

Nach Entfernung der Stützträger senkte sich die Dachkonstruktion um 60 Zentimeter ab. Diese Vertikalverformung korrekt vorherzusagen, war eine der Herausforderungen bei dem Projekt (Quelle: ahw Ingenieure).

Mit FEM schneller unter Dach und Fach

Wie eine Wolke schwebt das Stadionsdach über der neuen Rhein-Neckar-Arena – Heimspielstätte von Bundesliga-Senkrechtkicker Hoffenheim. Ausgelegt wurde die freitragende Dachkonstruktion von der ahw Ingenieure GmbH mit der Software Femap von Siemens PLM Software. Dank ihrer leistungsstarken Simulations- und Visualisierungsfunktionen wurde nicht nur Zeit gespart, sondern konnte auch das Gewicht der Stahlkonstruktion reduziert werden.

Die ahw Ingenieure GmbH in Münster ist ein relativ junges Büro mit über 50 Jahre alten Wurzeln. Hervorgegangen ist es aus der Degenhardt Ingenieurgesellschaft, die Anfang 2000 von den Bauingenieuren Thimeo Audick, Eric Helter und Michael Weber übernommen wurde. Mittlerweile beschäftigt die Firma am Hauptsitz in Münster und in drei Niederlassungen in Hamburg, Berlin und Halle/Saale etwa 50 Mitarbeiter, die sich voll und ganz auf die Statik und Bauphysik konzentrieren. Das heißt nicht, dass sie alle im stillen Kämmerlein vor sich hinrechnen. »Wir gelten in der Szene ein bisschen als die jungen Wilden, weil wir mit unserer Arbeit auch mal an die Öffentlichkeit gehen und Einfluss auf die Gestaltung der Bauwerke nehmen«, erklärt Eric Helter.

In Zusammenarbeit mit renommierten Architekten hat ahw in den letzten Jahren prestigeträchtige Projekten in Deutschland und aller Welt realisiert. Die Bauingenieure simulierten beispielsweise die Statik der Fassade für das Kuwait Trade Center, einer im Hochhausbau in dieser Form einzigartigen Kombination aus Aluminiumrahmen und Glas. Sie berechneten das von Norman Foster entworfene Multimediacenter (MMC) Hamburg und arbeiten derzeit an den scheinbar willkürlich aufeinander gestapelten Stockwerken des Neubaus für die Hamburger Wasserschutzpolizei, ein Entwurf des Kölner Stararchitekten Peter Kulka. Außerdem optimierten sie die meterhohen Skulpturen, die der Künstler Tony Cragg für die Winterolympiade in Turin 2006 gestaltete. Neben solchen Großprojekten übernimmt das Büro viele kleinere Berechnungsaufgaben bis hin zur Auslegung von Tierställen, von



denen es im Münsterland nicht wenige gibt. Bei größeren Projekten setzen die Bauingenieure normalerweise die FEM-Software Femap mit dem Gleichungslöser Nastran ein, insbesondere wenn die Zeit drängt. Im Unterschied zu herkömmlichen bautechnischen Berechnungsprogrammen bietet die Finite-Elemente-Methode (FEM) die Möglichkeit, mit Hilfe eines virtuellen Prototypen das Tragwerk eines kompletten Gebäudes zu simulieren. Die traditionelle Berechnungs- und Bemessungspraxis für Bauwerke legt immer ein vereinfachtes Ersatzsystem des Tragwerks zugrunde und kalkuliert die Einwirkungen anhand lokaler Nachweise an Einzelbauteilen. »Diese Vorgehensweise erlaubt jedoch keine Aussage hinsichtlich der realen Gesamttragfähigkeit und einer wirtschaftlichen Bemessung des Bauwerkes«, erläutert Eric Helter, der schon seit über 20 Jahren mit Nastran arbeitet.

Das FEM-Programm von Siemens PLM Software läuft bei ahw auf drei Arbeitsplätzen unter dem Betriebssystem Windows XP. Die Ingenieure nutzen im Wesentlichen den lichtlinearen Nastran-Solver. Femap dient ihnen als Pre- und Postprozessor, mit dem die Tragwerke modelliert und vernetzt und dann die Berechnungsergebnisse aus Nastran visualisiert werden.

ahw hat die ausgereifte FEM-Lösung entsprechend den Anforderungen des Bauingenieurwesens weiter entwickelt und ist derzeit eines von wenigen Büros, das die Vorzüge dieser Technologie nutzen. Die Anwender sind begeistert, wenn sie mit Femap arbeiten können,

weil die Software ihnen eine direkte Interaktion mit dem Prototypen ermöglicht, wie Eric Helter versichert: »Sie können sehr einfach geometrische oder physikalische Parameter ändern und mit beliebigen Kräften oder Temperaturen beaufschlagen, um die unter statischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten optimale Lösung zu finden. Außerdem lassen sich die Kräfte dank der phänomenalen Visualisierung sehr gut zurückverfolgen und der Anwender sieht auf einen Blick, ob er richtig modelliert hat. Große räumliche Strukturen sind ja fehleranfällig, weshalb die Fehlersuche ein ganz wichtiges Thema ist.«

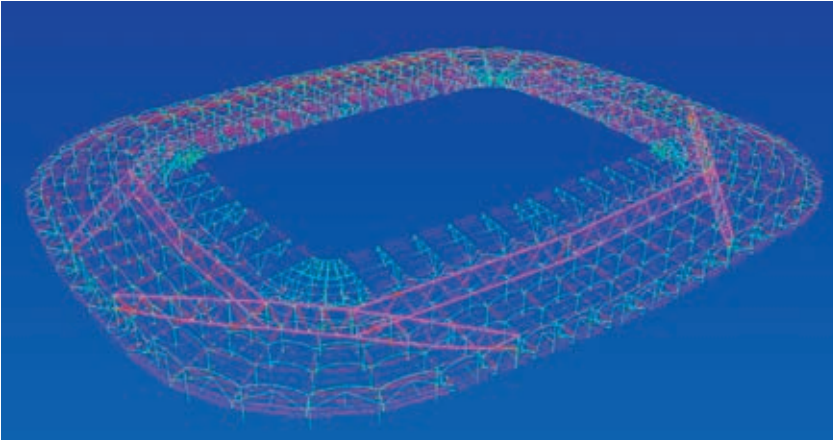
Die intuitive Bedienung und die ausgereiften Visualisierungsfunktionen sind nach Einschätzung Helters die größten Stärken von Femap. Die Berechnungsergebnisse lassen sich eben nicht nur in Form von 2D-Ansichten mit entsprechenden Farbverläufen darstellen, sondern die Verformung ist mit Hilfe entsprechender Animationsfunktionen direkt am 3D-Modell darstellbar. »Das ist toll bei Präsentationen, weil ja oft Menschen mit am Tisch sitzen, die keine Berechnungsexperten sind«, berichtet Eric Helter.

Obwohl das komplette Tragwerk eines Gebäudes in der Software abgebildet werden muss, um es simulieren zu können, spart die FEM-Methode Zeit. Helter schätzt, dass sie beispielsweise bei der Auslegung des Stadionsdaches um 20 Prozent schneller gewesen sind, als wenn sie es mit herkömmlichen Programmen

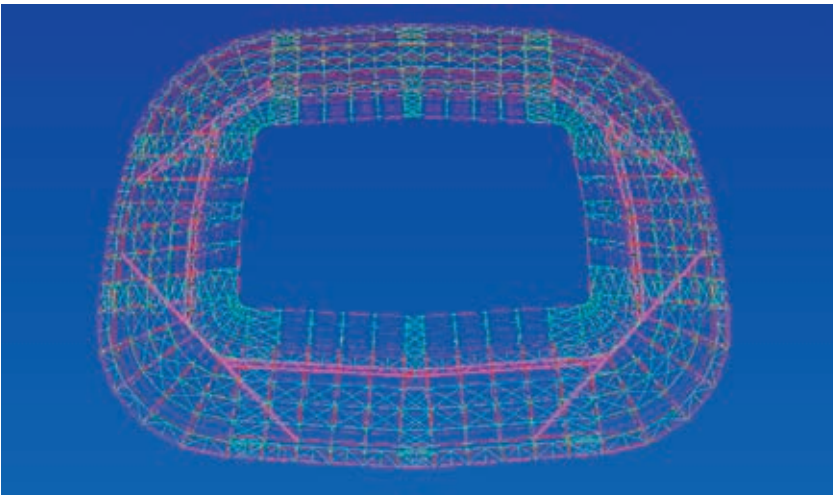
Die Wolke war ein wichtiges Gestaltungsmerkmal des Entwurfs



Wie eine Wolke schwebt das Stadionsdach über der Rhein-Neckar-Arena, in der Bundesligist Hoffenheim seine Heimspiele austrägt. Das neue Stadion wurde Ende Januar eingeweiht. (Quelle: ahw Ingenieure).



Die Dachkonstruktion besteht aus radial zur Stadionmitte ausgerichteten Polygonalträgern, die in Umfangrichtung über Bögen miteinander verbunden und von einer Dachmembran überspannt sind (Quelle: ahw Ingenieure).



Die freitragende Dachkonstruktion wurde mit dem FEM-Programm Femap von Siemens PLM Software ausgelegt (Quelle: ahw Ingenieure).

berechnet hätten. Vor allem aber konnten dank der Arbeit mit einer Gesamtstruktur bestimmte, für den Bauprozess wichtige Fragen wie das Gewicht des Daches schon im Vorfeld geklärt werden, um auf der Baustelle mit den Gründungsmaßnahmen zu beginnen, bevor die letzten Details des Tragwerks berechnet waren. Der Zeitplan für den Stadionneubau war nämlich sehr ehrgeizig. »Wir haben im Mai 2007 mit der Berechnung begonnen und 15 Wochen später konnten die ersten Pfähle gerammt werden«, erklärt Eric Helter. Feierlich eingeweiht wurde die Rhein-Neckar-Arena mit einem Eröffnungsspiel im Januar 2009.

Den Auftrag für die Auslegung und Optimierung des Stadionsdaches erhielten die Bauingenieure von dem mit der Generalplanung betrauten Architekturbüro agn aus Ibbenbüren, mit dem schon bei früheren Projekten zusammen gearbeitet wurde: »Die Vision der Architekten war ein Dach, das wie eine Wolke über

dem Stadion schweben sollte«, erzählt Eric Helter. »Die Wolke war ein wichtiges Gestaltungsmerkmal des Entwurfs, auf das auch Bauherr Dietmar Hopp großen Wert legte. Deshalb wurde ein Ingenieurteam gesucht, das die Vision in ein entsprechendes Tragwerk umsetzen konnte. Wir haben dafür konkrete Vorschläge unterbreitet und schnell festgestellt, dass wir auf einer Linie lagen.«

Die Architekten hatten ziemlich klare Vorstellungen, wie das Dach von der Form her aussehen sollte. Als Vorgabe erhielten die Bauingenieure ein 3D-Volumenmodell, das sie im DXF-Format in Femap importierten und als Referenz für ihre Arbeit benutzten. Mit dieser Hüllgeometrie im Hintergrund modellierten sie die verschiedenen Subsysteme der Dachkonstruktion aus gängigen Stahlrohren und -profilen, die im Wesentlichen über Schrauben miteinander verbunden sind, um den Montageaufwand zu reduzieren. Konstruktionen, die auf der Baustelle geschweißt werden, sind weniger elastisch und erfordern außerdem eine Nachbearbeitung der geschweißten Komponenten, um sie gegen Korrosion zu schützen, wie Eric Helter erläutert.

Die Dachkonstruktion besteht aus radial zur Stadionmitte ausgerichteten Polygonalträgern, die in Umfangrichtung über Bögen miteinander verbunden und von einer Dachmembran überspannt sind. Jeder dieser Träger ruht auf einer einzigen Stütze, die auf dem Baukörper hinter der Tribüne steht und somit das Sichtfeld nicht beeinträchtigt. Ohne weitere Abspannung ragt das Dach über die Tribüne hinaus bis an den Spielfeldrand, getragen von der Eigenspannung der Struktur, die sich unter dem Gewicht von über 3.000 Tonnen Stahl um 60 Zentimeter absenkt. Lediglich auf der Westseite des Stadions, dort wo der VIP-Bereich bis dicht unter das Stadionsdach reicht, konnten die Bauingenieure zusätzliche Stützpfiler einplanen, was aber die Simulation der Absenkung nicht gerade erleichterte. »Wir haben dadurch auf der einen Seite ein steiferes und auf der anderen Seite ein elastisches System, das sich stärker verformt«, erläutert Eric Helter. »Diese ungleichmäßige Verformung zu berechnen, ist ein absoluter Wahnsinn.«

Die Vertikalverformung des Dachtragwerks vorherzusagen, war unter anderem deshalb wichtig, weil sie beim Bau durch eine entsprechende Vorverformung ausgeglichen werden musste. Das Dach sollte ja nach der Absenkung wie eine Wolke aussehen und nicht wie ein eingefallenes Soufflé. »Wir haben die Vertikalverformung mit Femap simuliert und mit der Vorverformung an den Stahlbauer weiter gegeben,

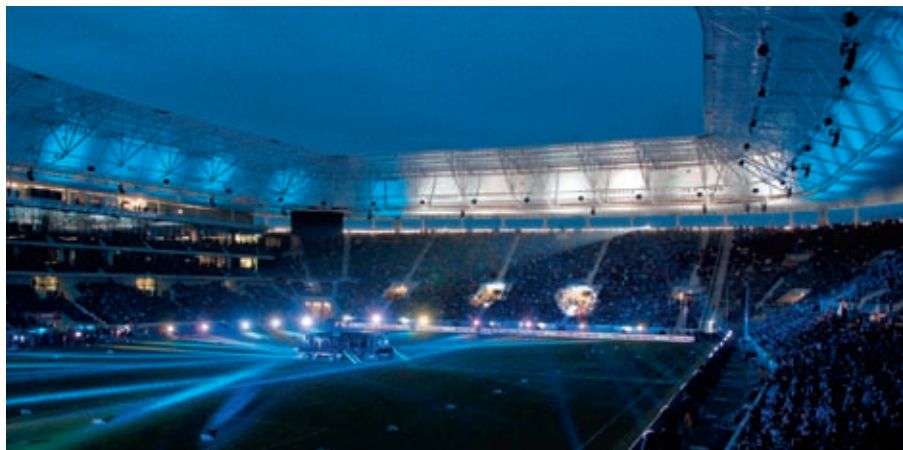
die sie nach unseren Vorgaben bauten. Als die Hilfsstützen hydraulisch weggefahren wurden, hat sich das Dach genau so abgesenkt, wie wir es vorhergesagt hatten«, betont Eric Helter. Die freitragende Struktur des Dachtragwerks muss natürlich nicht nur das Eigengewicht aushalten, sondern auch Kräfte aufnehmen, die von außen auf sie einwirken – beispielsweise den Wind, der oft mit Düsendgeschwindigkeiten durch den Kraichgau pfeift, oder auch die sich auf der Dachfolie ablagernden Schneemengen. »Anfangs dachten wir, dass Schnee und Wind die maßgeblichen Kräfte sein würden«, erläutert Eric Helter. »Es hat sich jedoch schnell gezeigt, dass die größere Herausforderung die auf das Tragwerk einwirkenden Temperaturen sind. Das Dach lädt sich im Sommer auf, wenn stundenlang die Sonne drauf »knallt«, und kühlt im Winter stark ab. Wir mussten überlegen, wie wir bei den riesigen Abmessungen die Ausdehnung und Schrumpfung in den Griff bekommen.«

Die Bauingenieure sahen Öffnungen in der Unterseite der Dachmembran vor, so dass die Luft zirkulieren und die Wärme besser abführen kann. Nichts desto trotz ergaben die FE-Berechnungen, dass sich unter der Plastikfolie im Sommer Temperaturen wie in einem spanischen Treibhaus entwickeln. Um die Horizontal- und Vertikalbewegung des Daches bei Erwärmung und Abkühlung aufnehmen zu können, sind deshalb alle Stützen beweglich gelagert. Es gibt im Grunde genommen nur vier unscheinbare Diagonalstreben, an denen das Dachtragwerk fest mit dem Stadion verbunden ist. »Die Simulation dieser Verbundsysteme

ist extrem wichtig, weil sich ungeheure Kräfte aufnehmen müssen. Dazu haben wir mit Unterstützung unseres Vertriebspartners Smart Engineering spezielle Kontaktmodellierungen in Femap definiert«, berichtet Eric Helter, der mit dem Support durch die FEM-Spezialisten aus Buchholz sehr zufrieden ist.

Die Schraubverbindungen zwischen den Rohrelementen wurden bei der Simulation ebenfalls berücksichtigt, allerdings nicht als Schrauben mit Vorspannung, sondern einfach als Gelenkverbindungen: »Da können wir es uns als Bauingenieure einfach machen«, erläutert Eric Helter. »Bei den gewaltigen Kräften, wie sie in großen Strukturen auftreten, ist immer ein gewisser Schlupf da, so dass wir die Schrauben wie Gelenke behandeln, die ihre Steifigkeit im Verbund erhalten.«

Die Bauingenieure hatten nicht nur die Aufgabe, das Dachtragwerk statisch korrekt auszulegen, sondern sollten dabei auch die Materialmenge und das Gewicht minimie-



Bauingenieur Eric Helter ist mit dem Projekt zufrieden: 15 Wochen nach der ersten Berechnung konnten die Bauarbeiten an der Dachkonstruktion beginnen (Quelle: ahw Ingenieure).

ren. Im Jahr 2007, als die Bauarbeiten an der Rhein-Neckar-Arena begannen, kletterten die Stahlpreise noch steil nach oben. Mit Hilfe der FEM-Lösung spielten sie verschiedene Parameter durch und fanden heraus, dass das Gewicht des Dachs reduziert werden konnte, indem sie die statische Höhe der Polygonalträger vergrößerten. Im Konsens mit den Architekten wurden sie von sechs auf sieben Meter erhöht, wodurch die Rohre und Profile filigraner ausgelegt werden konnten. Dadurch ist die Wolke insgesamt deutlich leichter geworden, so dass sich auch die Vertikalverformung reduziert hat. Diese Art von Optimierungen lassen sich mit anderen Werkzeugen nicht oder wesentlich schwieriger realisieren als mit Femap, wie Eric Helter abschließend versichert. –we-

www.ahw-ing.com
www.siemens.com/plm