

Arnhem Central Station

Steel bells as a hall construction

The new central station in the Dutch city of Arnhem is characterised by an amorphous, arched, cantilever hall. Its steel substructure is comparable with a double-walled ship's hull, the subsegments of which were actually built in Stralsund on a shipyard.

Online Plus

www.metallbau-magazin.de
Webcode MB33R4PS

Author: chartered engineer Robert Mehl

Arnhem is a major transport hub for the Netherlands. The city is located on the Old Rhine on the railway line between Amsterdam and Cologne. As early as 1845 a first stop was established here, with one of the first railway stations in Europe. Over the course of almost 170 years, four station buildings have stood in roughly the same place. The first one was soon found to be too small, the second fell victim to the war, and the third – a pragmatic reconstruction – was quickly too small and not worth restoration.

At the beginning of the new millennium, the architecture company UNStudio, based in Amsterdam, was commissioned to draw up an urban planning report in which the infrastructural requirements of an important station were determined in the designated Dutch high-speed network. The office, which

was run by Ben van Berkel and Caroline Bos, looked at traffic flows – how to get to the train station and what offers were used there. They found that almost as many people come to the station just for the bus as they do for trains. As a result, both traffic flows should be treated equally in future construction work. The architects wanted to avoid passengers waiting in front of the train station – at the worst in the rain – for their connecting bus.

Interweaving traffic flows

The new station hall is characterised by a central, supporting element, which leads like a whirlpool from the vaulted ceiling into a large floor gap, the so-called "twist". Like with a turntable, the various route connections wind around it: A footpath



The hall's substructure consists of two 10 mm thick steel shells that are connected to each other by a steel rib design. Die Unterkonstruktion der Halle besteht aus zwei 10 mm starken Stahlschalen, die über eine Rippenkonstruktion verbunden sind.

Hauptbahnhof von Arnhem

Stahlglocke als Hallenkonstruktion

Der neue Hauptbahnhof im niederländischen Arnhem ist von einer amorph-gewölbten, weitgehend freitragenden Halle geprägt. Ihre stählerne Unterkonstruktion ist vergleichbar mit einem doppelwandigen Schiffsrumpf, deren Teilstimente tatsächlich in Stralsund auf einer Werft erstellt wurden.

Online Plus

www.metallbau-magazin.de
Webcode MB33R428

Autor: Dipl.-Ing. Robert Mehl

Arnhem ist für die Niederlande ein bedeutender Verkehrsknotenpunkt. Die Stadt liegt am Altrhein auf der Zugstrecke zwischen Amsterdam und Köln. Schon 1845 wurde hier ein erster Halt eingerichtet, mit einem der ersten Bahnhöfe in Europa. Im Laufe von knapp 170 Jahren standen vier Bahnhofsgebäude annähernd an gleicher Stelle. Das erste war schnell zu klein, das zweite fiel dem Krieg zum Opfer und das dritte – ein pragmatischer Wiederaufbau – war schnell wieder zu klein und keine Sanierung wert.

Zu Anfang des neuen Jahrtausends wurde das Amsterdamer Architekturbüro UNStudio beauftragt, ein städtebauliches Gutachten zu erstellen, in dem die infrastrukturellen Erfordernisse einer wichtigen Station im avisierten niederländischen Hochgeschwindigkeitsnetz ermittelt wurden. Das von Ben van Ber-

kel und Caroline Bos geführte Büro betrachtete vor allem die Verkehrsströme – wie man zum Bahnhof anreist und welche Angebote dort genutzt werden. Sie stellten fest, dass fast so viele Menschen nur für den Bus wie Zugfahrer zum Bahnhof kommen. In Konsequenz sollten beide Verkehrsströme bei künftigen Baumaßnahmen gleichberechtigt behandelt werden. Die Architekten wollten vermeiden, dass Passagiere vor dem Bahnhof – schlimmstenfalls im Regen stehend – auf ihren Anschlussbus warten.

Verweben der Verkehrsströme

Die neue Bahnhofshalle ist von einem zentralen stützenartigen Element geprägt, das wie ein Strudel von der gewölbten Decke in einen großen Bodenspalt führt, dem sogenannten „Twist“.



The station hall is characterised by a central, supporting element, which leads like a whirlpool from the vaulted ceiling into a floor gap. Die Bahnhofshalle ist von einem zentralen stützenartigen Element geprägt, das wie ein Strudel von der gewölbten Decke in einen Bodenspalt führt.



In the area of the „twist“, the only hall support that was used were metal sheets up to 60 mm thick. Im Bereich des »Twists«, der einzigen Hallenstütze, kamen bis zu 60 mm dicke Bleche zur Anwendung.

The hall was not produced on-site in one piece, but rather segmented by the Stralsund shipyard suppliers Ostseestahl and Formstaal. Both companies belong to the Central Industry Group from Groningen. The station concourse was divided into 140 subsegments for its production, which were made in the shipyards. The size of the segments was not uniform, but rather depended on the respective curvature. Barely deformed steel elements were up to three meters wide, 16 meters long and between ten and 15 tonnes in weight. The only requirement was: They needed to be able to be transported from East Germany to the Netherlands with heavy-duty transport.

Unlike in the automotive industry, direct moulding of

from the outside, an elongated stair ramp up to the upper floor, a barrier-free exit to the ground floor, which leads directly to a bicycle station with a capacity for 4,000 bikes. Directly alongside is the entrance to the underground car park with 1,000 parking spaces. By car you can reach the train station from a new underpass, which keeps the area around the station free of cars. Large parts of the ground floor are occupied by the bus station, a distinctive glazed entrance indicates the way in. A large passage leads to the railway tracks. UNStudio would like to provide orientation with its architecture. By means of self-explanatory signage, travellers should immediately be aware of where they are and where they need to turn. It is important to the architect that there was not primarily the abstract form, which was somehow to be animated with sensible ground plans. Initially, they established interconnecting routes for the traffic flows that they determined, which they varied according to their needs.

Steel roof like a ship's hull

The hall's substructure is a wide-span two-shell steel structure, comparable with a double-bottomed ship's hull. It consists of two, 10 mm thick steel shells that are connected to each other by a steel rib design and therefore surround a spherically curved cavity. This shell design, also called monocoque construction, is also thin and very flexible.

the metal sheets is hardly possible in shipbuilding. If metal sheets of a thickness of about one millimetre are used for cars, the thinnest material for this project had ten times the thickness, at ten millimetres. In the area of the "twist", the only hall support at all that was used were metal sheets up to 60 millimetres thick.

First, the heavy steel plates were formed with punctiform presses. This is done by means of a press cylinder, which applies the loads in a precise manner. Depending on the requirements, the steel builders equip this head with ball, roller or blade matrices. In a second process, an exact counterpart is used, through which the steel part obtains its final contour.

Zero tolerance

A high precision fit was required for the load-bearing behaviour of the future roof structure. For the production of the station roof, Ostseestahl has explored new horizons. In shipbuilding, segments are prefabricated in the hall and assembled and adapted in the dock. That was not possible in these circumstances. Instead, up to seven segments were produced simultaneously in a common device with the dimensions 28 metres long, 10 metres wide and 3 metres high. The fitting accuracy could therefore be continuously checked. Only when all components fulfilled the specifications were they eventually separated and delivered separately. The segments of a total of 510 tonnes

Wie bei einer Drehscheibe winden sich die verschiedenen Wegverbindungen um ihn: Ein fußläufiger Zugang von außen, eine langgestreckte Treppenrampe hinauf zum oberen Geschoss, ein barrierefreier Abgang ins Untergeschoss, der unmittelbar zu einer 4.000 Fahrräder fassenden Radstation führt. Direkt daneben der Eingang zur Tiefgarage mit 1.000 Stellplätzen. Mit dem Pkw erreicht man den Bahnhof von einem neuen Straßentunnel aus, der das Bahnhofsviertel annähernd autofrei hält. Weite Teile des Erdgeschosses werden vom Busbahnhof eingenommen, ein markant verglaster Zugang weist den Weg dorthin. Zu den Bahngleisen führt eine große Passage. Reisenden soll durch eine selbsterklärende Wegeführung sofort klar sein, wo sie sich befinden und wohin sie sich wenden müssen. Den Architekten ist es wichtig, dass es nicht zuerst die abstrakte Form gab, die irgendwie mit sinnvollen Grundrissen zu beleben war. Sie legten zunächst für die ermittelten Verkehrsströme Wegeverbindungen an, die sie nach dem eruierten Bedarf unterschiedlich groß dimensionierten.

Stahldach wie ein Schiffsrumpf

Die Hallenunterkonstruktion ist ein weitgespannter zweischaliger Stahlbau, vergleichbar mit einem doppelbödigen Schiffsrumpf. Sie besteht aus zwei 10 mm starken Stahlschalen, die über eine stählerne Rippenkonstruktion miteinander verbunden sind und so einen sphärisch gekrümmten Hohlraum umschließen. Diese auch Monocoque-Bauweise genannte Schalenkonstruktion ist gleichzeitig dünn und sehr biegesteif.

Produziert wurde die Halle nicht an einem Stück vor Ort, sondern segmentiert bei den Stralsunder Werftzulieferer Ostseestahl und Formstaal. Beide Unternehmen gehören zur Central Industry Group aus Groningen. Zur Produktion wurde die Bahnhofshalle in 140 Teilsegmente zerlegt, die in den Werfthallen angefertigt wurden. Die Größe der Segmente war nicht einheitlich, sondern hing von der jeweiligen Krümmung ab. Kaum verformte Stahlelemente waren bis zu drei Meter breit, 16 Meter lang und zwischen zehn und 15 Tonnen schwer. Die einzige Vorgabe war: Sie sollten mit einem Schwertransport von Ostdeutschland in die Niederlande transportiert werden können.



Like with a turntable, the various route connections wind around the so-called "twist". Wie bei einer Drehscheibe winden sich die verschiedenen Wegeverbindungen um den sogenannten »Twist«.

in weight of roof structure were made of S355J2+N quality steel. This material is characterised by a slightly higher tensile strength compared with "normal" steel.

Combining steel and concrete

Originally, the hall was to be solid made of in-situ concrete, in the same way that architects created the Mercedes-Benz Museum in Stuttgart. However, when the station was already under construction, there was a rescheduling due to financial reasons. The executive consortium from BAM/Ballast Nedam in Nieuwegein convinced architects and builders to create today's steel hall instead of an in-situ concrete construction, and to fill these with precast concrete parts. The latter are supplied by Micro Beton BV in Bergen op Zoom.

Decisive for this unusual construction was the considerably minimised liability risk with the use of modular construction. At the same time, the commissioned main contractor thought less about possible legal disputes as a result of structural tolerances and a lack of important details than about poor weather conditions due to the harsh winter: All parts of the roof were able to be produced in advance in halls.

For the change of the roof structure their connections also had to be converted to the new structure. For this purpose, it was partly necessary to incorporate the new steel supporting structure in a force-fitting manner. Around 900 head bolts were welded to the lower segments and partly fitted with starter bars with a diameter of 25 mm.

No superelevation

The custom-fit segments were temporarily fixed with straps in situ, then welded together under inert gas as a full-depth weld using the MAG process. This was used on both the outside and inside of the 20 millimetre steel sheets, each with 12-15 weld-

ing passes, in order to obtain a homogeneous bond. Any unavoidable superelevation was neatly reworked afterwards, given that it was structurally irrelevant. After their prefabrication in Stralsund, the steel segments were sprayed using an 80 µm thick primer, which lasted about ten weeks. This was sufficient for transport and assembly until the application of the final coat.

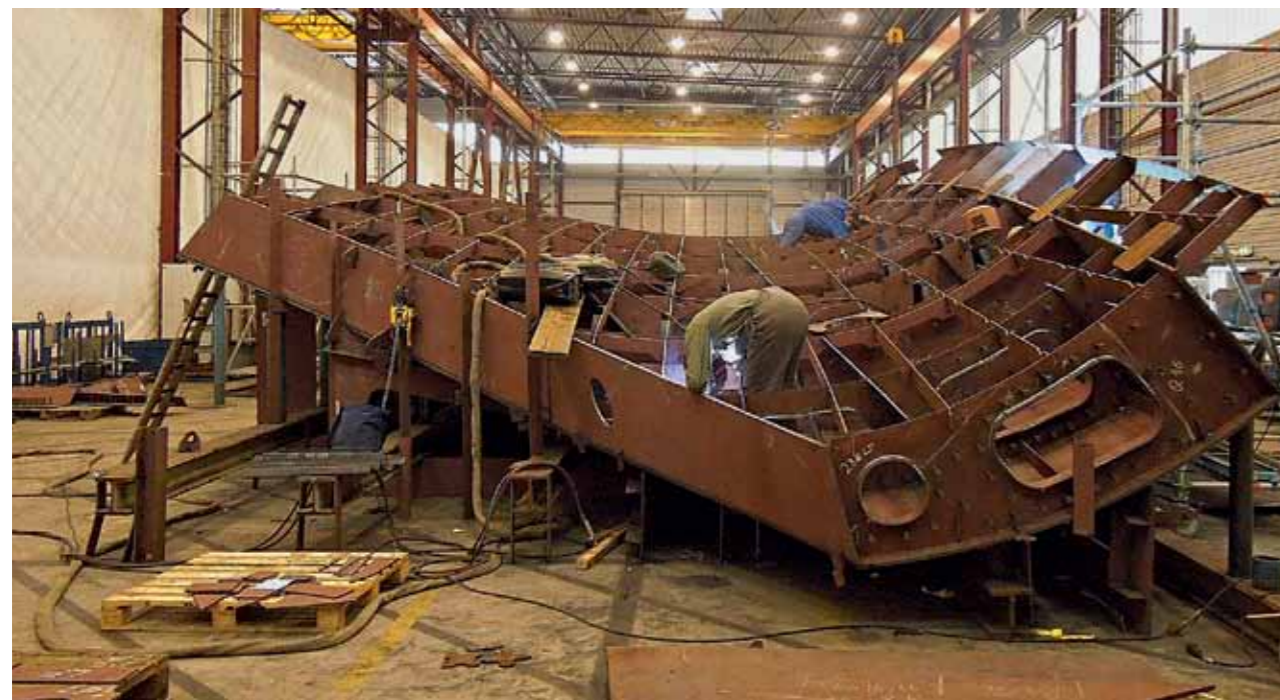
Prefabricated panelling

On the upper side of the steel roof, the design engineers saw straps on which a wooden batten was fixed. Then a separating film was laid, which received rigid foam insulation.

The entire structure was sealed with two EPDM rubber seals. By means of a computer-controlled laser system, the exact positions of the hold points of the precast concrete formwork were determined. The entire hall roof is clad from the outside with precast concrete parts, all of which have a nominal size of 1.20 x 3.60 metres. All the elements have different curvatures. The components consist of fibre-reinforced Ultra-High-Performance-Concrete (UHPC), which was first poured into a flat steel mould. In the paste-like state, the finished material was accurately shaped by a computer. This was done by tightening eight tensioning cords, which were fixed to the thin baseplate of the steel formwork.

Moderate building costs

The station building alone is estimated at around 80 million Euros, which is considered as expensive in the Netherlands. Nevertheless, these dimensions are modest compared to other prestige buildings in Europe. For instance, the new intercity railway station of Lüttich cost about three times the cost of Arnhem, but in comparison it only has 20% of its passenger volume.



The hall was not produced on-site in one piece, but rather segmented by the Stralsund shipyard suppliers Ostseestaal and Formstaal. Produziert wurde die Halle nicht vor Ort an einem Stück, sondern segmentiert bei den Stralsunder Werftzulieferer Ostseestaal und Formstaal.

Anders als im Fahrzeugbau ist im Schiffsbau ein direktes Formpressen der Bleche kaum möglich. Werden bei Autos Bleche von rund einem Millimeter Stärke verarbeitet, hatte das dünnste Material für dieses Projekt die zehnfache Stärke, also zehn Millimeter. Im Bereich des „Twists“, der einzigen Hallenstütze überhaupt, kamen sogar bis zu 60 Millimeter dicke Bleche zur Anwendung.

Zunächst wurden die schweren Stahlbleche mit punktuell arbeitenden Pressen geformt. Dies geschieht mittels eines Presszylinders, der zielgenau die Lasten aufbringt. Je nach Bedarf rüsten die Stahlbauer diesen Kopf mit Kugel-, Rollen- oder Messermatrizen aus. In einem zweiten Arbeitsgang wird eine exakte Negativform eingesetzt, durch die das Stahlteil seine finale Kontur erhält.

Null Toleranz

Für das Tragverhalten der künftigen Dachkonstruktion war eine hohe Passgenauigkeit erforderlich. Für die Produktion des Bahnhofdachs ist Ostseestaal neue Wege gegangen. Im Schiffsbau werden Segmente in der Halle vorgefertigt und im Dock zusammengefügt und angepasst. Das war in diesem Fall nicht möglich. Stattdessen wurden bis zu sieben Segmente gleichzeitig in einer gemeinsamen Vorrichtung mit den Abmessungen L/B/H 28/10/3 Meter gefertigt. So konnten die Passgenauigkeiten fortlaufend kontrolliert werden. Erst wenn alle Bauteile die Vorgaben erfüllten, wurden sie wieder getrennt und separat ausgeliefert. Die Segmente der insgesamt 510 Tonnen schweren Dachkonstruktion wurden aus Stahl der Güte S355J2+N erstellt. Dieses Material zeichnet sich durch eine etwas höhere Zugfestigkeit als „normaler“ Stahl aus.

Stahl und Beton verbinden

Ursprünglich sollte die Halle massiv aus Ortbeton erstellt werden, in gleicher Weise, wie es die Architekten vor Jahren beim Mercedes-Benz-Museum in Stuttgart realisierten. Als der Bahnhof schon im Bau war, kam es aus Kostengründen jedoch zu einer Umplanung. Die ausführende ArGe aus BAM/Ballast Nedam in Nieuwegein konnte Architekten und Bauherrn davon überzeugen, statt einer Ortbetonkonstruktion die heutige Stahlhalle zu schaffen, und diese mit Betonfertigteilen zu belegen. Letztere stammen von dem Fertigteilhersteller Micro Beton BV in Bergen op Zoom.

Entscheidend für diese unübliche Bauweise war das erheblich minimierte Haftungsrisiko durch die elementierte Konstruktion. Dabei hatte der beauftragte Generalunternehmer weniger an mögliche Rechtsstreitigkeiten infolge von Bautoleranzen und einem Nicht-Passen wichtiger Details gedacht, als an schlechtwetterbedingte Bauverzögerungen infolge harter Winter: Alle Teile des Daches konnten in Hallen vorproduziert werden.

Für den Wechsel der Dachkonstruktion mussten auch deren Anschlüsse auf die neue Bauweise umgerüstet werden. Dazu war es teilweise erforderlich, das neue Stahltragwerk kraftschlüssig einzubetonieren. Dafür wurden rund 900 Kopfbolzen an die unteren Segmente angeschweißt und teilweise mit einer Anschlussbewehrung (D = 25 mm) versehen.



Elements partly with up to 3 m wide, 16 m long and up to 15 t in weight. Stahlelemente waren teils bis 3 m breit, 16 m lang und bis 15 t schwer.

Keine Überhöhung

Vor Ort wurden die passgenauen Segmente erst mit Laschen provisorisch fixiert, dann im MAG-Verfahren unter Schutzgas als Vollanschluss zusammenschweißt. Dies geschah sowohl außen- als auch innenseitig an den 20 Millimeter Stahlblechen mit jeweils 12-15 Schweißlagen, um einen homogenen Verbund zu erhalten. Die unvermeidlichen Überhöhungen wurden, da statisch irrelevant, hinterher sauber nachbearbeitet. Nach ihrer Vorfertigung in Stralsund erhielten die Stahlsegmente mittels Sprühpistole eine 80 µm starke Grundierung, die etwa zehn Wochen vorhielt. Dies reichte aus für Transport und Montage bis zum Auftrag der Endbeschichtung.

Fertigteilebeplankung

Auf der Oberseite des Stahldachs sahen die Konstrukteure Laschen vor, an denen eine Holzlattung fixiert wurde. Darauf wurde eine Trennfolie verlegt, die eine Hartschaumdämmung erhielt. Den gesamten Aufbau dichtete man mit zwei EPDM-Matten-Lagen ab. Mittels eines rechnergesteuerten Lasersystems wurden darauf die exakten Positionen der Haltepunkte der Betonfertigteilschalung ermittelt. Das gesamte Hallendach ist von außen mit Betonfertigteilen verkleidet, die alle eine Nenngröße von 1,20 x 3,60 Meter haben. Dabei weisen alle Elemente unterschiedliche Krümmungen auf. Die Bauteile bestehen aus faserbewehrtem Ultra-High-Performance-Concrete (UHPC), den man zunächst in eine ebene Stahlform goss. Im teigartigen Zustand wurde die Fertigteilmasse computergenau verformt. Dies erfolgte durch unterschiedliches Anziehen von acht Spannschnüren, die an der dünnen Bodenplatte der Stahlschalung fixiert waren.

Moderate Baukosten

Das Bahnhofsgebäude allein wird mit rund 80 Mio. Euro veranschlagt, womit es in den Niederlanden als teuer gilt. Dennoch nehmen sich diese Dimensionen im Vergleich zu anderen europäischen Prestigebauten bescheiden aus. So kostete der neue Fernbahnhof von Lüttich etwa das Dreifache von Arnhem, hat aber im Vergleich nur 20 Prozent von dessen Fahrgastaufkommen.