. Weyer

Zusammenfassung Es wird über Konzeption und Ausführung der neuen Dachkonstruktion für das Niedersachsenstadion Hannover sowie über den Stand der Arbeiten unter laufendem Bundesliga-Spielbetrieb berichtet. Während das Außendach derzeit komplettiert wird, sind parallel für das Innendach die planerischen Feinabstimmungen abgeschlossen und die Fertigung ist angelaufen.

Realization of the steelwork roof of the World Cup-Stadium at Hannover

Abstract This report deals with concept and realization of the new roof construction of Niedersachsenstadion in Hannover and the state of work during active using for the German Bundesliga competitions. While the outer roof part soon will be completed, the detailed planning of the inner part has just finished and the production begins.

1 Einführung

Das Niedersachsenstadion in Hannover wird derzeit in ein reines Fußballstadion umgebaut. Die neue Anlage bietet 45 000 Sitzplätze, die von einer freitragenden Überdachung mit einer Fläche von ca. 26 000 m² über den Tribünen überspannt werden. Die Spannweiten betragen 256 m über die NS-Achse und 210 m über die OW-Achse. Weite Bereiche sind transparent, so dass sich für den Rasen des Spielfeldes optimale Lichtverhältnisse ergeben. Mit seiner einmaligen Konzeption hat sich das Stadion als Austragungsort für die Fußballweltmeisterschaft 2006 qualifiziert (Bild 1).

Der Neubau des Stadions wird geprägt durch die Nutzung der bestehenden Geländeform. Der aufgeschüttete Ringwall im Bereich der Westtribüne ist bestimmend für die geschwungene Dachform, die sich harmonisch in die umgebende Auenlandschaft am Maschsee einbindet.

2 Konstruktion

Die Dachfläche ist in ein Außendach (16 140 m²) und ein Innendach (9 730 m²) unterteilt. Das Außendach wird als Akustikdach, bestehend aus Trapezblech, Mineralwollauflage

Dipl.-Ing. Rüdiger Strahl, Abteilungsleiter Hochbau

Dipl.-Ing. Marco Balzer, Projektleiter

ThyssenKrupp Technologies

ThyssenKrupp Stahlbau GmbH, Hannover

Hackethalstraße 4, 30179 Hannover

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Weyer

Geschäftsführender Gesellschafter

Dr.-Ing. Jürgen Uhlendahl, Leitender Mitarbeiter

Weyer – Beratende Ingenieure im Bauwesen GmbH

Martin-Schmeißer-Weg 5, 44227 Dortmund



Bild 1. Modellbild Gesamtansicht
Fig. 1. Animated total view

und Folieneindeckung gebildet, während das Innendach mit transparenter, flach gespannter ETFE-Folie (ETFE = Ethen-Tetrafluorethylen) eingedeckt wird. Die Innendachebene wird über die Außendachebene geführt. Die eingestellten Dachneigungen gewährleisten dabei überall die Dachentwässerung zum äußeren Dachrand, wo Regenrinnen und Fallrohre angeordnet sind.

Bauteile

Das vorwiegend aus Rohren gefertigte Dachtragwerk (Bild 2) folgt dem Speichenradprinzip. Außen befinden sich die beiden übereinander liegenden Felgendruckringe A und B (Rohre), innen die beiden Nabenzugringe D und E (Seilpaare). Am Kreuzungspunkt der Speichen ist der Versteifungsring C (Rohr Ø 620 mm) angeordnet. Das System ist dem äußeren Stadionumfang folgend auf 34 Dachstützen gelagert.

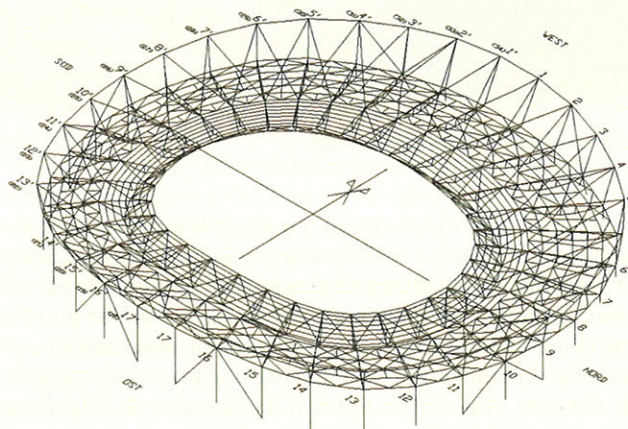


Bild 2. Isometrie des statischen Systems
Fig. 2. Isometric view of static model



Bild 3. Radialträger BC
Fig. 3. Radial truss member BC



Bild 4. Modellbild Innendach (Ansicht)
Fig. 4. Animated total view of the inner roof section

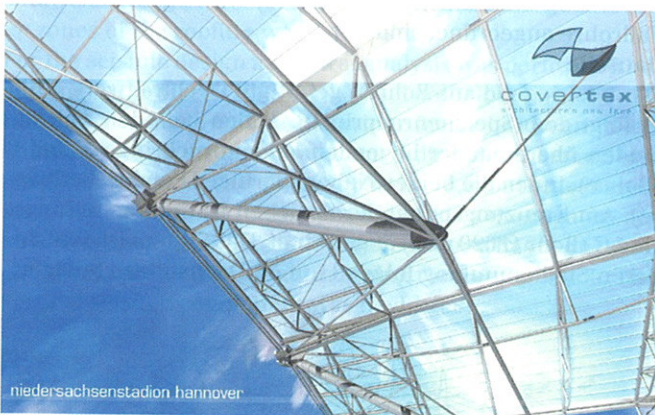


Bild 5. Modellbild Innendach (Untersicht)
Fig. 5. Animated up view of the inner roof section

Im Bereich der Funktionslogen auf der Westtribüne ist das Dach in zwei Achsen mittels Kalottenlagern auf den bestehenden Stahlbetonstützen abgesetzt. Die neuen Stützenrohre der übrigen Achsen haben Durchmesser von 660 und 711 mm. Der Geländeform angepasst ergeben sich Längen zwischen ca. 4 m auf dem Hügel der Westseite und ca. 27 m auf der Ostseite. Auf diesen Stützen ist der untere Felgenring (Stützenring B, Ø 815 mm) aufgelegt. Die Stützen setzen sich oberhalb des Ringes B fort und tragen den oberen Felgenring (Hauptdruckring A, Ø 1 220 mm).



Bild 6. Montagezustand mit Nebenträgern BC
Fig. 6. State of assembling with secondary truss members BC

Die 34 Radialträger des Außendaches (BC) sind in unterspannter Bauart mit einem Obergurtrohr Ø 508 mm und einem Untergurt Ø 218 mm ausgeführt (Bild 5). Die Erfordernis einer druckstifen Unterspannung ergibt sich aus den zu berücksichtigenden Windsogbelastungen. Die Träger haben wegen der asymmetrischen Form des Daches unterschiedliche Längen. Diese betragen im Osten ca. 19 m und im Westen ca. 35 m. Am Übergang zum Innendach wirkt ein Rohr Ø 620 mm als Versteifungsring. Der Ring ist mittels über Kreuz gelegter Hänger als vollverschlossenes Spiralseil (VVS) Ø 85 und Ø 90 mm zum Hauptdruckring A hin aufgehängt. In der Genehmigungsplanung waren im Westbereich 2 weitere Seilgruppen mit je 4 über 3 Felder gespannten „Langseilen“ vorgesehen, die im Zuge einer Optimierung in der Ausführung entfallen sind. Dieses Teilsystem Außendach ist für sich allein tragfähig. Der Versteifungsring C wird hierzu mit ca. 4500 kN vorgespannt. Mit 34 Seilen Ø 50 mm ist das am Dachtiefpunkt angeordnete Tragseil 2 x VVS Ø 102 mm (Ring D) zum Ring C gespannt. In Verlängerung der Radialträger BC schließen sich nach innen die in der Ausführung gleichartigen Radialträger CE mit einer Länge von ca. 21 m an (Bild 4). Die Radialträger des Innendaches werden innen durch Luftstützen aus Rohr Ø 457 mm getragen, die vom inneren Dachrand zurück auf dem Tragring D abgesetzt sind (Bild 5). Am Innendachrand verläuft das Spannseil 2 x VVS Ø 92 mm (Ring E). Seine Vorspannung beträgt max. ca. 7500 kN.

Die Nebenträger des Außen- und Innendaches sind als Fachwerkträger ausgeführt, bei denen die Untergurte in Angleichung an die Gestaltung der Radialträger als Unterspannung geführt sind (Bild 6). Das Verhältnis Bauhöhe/Stützweite beträgt einheitlich 1/10. Wegen der Auflage der Trapezbleche kommen für die Obergurte der Nebenträger im Außendach Rechteck- bzw. Quadratrohre mit max. 300 mm Kantenlänge zum Einsatz. Die Obergurte der Nebenträger im Innendach sind Rohre Ø 194 mm, über die radial laufende Seilharfen verlaufen. In Abhängigkeit von der variierenden Feldweite sind hier 9, 11 oder 13 Spiralseile 12 mm mittels als Aufständigung ausgeführter Seilklemmen angeordnet. Die ETFE-

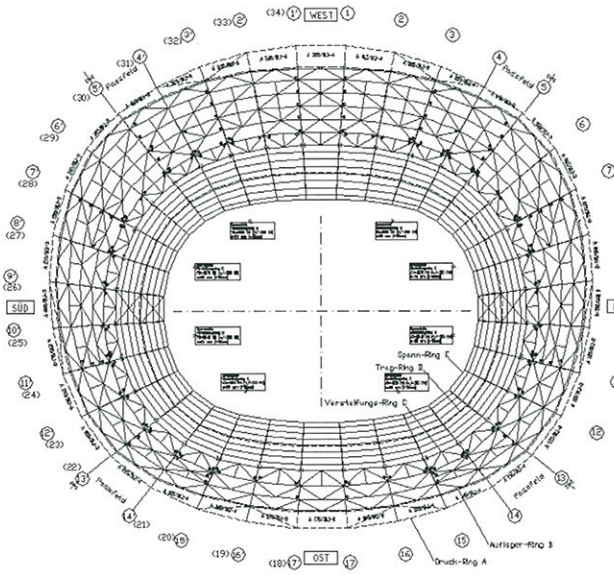


Bild 7. Aussteifungs- und Spannprinzip
Fig. 7. Conception of stiffening and prestress



Bild 9. Knoten B
Fig. 9. Node B



Bild 8. Fußpunkt
Fig. 8. Boundary element



Bild 10. Knoten A
Fig. 10. Node A

Folie wird dadurch linear in Abständen von 1,09 bis 1,45 m unterstützt. Die zwei jeweils außenliegenden Nebenträger an C und E bilden mit radial geführten Schwertern und Verstreben umlaufende Horizontalverbände, gegen die die Seilharfen mit ca. 50 kN/Seil vorgespannt werden. Die räumlichen Aussteifungselemente im Außendach der Dachkonstruktion (**Bild 7**) sind der kräftig ausgeführte zugdrucksteife Horizontalverband aus Quadratrohren mit max. 300 mm Kantenlänge im Außendach sowie die Vertikalverbände im Bereich der Felgen. Die beiden Auskreuzungen im Osten und je einmal in Nord und Süd sind Seile VVS Ø 110 mm, die mit ca. 1500 kN vorzuspannen sind. Im Zuge der Ausführung sind die beiden Seilauskreuzungen in West im unteren Bereich wegen der dort sehr kurzen Dehnlängen durch als A-Bock ausgeführte Stützen ersetzt worden. Der Horizontalverband ist zudem ein integraler Bestandteil der Speichenradtragwirkung. Mit der starken Ovalisierung gegenüber der idealen Kreisgeometrie sind große Kraftumlagerungen von den im Grundriss schwach gekrümmten Ost- und Westbereichen in die stärker gekrümmten Nord-

und Südbereiche über Dachschub umzulagern. Dabei entstehen für den Kraftfluss im Dach Vorzugsrichtungen, die in der Ausführung dazu genutzt werden, den ursprünglich vorwiegend mit den Drucktrajektorien geführten Verband in eine zugorientierte Konzeption umzuplanen. Im Innendachbereich werden in der CD-Ebene je zwei Felder in Nord und Süd mittels Seilen VVS Ø 50 mm ausgekreuzt. In der DE-Ebene ist die Verbandsführung umlaufend. Zusätzlich ist je ein Feld in Nord und Süd in der CE-Ebene verstrebt. Diese Verstreben dienen jedoch in erster Linie der Druckaussteifung der Radialträger CE.

Knotenpunkte

Die Knotenpunkte sind durchgängig Bestandteil der architektonischen Gestaltung. Im Grundprinzip werden in den Hauptknoten die anzuschließenden Rohre auf Blechkreuze aufgeschoben und mittels Kehlnähten verschweißt (**Bilder 8 bis 11**). In der Komplexität der Anschlussituationen wird dieses Prinzip durch geschweißte Kopfplattenlösungen durchbrochen – mit den entsprechenden Anforderungen an die Werkstoff- und Schweißnahtgüte. Während diese Knoten



Bild 11. Knoten C
Fig. 11. Node C



Bild 12. Montagezustand mit Ring A, B und C
Fig. 12. State of assembling with ring A, B and C

in der Werkstatt beeindruckende Ausmaße erreichen, nehmen sie sich in der montierten Konstruktion deutlich zurück (Bild 12). Die Bleche der Knoten nehmen Bolzengelenke auf, mit denen die durch das statische Konzept geforderten Gelenke realisiert werden. Eine besondere Herausforderung stellt der Anschluss des Horizontalverbandes an den Ring B dar. Hier befindet sich einerseits eine Gelenklinie durch die hier mittels Bolzen eingehängten Radialträger. Andererseits sind große Schubkräfte anzuschließen (max. ca. 1000 kN/Punkt). Mit der Optimierung des Verbandes haben wir uns für eine Entflechtung der Anschlüsse entschieden und die Verbandstäbe in die Feldbereiche der Felge B geführt (Bild 13). Für die Nebenträger und Verbandstäbe sind Gabelanschlüsse mit stehenden Bolzen entwickelt (Bilder 14 und 15), mit denen die räumlichen Verwindungen der Dachgeometrie wie auch Fertigungs- und Montageteranzen ausgeglichen werden können. Die Querkraftübertragung senkrecht zur Gabelebene erfolgt über die bis über die Bolzenachse geführte auslaufend gestaltete Rohrprofilkontur.



Bild 13. Anschluss des Verbandes BC an den Ring B
Fig. 13. Connection of framework BC to ring B

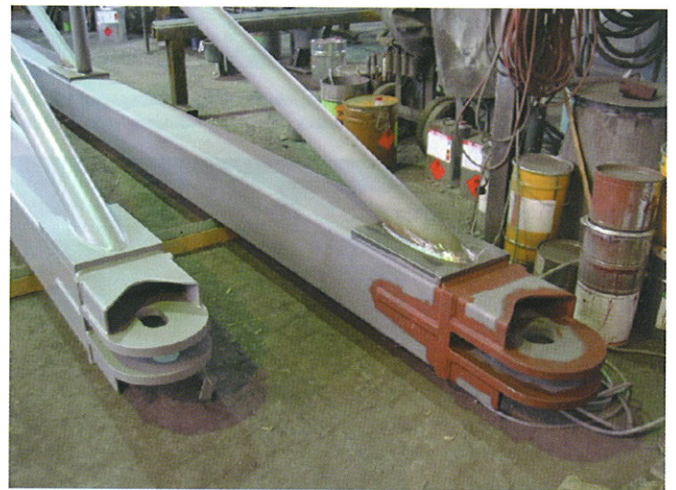


Bild 14. Gabelköpfe der Nebenträger und Verbände BC
Fig. 14. Crown connectors of the secondary and framework elements BC

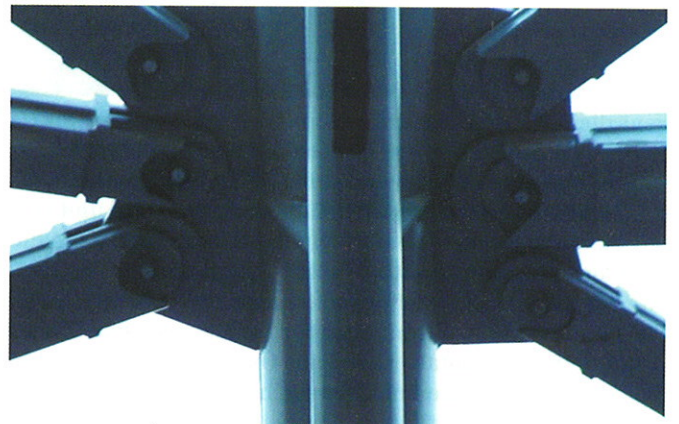


Bild 15. Kreuzknoten der Nebenträger und Verbände BC mit dem Radialträger
Fig. 15. Node at radial truss member with multi crossing secondary and framework element in section BC

3 Statisches Modell

Für die Untersuchungen des Dachtragverhaltens werden wirklichkeitsnahe räumliche Modelle verwendet, die das geometrisch nicht-lineare Tragverhalten der Seilkonstruktio-

on beschreiben können. Gleichzeitig ist die Baugeschichte des Systems zu erfassen, da das Tragwerk vom Montageablauf her nicht als Eingussystem betrachtet werden kann. So wird der Ring C gespannt, bevor das Innendach montiert wird. Das Spannseil E erhält seine Vorspannung vor Einhängen der Nebenträger und Eindecken des Innendaches. Die Spannstellen des Ringes C sind im Zuge der Ausführung aus Gründen der Realisierbarkeit von 34 auf 8 Spannstellen reduziert worden. Dies führt zu Spannweiten von ca. 70 bis 90 mm, um die der Ring C in den betroffenen Feldern zu verkürzen ist. Dehnungsfugen in den „Sekundärbauteilen“ Nebenträger und Verbände des Außendaches verbieten sich im Hinblick auf die Gewährleistung der Dachdichtigkeit und der oben beschriebenen Kraftumschichtung. Der durchgängig kraftschlüssige Anschluss dieser Bauteile führt andererseits unweigerlich zu erheblichen Zwangsbeanspruchungen. Im Rahmen einer aufwändigen Parameterstudie wurden Bereiche und Schnitte definiert, an denen die Gabelköpfe der Nebenträger und Verbände im Außendach definierte Langlöcher erhalten, die erst nach der Spannmaßnahme mittels sichelförmiger Blecheinlagen („Halbmonde“) festgesetzt werden. Die Problematik betrifft auch den Spannvorgang für das Seil E. Damit ergibt sich für das Außendach eine festgelegte Abfolge für das schrittweise Festsetzen der Langlöcher (**Bild 7**). Die geometrische Nicht-Linearität erweitert sich damit zu einer allgemeinen strukturellen Nicht-Linearität. Zur Lösung der Aufgabe wird ausgenutzt, dass das System über die Vorspannungen im „Arbeitsbereich“ mit nur schwach nicht-linearer Charakteristik eingestellt ist. Alle relevanten Vorspannsituationen werden separiert und am vollständigen System berechnet. Soweit Bauteile noch nicht vorhanden oder deaktiviert sind, wird zur Annäherung an den realen Montagezustand ein korrespondierender Eigenspannungszustand iterativ generiert, der den gewünschten Schnittkraftverlauf ergibt. Hierdurch sind die Systemwechsel ausgeglichen und die vielfältigen Lastkombinationen können am so korrigierten Eingussystem geometrisch nicht-linear durchgeführt werden.

4 Sicherheitskonzept / Lastannahmen

Bemessungsgrundlage ist das Teilsicherheitskonzept der DIN 18800 (11.90). Sicherheitskonzept und insbesondere die klimatischen Lastansätze basieren auf intensiver gutachterlicher Zuarbeit und Abstimmungen mit dem Prüfenieur und der Genehmigungsbehörde. Die lastseitigen Teilsicherheitsbeiwerte für die Vorspannmaßnahmen haben eine Variationsbreite von 0,9 bis 1,1. Gleichzeitig ist bei den Seilen auf der Widerstandsseite der Sicherheitsbeiwert um den Faktor 1,1 erhöht.

Als ständige Einwirkungen sind neben dem Eigengewicht und der Vorspannung der Dachkonstruktion quasiständige Lasten durch die funktionale Einrichtung (Flutlicht, Beschallung, Video) und der zugehörigen Infrastruktur (Zuwege, Kabel, Schalt- und Verteilerelemente) zu berücksichti-

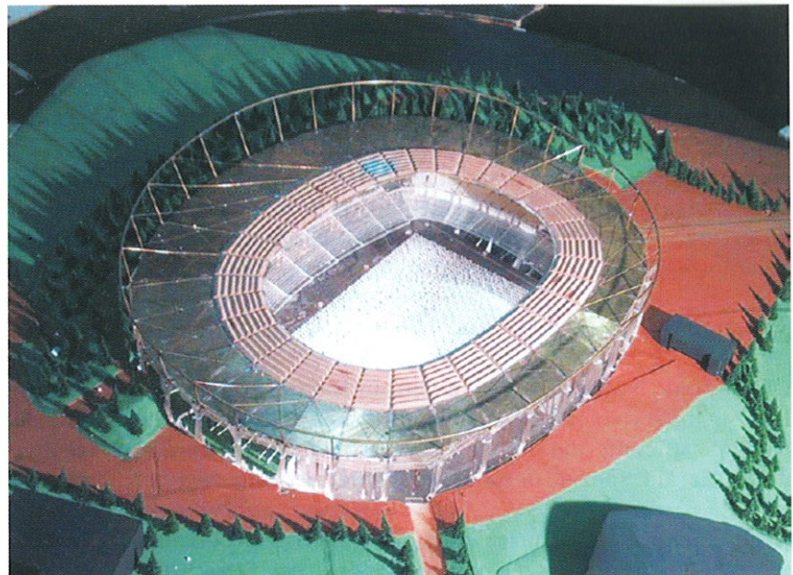


Bild 16. Windkanalmodell
Fig. 16. Wind tunnel model

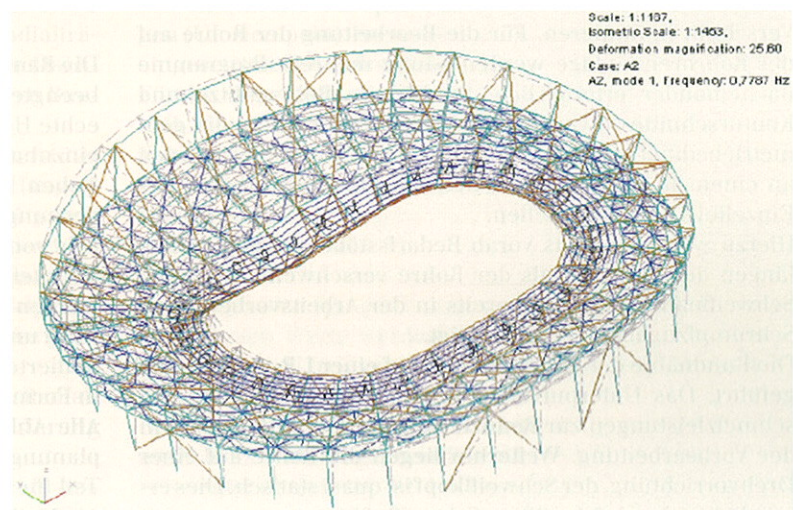


Bild 17. Erste Schwingungsform der Dachkonstruktion (0,8 Hz)
Fig. 17. Modal shape due to first natural frequency (0,8 Hz)

gen, die sich im Zuge der Ausführung stetig weiter entwickeln.

Für die Wind- und Schneelastansätze wurden im Windkanal der TU Aachen Versuche an einem originalgetreuen Modell (**Bild 16**) gefahren. Die Versuche wurden durch Berechnungen ergänzt, die das dynamische Verhalten der Dachkonstruktion berücksichtigen. Die berechneten Eigenfrequenzen liegen zwischen 0,8 und 1,0 Hz (**Bild 17**). Es werden quasistatische windrichtungsabhängige Windersatzlasten als Druck- und Sogverteilungen mit den entsprechenden Resonanzanteilen mitgeteilt. Horizontalkräfte auf das Dach ergeben sich einerseits durch die bereichsweise normal zur Dachfläche anzusetzenden Druck- und Soglasten und andererseits aus ebenfalls definierten Windreibungskräften auf die Dachflächen.

Es werden weiterhin charakteristische Schneelasten unter Berücksichtigung von simulierten Schneeverwehungen als auch Kombinationsbeiwerte zwischen Wind und Schnee (letztlich 0,5) mitgeteilt. Neben der Regelschneelast von $s_k = 0,61 \text{ kN/m}^2$ wird das in Hannover im Februar 1979 gemessene-

ne Ausnahmeereignis mit $s_{\text{extrem}} = 1,25 \text{ kN/m}^2$ als außergewöhnlicher Lastfall eingeführt.

Die Imperfektionsansätze folgen den Regeln der DIN 18800. Wesentlich sind hier die globalen Stützenschiefstellungen sowie die räumlichen Vorkrümmungen des Hauptdruckringes A. Im Zuge von Sensibilitätsuntersuchungen wurden in der Genehmigungsphase verschiedene Vorkrümmungen untersucht, die auch mögliche globale antimetrische Knick-eigenformen des Ringes erfassen.

460

5 Fertigung

Die gesamte Stahlkonstruktion wird in Hannover gefertigt. Lediglich die vollverschlossenen Spiralseile (VVS) sowie die Umlenksättel für die Nabenzugringe (Seilpaare) werden durch darauf spezialisierte Partnerunternehmen zugeliefert.

Nach Eingang der fast durchgängig im 3D-Ursprung erzeugten Stahlbaufertigungszeichnungen sowie der Stücklisten erfolgt die Erstellung der Brennprogramme für die Einzelteilfertigung. Zur Optimierung der Blechzuschnitte auf der Portalbrennanlage werden Schachtelpläne erstellt, die den Verschnitt minimieren. Für die Bearbeitung der Rohre auf der Rohrbrennanlage werden häufig mehrere Programme nacheinander erforderlich. So können Rohrschlitze und Konturschnitte sowie Fasen angearbeitet werden, die geometriebedingt häufig vorkommen. Beide Rohrenden werden an einem Rohrstück bearbeitet, um die Maßhaltigkeit des Einzelteils sicher zu stellen.

Hierzu werden bereits vorab Bedarfsstöße aus den Lieferlängen des Vormaterials der Rohre verschweißt. Bei allen Schweißnähten werden bereits in der Arbeitsvorbereitung Schrumpfungszugaben berücksichtigt.

Die Rundnähte der Rohre werden auf einer UP-Anlage ausgeführt. Das Unterpulverschweißen ermöglicht hohe Abschmelzleistungen zur Reduzierung der Durchlaufzeiten in der Vorbearbeitung. Weiterhin liegen die Rohre auf einer Drehvorrichtung, der Schweißkopf ist quasi statisch. Dies ermöglicht sehr gleichmäßige Schweißnähte.

Im Zusammenbau werden zunächst die geometriebestimmenden Blechknoten hergestellt. Hieran schließt die mechanische Bearbeitung vor dem Bohrwerk an, bei der die Bohrungen für die Bolzenanschlüsse gespindelt werden.

Diese Reihenfolge ermöglicht das Handling noch beherrschbarer Gewichte und Abmessungen. Parallel hierzu werden die Bogenstiche für die Überhöhungsform der Radialträger-Obergurtrohre mittels Wärmekeilen eingebracht. Diese Arbeiten erfordern trotz aller möglicher Unterstützung von 3D-Programmen immer noch große Sorgfalt und handwerkliches Geschick.

Im weiteren Zusammenbau werden die Blechknoten und die Einzelteile der Rohre sowie weitere Anbauteile zusammengesetzt und mit Schweißnähten geheftet. Nach der anschließenden Geometriekontrolle auf bauteilindividuellen Zulagen erfolgt das Verschweißen durch zugelassene Schweißer.

Als Schweißverfahren wird überwiegend das Schutzgas-Verfahren angewendet. Nach dem Verschweißen erfolgt nochmals eine Geometriekontrolle der Bauteile.

Für die werksinternen Quertransporte der schweren und sperrigen Bauteile wird ein fernsteuerbares Spezialfahrzeug verwendet. Die Achsen sind um 360° gleichgerichtet lenkbar, die Ladefläche kann zur Bauteilaufnahme mittels Hy-

draulik-Steuerung in der Höhe verstellt werden. So sind neben den vorhandenen Brückenkränen im Hallen- und Versandbereich keine LKW oder zusätzliche Mobilkrane erforderlich.

Der Korrosionsschutz erfolgt ebenfalls auf dem eigenen Werksgelände. Eigens für diesen anspruchsvollen Auftrag wurde ein doppelwandiges, beheizbares Korrosionsschutzzelt ausgegliedert. Die Zerteilung in eine Strahlkabine und eine Spritzkabine tragen ebenso zur Erhöhung der Durchlaufzeiten bei wie die Verwendung eines schnelltrocknenden Wintersystems als Anstrichsystem selbst.

Nach erfolgtem Korrosionsschutz werden die fertigen Bauteile im Versandbereich bereitgelegt. Dort kann die Aushärtung der Beschichtungsstoffe weiter erfolgen bis die Auslieferung nach Abrufplänen der Montageplanung und den Bedürfnissen der Baustelle "just in time" erfolgt.

Alle Transporte werden von regional ansässigen Fremdfirmen durchgeführt. Für die Radialträger werden infolge der Abmessungen von ca. 35 m Länge und ca. 5 m Breite vielfach Sondertransporte erforderlich.

6 Montage

Die Randbedingungen mit laufendem Spielbetrieb sowie die beengten Platzverhältnisse bedeuten für die Baustelle eine echte Herausforderung. Die Fertigstellung zur WM 2006 ist einzuhalten!

Neben den stahlbaueigenen Gewerken - wie Dacheindeckung, Stahlseilen und Stahlgussteilen - müssen eine Vielzahl von Fremdgewerken wie Gründung, Massivbau, Betonfertigteile, technische Gebäudeausrüstung etc. koordiniert werden.

Es ist unerlässlich, eine allgemeine und für Teilvorgänge detaillierte Montagebeschreibung bis hin zu Einzelaktivitäten in Form von Arbeitsanweisungen zu erstellen.

Alle Abhängigkeiten wurden daher in einer Detailterminplanung dargestellt; die Abrufplanung der Bauteile musste Teil für Teil geplant werden.

Als Meilensteine in der Montagefolge des Stahlbaus werden die Abläufe kurz skizziert:

- Die Außendachbereiche der Nord-, Süd-, Ost- und Westseite werden abschnittsweise, aber zeitlich überlappend, erstellt und mittels Passfelder zum Ring geschlossen, um Bautoleranzen aus dem Massivbau und dem Stahlbau aufzufangen.
- Danach werden die Trapezbleche der Dacheindeckung in Paketen aufgelegt, und die Hängerseile (VVS) zum Ring A werden eingebaut.
- Schrittweise werden parallel der Versteifungsring C vorgespannt und die Stahlkonstruktion über die Hilfsstützen in das Eigengewicht abgesenkt. Nachfolgend wird eine Geometriekontrolle durchgeführt.
- Nach ggf. erforderlicher Geometriekorrektur wird der Versteifungsring C verschweißt. Damit ist die Stahlkonstruktion des Außendaches errichtet. Dies bildet die Voraussetzung für die Montage des Innendaches. Jetzt kann das Auslegen der Trapezbleche mit kompletter Dacheindeckung beginnen.
- Der Tragring D (VVS-Doppelseil) des Innendaches wird auf den Tribünen ausgelegt, mit den Umlenksätteln und den Radialseilen komplettiert, per Litzenhub gehoben und am Versteifungsring C angeschlossen. Die Auskreuzungen werden komplettiert.

- Parallel werden die Radialträger CE des Innendaches mit den Luftstützen DE am Boden vormontiert, nach dem Hub am Ring C eingebolt und auf dem Tragring D abgesetzt sowie die Seilkreuze zwischen dem inneren Dachrand E und dem Tragring D zur Stabilisierung eingebaut. Die Umlenksättel für den Spannring E sind bereits am Radialträger vormontiert.
- Anschließend wird der Spannring E mit einem Raupenkran am inneren Dachrand E in der Luft eingebaut. Die Vorspannung erfolgt, indem die Umlenksättel des Spannringes E radial nach außen verschoben werden.
- Zur Komplettierung des Innendaches werden schließlich die Nebenträger, Randträger und Auskreuzungen in der Dachebene CE montiert. Damit ist die Stahlkonstruktion des Innendaches errichtet. Jetzt kann abschließend die Eindeckung des Innendaches mit der ETFE-Folie beginnen.

Das Montageprinzip sieht Kranstellungen für das Außendach auf der Innen- und Außenseite sowie für das Innendach im Wesentlichen von der Stadioninnenseite vor. Maßgebend sind die 34 Hilfsunterstützungen unter dem Versteifungsring C, die vorab montiert werden.

Zusammen mit den Dachstützen, dem Ring B, den Radialträgern und dem Ring C sowie dem Windverband in der Dachfläche werden die Hilfskonstruktion und die definitiven Bauteile gemeinsam zur Stabilisierung herangezogen.

Schritt für Schritt wird das Außendach so allseitig unterstützt aufgebaut, bis das Außendach nach dem Einbau der Hängerseile und nach dem Spannen des Versteifungsringes C sowie nach dem Absenken der Hilfsstützen allein trägt. Diese Arbeiten werden derzeit ausgeführt und vervollständigt.

Erst wenn das Außendach soweit errichtet ist, erfolgt die Montage des Innendaches, deren Basis das Außendach als tragfähige Montageplattform dient.

Auch hierbei werden die definitiven Bauteile wie Radialträger, Luftstützen, Seilkreuze etc. bereits zur Stabilisierung für die Montagezustände genutzt.

Als Montagehilfsmittel müssen daher neben der üblichen Baustelleneinrichtung umfangreiche Maßnahmen getroffen werden. So sind zur Abnahme der Vertikallasten als Baubehelfe 34 Gittermast-Hilfsstützen mit zugverankerten Fußträgern und Schwellenstapeln einzubauen. Diese sind am Kopf mit Montageplattformen, Abhebesicherungen für die Konstruktion, hydraulischen Pressen und Stapelträgern zum Absenken aus dem Eigengewicht ausgerüstet.

Zwischen ausgewählten Hilfsstützen sind an vier Stellen im Bauwerk temporäre Montageverbände eingeführt, die an gleicher Stelle auch zwischen den definitiven Dachstützen angeordnet werden und die tangentialen Horizontallasten in den Bauzuständen abnehmen.

Temporäre Abspannungen zum Kopf der Hilfsstützen und zum Druckring A werden in Form von Seilen, Greif- und Kettenzügen eingebaut. Die Lasteinleitung in die Rohre der Dachkonstruktion erfolgt mit Rohrschellen.

Weiterhin sind temporäre (druck-zug-steife) Abstreibungen erforderlich, die radiale Horizontallasten in die Tribünen-träger bzw. in Hilfsfundamente einleiten. Hilfsfundamente und Durchsteifungen von den Betonfertigteilen in darunter liegende Geschosse mit Einbauteilen schließen darunter an. Zum Einbau der Seile sind z. T. spezielle Traversen und Hohlkolbenpressen zum Spannen geplant. Für den Einbau des Seil-Tragringes D sind Litzenheber und Seilklemmen vorgesehen.

Der individuell geplante Einsatz von Hebezeugen wie Raupenkrane, Mobilkrane, Hubsteiger, Gerüste und temporären Arbeitsbühnen (Schweißnester) komplettiert das erforderliche Equipment der Montage.

7 Qualitätsmanagement

Die mit der Herstellung des Tragwerks beauftragten Unternehmen sind gemäß DIN EN ISO 9001 für ihre eingeführten Qualitätsmanagement-Systeme zertifiziert. Diese erstrecken sich konstruktions-, fertigungs- und montagebegleitend über alle Bereiche. Beginnend bei der Prüfung und Verfolgung der Fertigungszeichnungen erfolgt die Materialbestellung auftragskonform mindestens mit einem Materialzeugnis 3.1.B nach EN 10204.

Bei Eintreffen der Vormaterialien wird stets eine Wareneingangsprüfung vorgenommen sowie die Einhaltung der Werte für die geforderten Materialeigenschaften und die übereinstimmende Kennzeichnung zwischen Materialzeugnis und Vormaterial überprüft.

In der Einzelteilerfertigung werden dann die Schmelzen- und Probenummern des Vormaterials auf die Einzelteile übertragen (Umstempeln). So werden die Eigenschaften des jeweils eingesetzten Teiles festgehalten.

Für die Sicherstellung der Maßhaltigkeit der Bauteile innerhalb der festgelegten Toleranzen nach den einschlägigen Vorschriften wurde ein Messprogramm für die Werkstatt und auch für die Montage erstellt. In der Werkstatt erfolgt die Vermessung überwiegend durch das eigene Personal nach konventionellen Methoden, während für die Montage ein externes Vermessungsbüro mit der Geometriekontrolle durch optische Spiegel-Vermessung beauftragt wurde. Alle gemessenen Werte werden mit den Sollwerten verglichen, ggf. korrigiert, neu vermessen und anschließend protokolliert.

Beim Verschweißen der Bauteile, sowohl in der Werkstatt als auch in der Montage, werden ausschließlich zugelassene Schweißer eingesetzt, die die Eignung für das Schweißen an Rohrkonstruktionen nachweisen können.

Für besondere Einsatzbereiche werden ggf. Verfahrensprüfungen abgelegt. Für die Ausführung der Schweißnähte wurde eigens eine Schweißanweisung erstellt.

Die Schweißnahtformen wurden in Abstimmung mit den Schweißfachingenieuren bereits im technischen Büro optimiert, für die prüfpflichtigen Nähte **Schweißbadsicherungen** eingeplant. Der Umfang der prüfpflichtigen Schweißnähte ist in einem Schweißprüfplan definiert.

Über den zu 100 % prüfpflichtigen Umfang der Schweißnähte hinaus wurde weiterhin die 10 %ige Prüfung der Schweißnähte festgelegt, um den Qualitätsstandard in der Fertigung sicherzustellen.

Als Verfahren für die zerstörungsfreien Schweißnahtprüfungen werden das UT-Verfahren (Ultraschall-Prüfung) sowie das MT-Verfahren (Magnetpulverprüfung für Oberflächenrisse) verwendet. Der Korrosionsschutz ist bauteilbezogen in einem Korrosionsschutzplan festgelegt.

Beginnend beim Erscheinungsbild nach dem Sandstrahlen nach Normenreinheitsgrad SA 2,5 werden die aufgetragten Schichtdicken der einzelnen Anstriche sowie die letztlich erreichte Gesamtschichtdicke gemessen und protokolliert. Zudem werden bei ausgewählten Bauteilen Kontrollflächen angelegt, bei denen die Arbeitsbedingungen aus Luft- und

Bauteiltemperatur, Luftfeuchtigkeit etc. protokolliert werden.

Alle Bauteile werden erst dann ausgeliefert, wenn nach Einhaltung der o.g. Kriterien durch das Qualitätswesen Freigabebescheinigungen ausgestellt wurden.

Nach erfolgter Montage werden zudem Fachbauleiterbescheinigungen ausgestellt, sobald Teilbereiche sach- und fachgerecht errichtet wurden. Alle diese Dokumente fließen letztlich in die Enddokumentation ein.

8 Ausblick / Schluss

Derzeit werden die letzten Außendachbereiche abschnittsweise erstellt und mittels Passfeldern zum Ring geschlossen. Die Vorbereitungen zum Spannen des Versteifungsringes laufen parallel. Nach dem Spannen und der anschließenden Geometrie-Kontrolle wird das Außendach komplett und eigenständig tragfähig errichtet sein.

Die Feinplanung für das Innendach ist abgeschlossen, so dass über die weiteren Einzelheiten hinsichtlich angelaufener Fertigung, weitergehender Montage und des speziellen Qualitätsmanagements zu einem späteren Zeitpunkt berichtet werden kann.

Interessant ist hierbei insbesondere, dass erstmals eine Fläche von ca. 10.000 m² mit einer Eindeckung aus ETFE-Folie realisiert und ein anspruchsvolles Seiltragwerk montiert wird. Neben den o.a. bewährten Methoden zur Qualitätssicherung werden daher zusätzlich als interne Gutachter /

Sachverständige mit der Betreuung der ETFE-Folie die Universität Duisburg-Essen sowie für die Stahlussteile das Institut für Gießereitechnik beauftragt.

An der Dachkonstruktion Beteiligte:

| | |
|---------------------|--|
| Bauherr/Betreiber | Niedersachsenstadion, Projekt- und Betreibergesellschaft mbH, Hannover |
| Architekt | Schulitz + Partner, Braunschweig |
| Dachtragwerk | ThyssenKrupp Stahlbau GmbH, Hannover |
| Seiltechnik | Pfeifer Seil- und Hebeteknik GmbH, 87700 Memmingen |
| Membranbau | covertex GmbH, Obing |
| Genehmigungsplanung | RFR, Stuttgart |
| Ausführungsplanung | Prof. Dr. U. Weyer Beratende Ingenieure im Bauwesen GmbH, Dortmund |
| Prüfingenieur | Prof. Peil + Partner, Braunschweig |
| Gutachter | |
| Brandschutz | HHP Beratende Ingenieure GmbH, Braunschweig |
| Windgutachten | Prof. Sedlacek & Partner, Aachen und Ingenieurgesellschaft Niemann + Partner, Bochum |
| Bodengutachten | Eilers + Vogel Beratende Ingenieure für Bauwesen GmbH, Hannover |

Impressum

Bauingenieur

ISSN 0005-6650
79. Jahrgang 2004

Sprecher der Herausgeber

Professor Dr.-Ing. K. Zilch
Lehrstuhl für Massivbau, TU München
80290 München
Tel. 0 89/2 89-2 30 38
Fax 0 89/2 89-2 30 46
E-Mail: bauingenieur@massivbau.bauwesen.tu-muenchen.de

Herausgeber

Professor Dr.-Ing. G. Girmscheid
Institut für Bauplanung und Baubetrieb
ETH Hönggerberg
CH-8093 Zürich
Tel. 0041/ 1 6333787
Fax 0041/ 1 6331088
E-Mail: girmscheid@ibb.baug.ethz.ch

Professor Dr.-Ing. R. Katzenbach
Institut für Geotechnik, TU Darmstadt
Petersenstr. 13, 64287 Darmstadt
Tel. 0 61 51/16 21 49
Fax 0 61 51/16 66 83
E-Mail: sekretariat@geotechnik.tu-darmstadt.de

Professor Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. B. Maidl
Lehrstuhl für Bauverfahrenstechnik
Tunnelbau und Baubetrieb, Ruhr-Universität Bochum
Universitätsstr. 150, 44801 Bochum
Tel. 02 34/32 26094
Fax 02 34/32 14310
E-Mail: Bernhard.Maidl@ruhr-uni-bochum.de

Professor Dr.-Ing. habil. H. Pasternak
Lehrstuhl für Stahl- und Holzbau, BTU Cottbus
Postfach 10 13 44, 03013 Cottbus
Tel. 03 55/69 21 07
Fax 03 55/69 21 44
E-Mail: Hartmut.Pasternak@tu-cottbus.de

Professor Dr.-Ing. P. Wriggers
Institut für Baumechanik und Numerische Mechanik,
Universität Hannover
Appelstr. 9A, 30167 Hannover
Tel. 05 11/7 62-32 20

Professor Dr.-Ing. K. Zilch

Lehrstuhl für Massivbau, TU München
80290 München
Tel. 0 89/2 89-2 30 38
Fax 0 89/2 89-2 30 46
E-Mail: bauingenieur@massivbau.bauwesen.tu-muenchen.de

Alle Hauptaufsätze sind durch die Herausgeber begutachtet und rezensiert.

Korrespondierende Herausgeber

Professor Dr.-Ing. Dr. h. c. J.-D. Wörner
Technische Universität Darmstadt

Professor Dr. techn. Dr.-Ing. e. h. M. Wicke
Universität Innsbruck

Professor Dr.-Ir. J. C. Walraven
Delft University of Technology

Dr.-Ing. D. Bühler
Deutsches Museum München

verantwortlich für

Hauptaufsätze:
Professor Dr.-Ing. K. Zilch

für „Produkte & Märkte“:
Dr. Thomas Burska-Erlor
Springer-VDI-Verlag GmbH & Co. KG
Heinrichstr. 24, 40239 Düsseldorf
Tel. 02 11/61 03-402
Fax 02 11/61 03-148
E-Mail: burska@technikwissen.de
Redaktionsassistentin
Sabine Veidl
Tel. 02 11/61 03-484
Fax 02 11/61 03-148
E-Mail: veidl@technikwissen.de
Redaktioneller Beirat:
Dipl.-Ing. Reinhold Jesorsky, Geschäftsführer
VDI-Gesellschaft Bautechnik (VDI-Bau)

Der Bauingenieur ist
offizielle Organzeitschrift der
VDI-Gesellschaft Bautechnik.

Hinweise für Autoren und Veröffentlichungsgrundlagen finden Sie im Internet unter www.bauingenieur.de (Auswahl: Hinweise für Autoren).

Verlag
Springer-VDI-Verlag GmbH & Co. KG
Heinrichstr. 24, 40239 Düsseldorf
Postfach 10 10 22, 40001 Düsseldorf
Dresdner Bank AG, Düsseldorf, BLZ 300 800 00,
Kontonummer: 02 121 724 00
SWIFT/BIC-Code: DRES DE FF 300,
IBAN: DE69 3008 0000 0212 1724 00

Geschäftsführung
Christian W. Scheyko

Leiter Redaktionen
Dr. Thomas Burska-Erlor

Layout
Alexander Reiß

Satz
Baumann & Mäurer, 40239 Düsseldorf

Druck
KLIEMO printing, Hütte 53, 4700 Eupen, Belgien

Copyright
Die Zeitschrift und alle in ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt.

Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen. Für unverlangt eingesandte Manuskripte kann keine Gewähr übernommen werden.

Vertrieb und Leserservice
Tel. 02 11/61 03-140
Fax 02 11/61 03-414
E-Mail: vertrieb@technikwissen.de

Vertriebsleitung
Christian W. Scheyko

Bezugspreis

12 Ausgaben (davon 7/8 als Doppelheft)
Jahresabonnement: € 314,-
VDI-Mitglieder: € 282,60
VDI-Bau-Mitglieder: € 157,-
Studenten: € 79,- (gegen Studienbescheinigung)
Preise inkl. MwSt. zuzügl. Versandkosten (Inland: € 13,-, Ausland: € 32,-, Luftpost auf Anfrage)
Einzelheft: € 33,50 inkl. MwSt. zzgl. Versandkosten
Der Bezugszeitraum beträgt mindestens ein Jahr. Das Abonnement verlängert sich um ein weiteres Jahr, wenn es nicht 6 Wochen vor Ablauf des berechneten Bezugszeitraumes schriftlich gekündigt wird.



Anzeigen

Anzeigenleitung:
Christian W. Scheyko
Tel.: (0211) 6103-222
Fax: (0211) 6103-113
E-Mail: scheyko@technikwissen.de

Stellvertr. Anzeigenleitung:
Katja Müllers
Tel.: (0211) 6103-369
Fax: (0211) 6103-300
E-Mail: muellers@technikwissen.de

Es gilt der Anzeigentarif Nr. 38 vom 1. Januar 2004.

Auslandsvertretungen

Österreich
Publimedia GmbH
Springergasse 3, A-1020 Wien
Permedia GmbH
Leharstr. 18, A-4020 Linz
Tel. 00 43/7 32/66 88 76
Fax 00 43/7 32/61 27 83

Weitere Informationen unter:
www.bauingenieur.de